

СОВЕТСКАЯ ПРОГРАММА МИРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Майло Д. Нордайк

В статье приводится исторический обзор советской программы изучения и использования промышленного применения мирных ядерных взрывов (МЯВ) в СССР за период 1965-1988 гг. Это была очень активная программа, в рамках которой выполнено 122 ядерных взрыва для изучения 13 областей приложения. Всего было использовано 128 ядерных зарядов с мощностями в диапазоне 0.01-140 килотонн (кт), причем подавляющее большинство мощностей лежало в интервале 2-20 кт. Свыше половины этих взрывов было использовано для осуществления двух промышленных задач: создание водохранилищ и каналов. По количеству спроектированных видов углеводородной взрывчатки, что копировало программу разработки оборудования в рамках американской программы "Плаушер".

Советская программа МЯВ была завершена в 1989 г. как часть советского моратория на испытания ядерного оружия, принятого президентом Горбачевым. Недавно подписанный Соединенными Штатами и Россией Договор о всеобщем запрещении ядерных испытаний включает в себя запрет всех ядерных взрывов, в том числе и взрывов для мирного использования.

Автор работал ранее директором Центра по изучению энергетики, безопасности и контроля над вооружениями при Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, Ливермор, Калифорния, США.

ПЕРВЫЕ ГОДЫ

Концепция использования орудий войны для мирных стремлений человечества стара, как сама цивилизация. Пожалуй, наиболее известное упоминание этого основополагающего стремления записано в Книге Михея, где великий пророк Исайя призывал людей "перековать копьё в вилы, а мечи в орала", В процессе работы ученых из Лос Аламоса по разработке первой в мире атомной бомбы мысли о том, как можно использовать огромный новый источник энергии в мирных целях, обычно сосредотачивались на применении тепловой энергии, генерируемой делением урана в реакторах (которые, например, использовались, чтобы производить плутоний), для работы электростанций.

Однако для ученых, работавших в новой и захватывающей области науки, оказалось невозможным, чтобы их умы не отвлекались от повседневных задач к использованию самих бомб для иных, научных или невоенных целей. В ходе работ над проектом "Манхэттен" Отто Фриш (один из тех, кто начал изучать процесс ядерного деления еще в 30-е годы) первым предложил использовать атомный взрыв как источник громадного количества нейтронов, которые можно было бы использовать в научных экспериментах, предназначенных для расширения нашего понимания ядерной физики. После завершения войны в популярной печати появилось много грандиозных идей о том, как следовало бы усмирить этот новый источник энергии, чтобы он послужил человечеству.

Чтобы не выпасть из обстановки растущего энтузиазма в связи с мирным использованием атомной энергии, Советский Союз добавил и свои представления к общественным высказываниям. В ноябре 1949 г., вскоре после испытания первого советского ядерного устройства 23 сентября 1949 г., Андрей Вышинский - советский представитель в ООН, выступил с заявлением, оправдывавшим усилия СССР по разработке собственного ядерного потенциала. Он заявил в духе поэтической (но в чем-то чрезмерной) риторики: "Советский Союз не использовал атомную энергию для накопления арсеналов атомных бомб... он использует атомную энергию для задач своей собственной экономики: для снесения гор, изменения течения рек, орошения пустынь, прокладки новых путей в тех краях, куда еще не ступала нога человека".

Через несколько лет русский инженер - профессор

Г.И.Покровский написал:

"Прогрессивная наука утверждает, что можно использовать благие силы взрыва в мирных целях... С помощью направленного взрыва можно выпрямлять русла больших рек...создавать гигантские плотины,... прорывать каналы... Действительно, открываемые новой атомной энергией перспективы безграничны"².

Но лишь немногие статьи, написанные в конце 40-х и начале 50-х годов, содержали конкретные идеи, как можно было бы применить разрушительную силу самих бомб для научных целей или для перемены ландшафта и изменения природы геологических формаций глубоко под землей. Одна из первых была написана Фредом Рейнсом - молодым физиком, который в 1944 г. приехал в Лос Аламос для работы по программе ядерного оружия. В июне 1950 г. он представил короткую заметку в "Бюллетень ученых-атомщиков", где изучалась возможность использования атомных взрывов для ряда крупномасштабных земляных работ, например, прокладки каналов, горных работ, разрушения айсбергов и плавания полярных льдов. Вообще говоря, его точка зрения оказалась достаточно пессимистической с такими выводами: "подобное применение, в лучшем случае, кажется очень ограниченным по масштабам из-за угрозы радиоактивности, связанной с ядерными взрывами"³.

После разработки термоядерных устройств в мозгах конструкторов бомб начали бродить новые идеи. Для термоядерных устройств еще нужен небольшой ядерный запал, но поскольку термоядерное топливо состоит из относительно дешевых дейтерия и лития, а также почти не образует долгоживущих радиоактивных отходов, такие устройства давали возможность понизить на порядок величины как стоимость взрывчатки, так и количество радиоактивности, приходящееся на единицу мощности взрыва.

Первый термоядерный взрыв в Советском Союзе 12 августа 1953 г. подвел президента Эйзенхауера к решению о необходимости захватить инициативу в рассмотрении политических аспектов гонки ядерных вооружений. Для этого президент Эйзенхауер обратился 8 декабря 1953 г. со ставшей знаменитой речью "Атомы для мира" к ООН, где он призывал к

"...более, нежели к простому сокращению или устранению атомных материалов для военных целей.

Недостаточно убрать это оружие из рук наших солдат. Оно должно попасть в руки тех, кто будет

знать, как убрать с него военную оболочку и приспособить его к искусству мира... эта величайшая из разрушительных сил может быть превращена в великое благо на пользу всему человечеству...

Если у ученых и инженеров во всем мире есть достаточно делящихся материалов для проверки и разработки своих идей, то можно ли сомневаться, что этот потенциал быстро будет преобразован для всеобщего, эффективного и экономичного использования".

Этот волнующий и активный призыв к мировой общности приступить к процессу применения нового мощного источника энергии для мирных потребностей человечества послужил активным стимулом для сообщества специалистов по ядерной физике и для специалистов по коммерческой ядерной энергетике. Вслед за речью Эйзенхауера "Атомы для мира" Соединенные Штаты предложили в начале 1954 г., чтобы ООН провела конференцию по мирному использованию атомной энергии. Первая из четырех подобных конференций была в конечном итоге проведена в Женеве (Швейцария) в августе 1955 г. Это была самая многочисленная (на тот момент) в мировой истории встреча ученых, в которой приняло участие более 2500 человек и было представлено свыше 1000 докладов. Для многих советских ученых она стала первой возможностью принять участие в научной конференции за пределами СССР и встретиться со своими западными коллегами⁴.

Хотя на Женевскую конференцию не было представлено статей о мирном использовании ядерных взрывов, всеобщий энтузиазм в связи с включением мирного использования атомной энергии в структуру общества и с рассекречиванием широкого объема информации о свойствах и проявлениях процессов деления ядер послужил основой для возрастающего интереса к подобным идеям, особенно среди специалистов по ядерным вооружениям.

Весной 1956 г. французский ученый по имени Камилл Ружерон, вдохновленный этим энтузиазмом, написал монографию, где отобразил множество применений таких взрывов - создание плотин, изменение течения рек, растопление ледников, разрушение ледовых затворов, изменение климата, создание подземных электростанций, которые пользуются теплом от термоядерных взрывов, и разрушение горных пород для добычи полезных ископаемых⁵. "Мечты" Ружерона мало что добавили к количественному анализу подобных применений, но они послужили поводом к росту ожиданий со стороны общественности какой-то мирной выгоды от ядерных испытаний, проводившихся в Тихом океане и на полигоне в Неваде.

Примерно в это же время советский инженер Г.И.Покровский снова написал о своих представлениях по использованию компактной, мощной и дешевой ядерной взрывчатки для устранения пластов грунта с залежей полезных ископаемых или для прокладки каналов:

"На основе имеющихся данных можно сказать, что радиоактивное загрязнение при ядерном взрыве не следует рассматривать как непреодолимое препятствие для использования таких взрывов в горных работах и в строительстве. На основе многих преимуществ ядерных взрывов мы приходим к заключению, что пришло время для начала реальных экспериментов в этой области"⁶.

АМЕРИКАНСКАЯ ПРОГРАММА "ПЛАУШЕР"

Несмотря на энтузиазм Покровского, мало чего было сделано в Советском Союзе за последующие 10 лет для дальнейшего изучения его представлений. Впрочем, Комиссия по атомной энергии США (КАЭ) формально установила летом 1957 г. программу невоенного использования ядерных взрывов под названием "Проект Плаушер". В первый год внимание было уделено исследованиям, направленным на дальнейшее выяснение физических и инженерных аспектов применения подземных ядерных взрывов для производства энергии, на начало проектных работ по ядерной взрывчатке очень

малой мощности специально для экскавации грунта и на поиск подходящего места для ближайшей демонстрации этой новой технологии.

Осенью 1957 г. КАЭ провела первый в мире подземный ядерный взрыв "Рейнир" с мощностью 1.7 кт на глубине 274 м в туннеле на полигоне в Неваде. Хотя это было испытание оружия, основная цель состояла в документировании эффектов подземного ядерного взрыва. Результаты испытания "Рейнир" привели к огромному взрыву энтузиазма среди участников проекта "Плаушер" и вызвали у них уверенность в том, что многие виды мирного использования ядерных взрывов оказываются возможными и их можно безопасно реализовать. До проведения этого испытания все представления о мирном использовании основывались на теоретических догадках о взаимодействии ядерных взрывов с окружающей средой. Теперь ученые реально инициировали подземный взрыв и все прошло так, как и ожидалось. Поэтому испытание "Рейнир" подтвердило многие взгляды проекта "Плаушер", которые ранее были только схематичными идеями в головах ученых, и придало новую уверенность в том, что эти идеи заработают.

На шумной пресс-конференции, последовавшей за выступлением Джерри Джонсона на Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве (сентябрь 1958 г.), где он представил результаты испытания, руководитель советской делегации Василий Емельянов обрушился на американскую программу "Плаушер" как на увертку для продолжения испытаний ядерного оружия и осмеивал возможность "Плаушера". Он дезавуировал прошлые заявления советских ученых, инженеров и политиков, выражавших интерес к подобным применениям, и заклеил такие взрывы "как прикрытия для уклонения от приостановки испытаний бомб", которое "преследует не практические, а только политические цели"⁷.

Не испугавшись отрицательных комментариев Емельянова, США продолжали развивать программу "Плаушер". Первым натурным экспериментом в рамках этой программы стал проект "Гном" (1961 г.) - взрыв с мощностью 3.1 кт, проведенный на глубине 367 м в солевом пласте вблизи Карлсбада (штат Нью-Мексико). Основная задача заключалась в изучении влияния ядерного взрыва на соль - уникальную среду, способную выдерживать образование исключительно больших полостей без схлопывания, с перспективой использования таких полостей для различных мирных применений. В то время возможное использование таких полостей для "декаплинга" сейсмического сигнала от скрытых испытаний ядерного оружия также оказалось спорной проблемой контроля над вооружениями на переговорах о запрещении ядерных испытаний, проходивших в Женеве. США пригласили наблюдателей от всех стран-членов ООН на испытание "Гном", но Советский Союз, верный своей женевской позиции, отказался от участия. Взрыв "Гном" стал техническим успехом, он дал много сведений о научных экспериментах и эффектах ядерных взрывов в соли. Он привел также к возмущению средств массовой информации, когда в перегородке туннеля появилась щель, что привело к выбросу облака радиоактивных газов вскоре после взрыва⁸.

В течение последующих 15 лет программа "Плаушер" изучила ряд возможных применений мирных ядерных взрывов. В Табл.1 приведен список натуральных экспериментов, проведенных при поддержке американской программы "Плаушер". Поначалу основной интерес был обращен на разработку технологий для экскавации грунта, так как это приложение казалось экономически наиболее привлекательным, а технически - бесхитростным. После безуспешного плана вырыть в демонстрационных целях гавань на северной Аляске (от него отказались в 1962 г.) практически все исследования экскавации были направлены на технические проблемы, возникающие в случае использования ядерных взрывов для прорытия нового канала на уровне моря через Центрально-Американский перешеек для замены Панамского канала. Эта попытка непосредственно поддерживалась Комиссией по проработке вариантов канала между

Название	Дата	Мощность (кт)	Глубина (м)	Геология	Назначение
Разработка технологии ядерной экскавации ^а					
Седан	06.07.62	104	193.6	Аллювий	Образование воронок и определение законов подобия вплоть до уровня 100 кт.
Салки	18.12.64	0.09	27.1	Гранит	Механизм образования воронок при большой приведенной глубине взрыва.
Паланкин	14.04.65	4.3	85.7	Риолит	Механизм образования воронок в риолите при большой приведенной глубине взрыва.
Кабриолет	26.01.68	2.2	51.8	Риолит	Образование воронки при оптимальной глубине в твердой, сухой породе.
Багги ^б	12.03.68	5.5	41.2	Базальт	Образование воронки разнесенными взрывами в твердой, сухой породе.
Скунер	08.12.68	30	111.3	Туф	Образование воронки при взрыве умеренной мощности во влажной породе.
Эксперименты с применением камуфлетных взрывов ^в					
Гном	12.10.61	3.0	360.9	Солевой пласт	Эффекты взрыва в соли. Возможность извлечения изотопов из соли. Опыты с нейтронами от ядерного взрыва. Возможность извлечения тепла от ядерного взрыва в соли.
Хэндкар	05.11.64	12.0	402.0	Доломит	Эффекты ядерного взрыва в карбонатной среде.
Марвел	21.09.67	2.2	175.9	Аллювий	Гидродинамика течения энергии ядерного взрыва вдоль трубы метрового диаметра.
Гэсбагги	10.12.67	29.0	1292.4	Сланец	Интенсификация добычи газа.
Рулисон	10.09.69	8	6	Сланец Песчаник	Интенсификация добычи газа.
Рио Бланко ^г	17.05.73	99	1898.9	Сланец Песчаник	Интенсификация добычи газа из толстой залежи несколькими взрывами.

^а Сюда не внесен эксперимент "Дэннибой" с мощностью 0.5 кт по созданию воронки в базальте (3 мая 1962 г.), который проведен при поддержке министерства обороны.

^б В эксперименте использовались пять ядерных запалов по 1.1 кт, расположенных через 45.7 м с востока на запад.

^в При камуфлетных взрывах образуются полость и зона разрушения вблизи заложения заряда без существенных нарушений на поверхности земли, причем выброс радиоактивных продуктов взрыва в атмосферу отсутствует (или сводится к небольшому просачиванию).

^г В эксперименте были три запала по 33 кт, расположенные на глубинах 1780, 1898.9 и 2039.1 м. Приведенное в таблице значение глубины соответствует среднему запалу.

Табл.1: Данные о мирных ядерных взрывах в США.

Тихим и Атлантическим океанами (ККАТО), основанной президентом Линдоном Джонсоном в 1965 г., и такая поддержка продолжалась до декабря 1970 г., когда Комиссия выпустила свой заключительный доклад.

В рамках этих усилий было проведено шесть экспериментов по образованию воронок при ядерном взрыве в период 1961-68 гг. с мощностями в диапазоне 0.1-100 кт. Все они прошли на полигоне в Неваде. В стремлении уменьшить основную опасность от ядерной экскавации - выброс радиоактивности в атмосферу, значительная часть этой программы была связана с разработкой специальных ядерных зарядов со сверхнизким уровнем процессов деления, предназначенных для экскавационных применений. Эта часть программы потребовала проведения девяти испытаний на невадском полигоне в период 1963-70 гг. и ее результатом стала конструкция заряда, при использовании которого для создания воронок уровень продуктов деления, выброшенных в атмосферу при каждом взрыве, был меньше, чем от взрыва 20-тонной атомной бомбы. Но завершение работы ККАТО и растущая озабоченность общественности загрязнением окружающей среды привели к окончанию в начале 70-х гг. той части программы "Плаушер", которая была связана с ядерной экскавацией.

Начиная с эксперимента "Гном" в 1961 г., программа "Плаушер" предоставила постоянную поддержку научным экспериментам (в основном, в виде добавления к военным испытаниям), используя исключительно высокие потоки нейтронов вблизи места ядерного взрыва для проведения исследований, невозможные ни с какими иными источниками нейтронов. В начале 60-х гг. основные усилия были направлены на возможность использования таких высоких нейтронных потоков для образования тяжелых трансплутониевых элементов, лежащих за пределами периодической таблицы Менделеева. Окончательной задачей было использование многократных захватов нейтронов для достижения предсказанного

"острова стабильности", начинающегося с элемента 114. В период 1962-69 гг. программа "Плаушер" поддержала разработку и проведение пяти специальных экспериментов и участие еще примерно в десяти военных испытаниях на полигоне в Неваде в тщетных попытках добиться этой ускользающей цели. Впрочем, были получены очень большие количества ряда тяжелых элементов, но только их следы удалось извлечь из расплавленной зоны. Расчетный нейтронный флюенс в последнем эксперименте по получению изотопов при испытании "Хатч" составил 40 молей/см² на мишени и он соответствовал образованию свыше 10¹⁷ атомов фермия-257 (в десять тысяч раз больше, чем в любом предыдущем эксперименте) и свыше 10²⁰ атомов кюрия-250. Было извлечено более 10¹⁰ атомов фермия-257, что более, чем в 100 раз превышало количество этого изотопа, полученное к данному моменту любым иным методом.

Кроме этих научных исследований, по программе "Плаушер" были проведены в середине 60-х гг. два эксперимента для получения лучшего представления о воздействии ядерного взрыва. Эксперимент "Хэндкар" с мощностью 12 кт был проведен в 1964 г. на невадском полигоне для образования полости в доломитовой породе, состоявшей из смеси карбонатов кальция и магния. До испытания "Хэндкар" взрывов в породах с высоким содержанием карбонатов стремились избегать из-за опасений по удержанию больших количеств угарного и углекислого газов, которые будут образованы при ядерном взрыве в такой среде и не могут быть сконденсированы. Результаты испытания "Хэндкар" показали, что в этой среде можно проводить ядерные взрывы с полным удержанием газовых продуктов¹.

Вторым экспериментом стало испытание "Марвел", проведенное в 1967 г. также на невадском полигоне для изучения распространения ударной волны от ядерного взрыва вдоль горизонтального туннеля диаметром 1 м и длиной 122 м, заполненного воздухом и непосред-

СОВЕТСКАЯ ПРОГРАММА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Историческая перспектива

венно примыкающего к ядерному заряду. Основной задачей была разработка методик для понимания распространения энергии в несферической геометрии¹⁰.

Среди промышленных применений камуфлетных взрывов наиболее интенсивно исследовались интенсификация добычи газа из пластов с малой проницаемостью, извлечение нефти из обширных залежей сланцев в штате Колорадо, измельчение медных руд для подготовки их к выщелачиванию непосредственно на месте добычи, создание емкостей для хранения нефти и природного газа.

Только интенсификация добычи газа получила поддержку промышленности, достаточную для перехода к реальным натурным экспериментам¹¹. В период 1967-73 гг. было проведено три эксперимента при совместной поддержке промышленности и правительства на газовых участках с очень низким уровнем добычи (см. табл.1). Во всех случаях взрывы прошли без инцидентов и привели к значительным увеличениям производства газа по сравнению с тем, что давали соседние обычные скважины¹².

Наиболее серьезная радиологическая тревога была связана с появлением трития, образованного при ядерном взрыве, в газе, полученном из подвешенной интенсификации породы. Для уменьшения затрат на установку заряда и понижения уровня трития до минимально возможных значений в рамках программы "Плаушер" был разработан специальный ядерный заряд с диаметром менее 20 см, который приводил к исключительно малым количествам трития (менее 0.2 г), в основном, при взаимодействии нейтронов со средой, окружавшей заряд. Три таких специальных заряда были использованы в одной шахте при испытании "Рио Бланко": они размещались на разных высотах с расстояниями между ними примерно в 130 м.

Хотя ожидаемый уровень облучения населения при коммерческом использовании интенсифицированного газа был уменьшен до менее, чем одного процента от естественного фона¹³, в начале 70-х гг. стало очевидно, что общественность США будет трудно, если не невозможно, уговорить принять любой продукт, содержащий радиоактивность, каким бы минимальным ни был ее уровень. Кроме того, экономическая выживаемость интенсификации производства газа ядерными взрывами потребовала бы "оживления" сотен скважин в течение нескольких десятилетий - такая перспектива устрасила потенциальных промышленных спонсоров особенно в свете растущих тревог общественности о качестве окружающей среды. Вслед за завершением проверок добычи газа после испытания "Рио Бланко" в декабре 1974 г. программа интенсификации газодобычи вместе с изучением других возможных применений "Плаушера" быстро свернулась, а сама американская программа "Плаушер" была завершена в 1977 г.

В итоге, за 20 лет деятельности по программе "Плаушер" было проведено 12 натуральных экспериментов: шесть ядерных испытаний по созданию воронок и шесть ядерных испытаний по созданию полостей в породах. Только четыре испытания были проведены на ядерном полигоне в Неваде - одно для лучшего понимания воздействия ядерного взрыва на соль и три для интенсификации добычи газа.

Кроме этих экспериментов в рамках программы были полностью профинансированы 16 испытаний устройств на невадском полигоне. Пять из них (и еще восемь испытаний ядерного оружия) преследовали цель получения сверхтяжелых транслутониевых элементов. Девять были посвящены разработке термоядерных зарядов с очень маломощным ядерным запалом для использования в экскавационных проектах. По одному испытанию пошло на разработку специальной методики заглубления заряда и на создание заряда малого диаметра с очень низким уровнем выработки трития для применения в карбонатных породах (например, в испытании "Рио Бланко").

Советский Союз не бросился немедленно вдогонку за инициативой Соединенных Штатов, создавших в 1958 г. программу по изучению мирного использования ядерных взрывов. Вероятно, его политическая позиция в поддержку Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний, который запретил бы такие взрывы или сильно им препятствовал, предупредила любые попытки установить подобную программу вплоть до середины 60-х гг.

В какой-то момент в течение этого времени Советский Союз формально создал "Программу No.7 - ядерные взрывы для национальной экономики". Директором программы был назначен Александр Д. Захаренков - главный конструктор ядерной лаборатории в Челябинске-70, а научным руководителем - Олег Л. Кедровский. Вначале советская программа сосредоточилась на двух приложениях, а именно, на ядерной экскавации и на интенсификации добычи нефти, как и американская программа. Однако быстро проявился интерес к другим применениям и уже через пять лет советская программа активно занималась шестью или семью приложениями с участием примерно десяти разных министерств¹⁴.

Один из первых шагов в развертывании такой программы был иницирован Ефимом Славским - бывшим министром среднего машиностроения, а это министерство (МСМ) отвечало за всю советскую программу ядерного оружия¹⁵. Он несомненно знал о работах по американской программе "Плаушер" и, как сообщалось, был страстным сторонником использования ядерных взрывов в промышленных целях. По его указанию 15 января 1965 г. МСМ провело крупномасштабный (140 кт) взрыв на глубине 178 м в окрестности Семипалатинского полигона (СП) в Северном Казахстане, в результате чего образовалось большое озеро. Как сообщалось, министр Славский был первым, кто купался в этом озере, которое возникло на месте воронки¹⁶.

Позднее в 1965 г. в рамках Программы No.7 в сотрудничестве с Миннефтепромом начались натурные эксперименты, направленные на возможность использования ядерных взрывов для повышения добычи нефти, а также запланированные эксперименты для создания емкостей в соляных пластах. Лаборатория ядерного оружия "Арзамас-16" (Всесоюзный институт экспериментальной физики - ВНИИЭФ), расположенная вблизи Горького, вначале играла ведущую роль в Программе No.7, приспосабливая военные взрывы к мирным приложениям. Лаборатория "Челябинск-70" (Всесоюзный институт технической физики - ВНИИТФ) вскоре был вовлечена в Программу и со временем стала наиболее активным ее участником, особенно в проектировании специальных ядерных зарядов для конкретных работ¹⁷. Модели специальных ядерных зарядов можно увидеть в музее ядерного оружия в Снежинске.

В ноябре 1965 г. в СССР прошла конференция по рассмотрению возможного промышленного и научного использования ядерных взрывов. Во встрече участвовали ведущие ученые и конструкторы, занятые в советской программе ядерного оружия, в том числе и Андрей Сахаров. Ученые проявили большой интерес к такой программе и к разработке специальных зарядов для облегчения размещения взрывчатки в уникальных промышленных ситуациях и для уменьшения радиоактивности, образованной такими взрывами. Обсуждавшиеся идеи простирались от научных экспериментов и промышленного применения с использованием уникальных физических и электромагнитных свойств ядерных взрывов до контроля за астероидами и ракетного топлива для полетов в дальний космос¹⁸.

В середине 1966 г. кризис в газовой промышленности внезапно предоставил возможность для нового применения мирных ядерных взрывов - заглушку прорывов на газовых скважинах. Успешное закрытие несколь-

ких таких скважин в 1966 и 1967 гг. придавало уверенность руководителям программы и они начали думать о широком спектре новых применений.

Весной 1969 г. Советский Союз обратился к Соединенным Штатам с предложением организовать ряд двусторонних обсуждений мирных ядерных взрывов (МЯВ). Первая из четырех таких встреч состоялась в Вене 14-16 апреля 1969 г. Остальные встречи прошли в Москве (12-17 февраля 1970 г.), Вашингтоне (12-23 июля 1971 г.) и Вене (15-17 января 1975 г.)¹⁹. В ходе этих встреч с учеными, занятыми в американской программе "Плаушер", советские ученые с осторожностью раскрыли отдельные технические детали немногих первых МЯВ-экспериментов, а также общие планы по ряду приложений, которые они разрабатывали. В начале 70-х гг. Советский Союз также предоставил информацию о масштабе и технических результатах своей деятельности по ряду программ на заседаниях группы по мирным ядерным взрывам при Международном агентстве по атомной энергии (МАГАТЭ) в Вене²⁰.

В начале 70-х гг. в российской прессе появились несколько статей с описанием общих задач советской программы МЯВ, но не были приведены координаты мест взрывов или их результаты. В середине 70-х и в начале 80-х гг. в США было опубликовано несколько статей с описанием того, что было известно в то время о советской программе из указанных встреч и из сейсмических сигналов, приходивших с территории Советского Союза²¹⁻²³. Впрочем, начиная с середины 70-х гг., появлялось мало технической информации о программе, пока в конце 80-х гг. не пришла гласность. С этого времени появились сообщения в СМИ и комментарии экологов по поводу советской программы МЯВ в "открытой" печати, но все же было мало достоверной информации. Однако недавно опубликованная книга, подготовленная в Радиовом институте им.Хлопина²⁴, и ряд статей в Информационном бюллетене Цниатоминформа, выпускаемом российским Минатомом, обеспечили хороший обзор всего масштаба работ, технических деталей и промышленных результатов этой программы.

Общий обзор советской программы МЯВ

С начала советской программы МЯВ в 1965 г. было проведено 122 взрыва с использованием примерно 128 зарядов для изучения 13 потенциальных приложений²⁵. Пять приложений имели промышленный характер (например, емкости для хранения газового конденсата и глубокое сейсмическое зондирование земной мантии). В табл.2 эти взрывы подытожены в соответствии с их основными задачами. Всего МЯВы проводились на 115 площадках, разбросанных по всему бывшему Советскому Союзу. Две площадки были вскрыты для проведения новых взрывов с использованием полостей, полученных в солевых пластах предыдущими взрывами. В приведенную выше полную численность взрывов не включены испытания, проведенные на ядерных полигонах в целях разработки специальных ядерных зарядов или методики закладки зарядов МЯВ (см. Приложение В).

Советская программа подошла к завершению, когда Советский Союз в 1989 г. принял односторонний мораторий на испытания ядерного оружия на советских полигонах. Хотя главным образом этот мораторий был предназначен для поддержки советского призыва к всемирному запрету всех испытаний ядерного оружия, Советский Союз распространил его на ядерные взрывы в мирных целях.

Информация о 122 взрывах, выполненных по советской "Программе использования ядерных взрывов для национальной экономики", приведена в Приложении А. Номера взрывов даются в хронологическом порядке, указаны также кодовое название события, точное время и дата, определенное по сейсмическим данным место

взрыва, магнитуда и географическое положение места взрыва. При наличии дополнительной информации указаны реальное время и координаты взрыва. На рис.1 изображена карта бывшего Советского Союза, где отмечены положения 122 площадок МЯВ. В Приложении Б 122 взрыва сгруппированы по 13 применениям в хронологическом порядке. Дается информация о мощности взрыва, глубине залегания, типе пород вокруг места взрыва, а также приводятся общие комментарии и указываются заинтересованные министерства. Далее в статье обсуждается деятельность в рамках каждого применения.

Назначение	Кол-во	Заинтересованное министерство
Экскавационные работы		
Сооружение водохранилищ	5	Минсредмаш
Проект канала Кама-Печора	3	Минсредмаш
Сооружение плотин	2	Минсредмаш Минцветмет
Всего	10	
Применение камуфлетных взрывов		
Интенсификация добычи нефти	12	Миннефтегаз
Технология создания полостей	3	Минсредмаш
Ликвидация пожаров на газовых скважинах	5	Мингазпром
Создание емкостей для подземного хранения	25	Мингазпром
Интенсификация добычи газа	9	Мингео Мингазпром
Глубокое сейсмическое зондирование	39	Мингео
Дробление руд	2	Минудобрений
Захоронение вредных отходов производства	2	Миннефтехимпром
Получение тяжелых элементов	13	Минсредмаш
Эксперименты по декаплингу	1	Минсредмаш
Предупреждение выбросов угольной пыли	1	Минуглепром
Всего	112	
ИТОГО	122	

Табл.2: Перечень применений, изученных в советской программе МЯВ.

ПРОГРАММА ЭКСКАВАЦИОННЫХ РАБОТ

Сооружение водохранилищ

Одним из первых рассмотренных приложений мирных ядерных взрывов в СССР стало создание водохранилищ для улучшения агротехнических условий в таких огромных засушливых районах Сибири, как Семипалатинская, Кустанайская, Целиноградская, Павлодарская и Гурьевская области. В этих районах многие реки текут только в период дождей, а на все остальное время они высыхают.

Предложенное использование взрывов подразумевало создание рядом с такими непостоянными водными потоками взрывных воронок объемом 3-5 миллионов кубометров для образования водохранилищ.

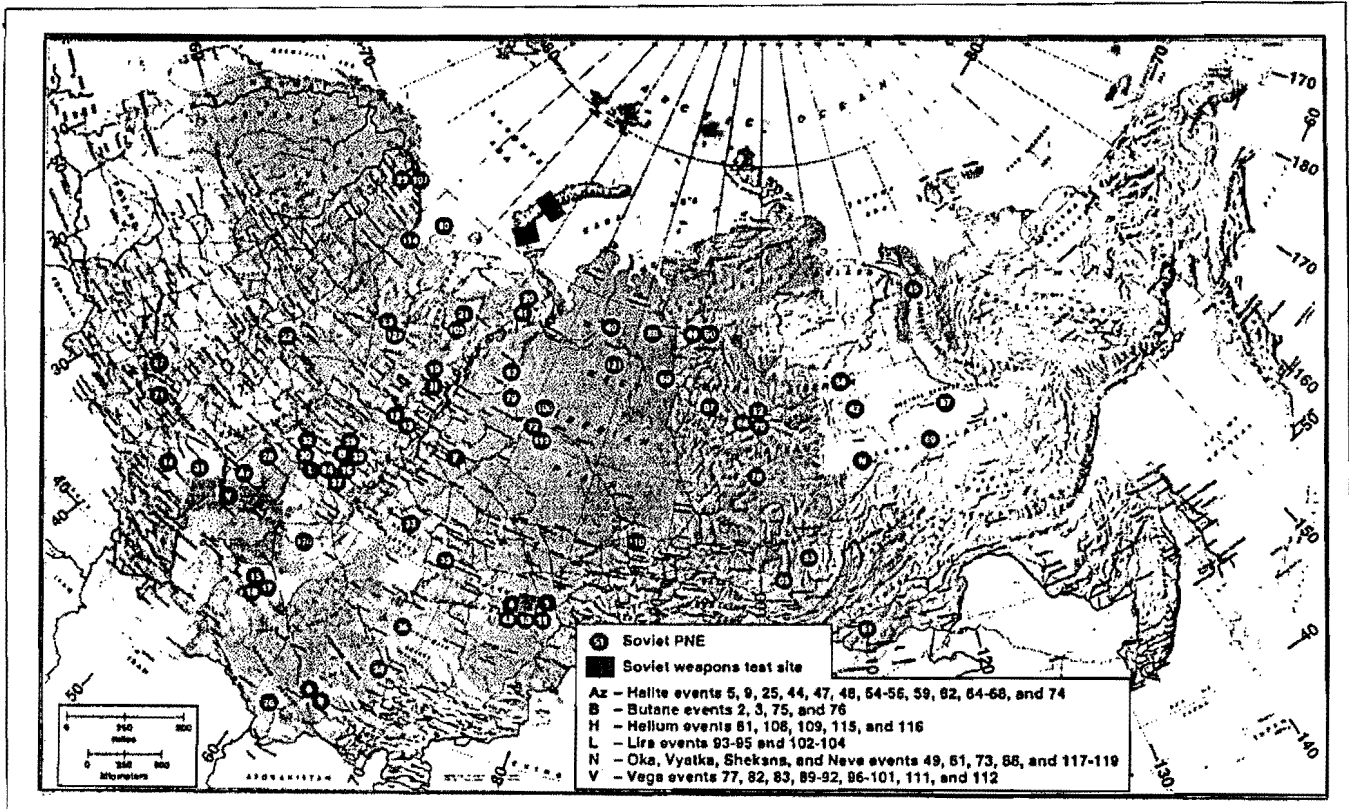


Рис.1: Карта бывшего Советского Союза, где указаны места 122 площадок МЯВ. Буквами отмечены площадки, где проводилось несколько взрывов:

- Az - события 5,9,25,44,48, 54-56,59,62,64-68 и 74;
- B - события 2,3,75 и 76;
- H - события 81,108,109,115 и 116;
- L - события 93-95 и 102-104;
- N - события 49, 61,73,88 и 117-119;
- V - события 77,82,83,89-92,96-101,11 и 112.

"Чаган". Первый эксперимент по советской программе МЯВ (15 января 1965г.) был направлен на получение общей информации об использовании ядерных взрывов для образования воронок, а также имел конкретную задачу продемонстрировать полезность ядерных зарядов в создании водохранилищ (см. раздел А-1 Приложения Б). В этом эксперименте был применен заряд с мощностью 140 кт, помещенный на глубину 178 м в скважину 1004 на краю СП в Казахстане. Место было выбрано так, чтобы оказаться под высохшим руслом реки Чаган; поэтому гребень воронки создал плотину для реки на время ее паводка в весеннее время.

При взрыве "Чаган" образовалась воронка диаметром 408 м и глубиной 100 м, очень напоминающая воронку от взрыва "Седан" в Неваде. За гребнем воронки, имевшим высоту 20-35 м, быстро образовалось большое озеро. Вскоре после взрыва было применено землеройное оборудование для прорытия канала через гребень, чтобы вода реки могла попасть в воронку. Весеннее таяние снегов привело к заполнению воронки водой (с объемом 6.4 миллиона кубометров) и 10 миллионов кубометров воды заполнили водохранилище вне воронки. Оседание склонов воронки привело в дальнейшем к уменьшению ее емкости на 25%. Через несколько лет были построены контрольные сооружения на левом берегу реки для управления уровнями воды в водохранилищах. В настоящее время оба водохранилища существуют почти в том же виде и продолжают все еще использоваться для обеспечения водой местного скота (см.рис.2).

Размеры воронки "Чаган" очень хорошо согласуются с воронкой "Седан" (100 кт) на невадском полигоне. хотя горные породы сильно отличаются и приведенная глубина размещения заряда "Чаган" почти на 20% меньше, чем для заряда "Седан". В то время, как окружающей

породой в опыте "Седан" был сухой пустынный аллювий с влажностью менее одного процента, в случае "Чагана" породой был насыщенный влагой алеврит с содержанием воды 12%.

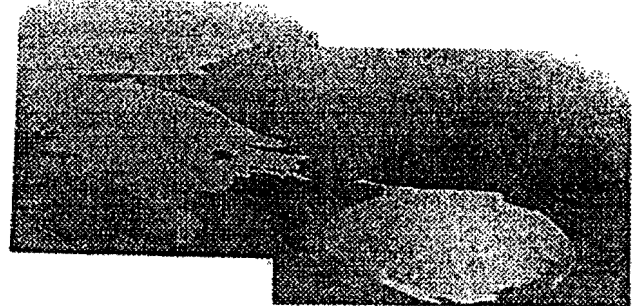


Рис.2: Фотомонтаж изображения озера "Чаган", где видны внутреннее водохранилище, образованное воронкой взрыва (справа), и внешнее, возникшее при преграждении реки Чаган гребнем воронки (слева). В центре снимка виден канал, прорытый через гребень вскоре после взрыва. В левой части снимка находятся сооружения для отвода воды мимо плотины по соответствующему каналу.

Заряд "Чаган" был термоядерным устройством с ядерным запалом мощностью около 5-7 кт²⁶. Примерно 20% радиоактивных продуктов от взрыва прорвались в атмосферу, что создало зоны с повышенной радиацией на обвальном гребне (20-30 Р/ч через несколько дней после взрыва), в основном вызванной Со-60 (период полураспада - 5.26 лет). В настоящее время, как сообщается, уровень дозы на гребне составляет примерно 2.6 мР/ч²⁷. За пределами защитной зоны в 100-150 м от гребня радиация не превышает фоновых значений (15-20 мкР/ч)²⁸. Как сообщается, уровень радиоактивности воды в озере на месте воронки составляет около 300 пКи/л²⁹.

Радиоактивность от испытания "Чаган" была обнаружена над Японией и американцами, и японцами, что явилось очевидным нарушением Договора 1963 г. о запрещении испытаний в трех средах (ЛТБТ). Соединенные Штаты обратились с претензией к Советскому

Союзу в связи с этим событием, интерпретируя его как случайный выброс в атмосферу при испытании оружия большой мощности и настаивая на разъяснении. Советский Союз ответил, что взрыв "проводился глубоко под землей, а количество проникших в атмосферу радиоактивных отходов было столь мало, что вероятность выпадения их за пределами советской территории должна быть исключена". После нескольких последующих контактов вопрос был закрыт без разъяснений³⁰.

Советские ученые отнесли выброс в атмосферу 20% радиоактивности при испытании "Чаган" на счет того, что приведенная глубина закладки заряда (42 м/кт^{1/3,4}) была меньше оптимальной. Очевидную роль в относительно высокой доле выброса сыграл тот факт, что окружающая порода была насыщена водой.

"Сары-Узень". Несколько позднее, 10 октября 1965 г. советские ученые решили провести второй эксперимент по образованию воронок при приведенной глубине, более близкой, как считалось, к оптимальной, нежели при испытании "Чаган". Для этого заряд с мощностью 1.1 кт был помещен в скважину 1003 на глубину 48 м (с приведенной глубиной 46.7 м/кт^{1/3,4}) под вышшим руслом речки Сары-Узень на западном краю СП. На глубине взрыва геологической средой служила мягкая алевритовая порода, близкая к песчаникам. Однако над ней находился десятиметровый слой глинистого материала. Взрыв создал воронку с начальными значениями диаметра 107 м и глубины 31 м.

Начальные размеры воронки "Сары-Узень" хорошо совпадали с американскими результатами для сухого аллювия. Но через три месяца воронка наполнилась артезианскими водами из водоносного слоя, что привело к обвалу склонов воронки и уменьшению ее глубины до 20 м, а диаметр вырос до 124 м. Советские ученые заранее разместили линейный заряд обычной взрывчатки под одной стороной ожидаемого обвального гребня и взорвали его через несколько минут после ядерного взрыва. Линейный заряд создал "канал" через гребень, чтобы дать возможность воде реки попадать в воронку без необходимости посещения ее людьми.

В случае взрыва "Сары-Узень" только 3.5% радиоактивности попало в атмосферу. Через пять дней после испытания доза на гребне составляла 2-3 Р/ч. Сообщается, что сейчас она равна всего 50 мкР/ч. За пределами гребня значения дозы не выходят за уровень фона³¹.

Хотя советские специалисты открыто заявляли, что они видят острую необходимость иметь в засушливых районах СССР 50 водохранилищ с общей емкостью в диапазоне 3-5 миллионов кубометров, что потребовало бы взрывы с мощностью 20-50 кт, никакие дальнейшие эксперименты или приложения технологий, продемонстрированных в испытаниях "Чаган" и "Сары-Узень", не получили развития.

Скважины 2-Т, 1-Т и 6-Т. Через несколько лет после экспериментов "Чаган" и "Сары-Узень" было проведено три дополнительных эксперимента в рамках советской программы МЯВ, о которых было сообщено, что они направлены на создание водохранилищ в засушливых районах. В течение нескольких лет советские ученые следили за американскими опытами на полигоне в Неваде, где ядерные взрывы большой мощности в аллювиальных породах привели к созданию крупных провалных поверхностных воронок над местом взрыва практически без выделения радиоактивных материалов.

Такие воронки возникают в результате схлопывания взрывной полости и всего материала, лежащего над ней, так что значительная часть объема полости проявляется на поверхности в виде провала конусообразной формы. Это может произойти только в том случае, когда лежащие над полостью породы не обладают свойством "разбухания"³² при обрушении в полость. Глубокие аллювиальные породы на невадском полигоне отлично подходят для образования провалных воронок. У появившейся воронки нет обвального гребня, а ее диаметр и глубина могут значительно меняться даже в одной и той же среде.

Советские специалисты полагали, что такие струк-

туры могут быть полезными для водохранилищ. Поскольку геологическая среда на полигонах в Семипалатинске и на Новой Земле полностью состояла из вулканических или осадочных пород, они не изучали это явление. Они решили приобрести некий опыт на отдаленной площадке нагорья Мангышлак на полпути между Каспийским и Аральским морями, где были найдены мягкие пористые осадочные формации на подходящей глубине.

Три описанных ниже эксперимента, о которых говорилось, что они были предназначены для изучения пород, где образуются провалные воронки, были проведены, начиная с зимы 1969 г (см. табл.3). Два первых взрыва в скважинах 2-Т и 6-Т на приведенных глубинах 130 и 113 м/кт^{1/3}, соответственно, образовали провалные воронки с радиусами, слегка превышающими размеры при американских опытах, но в разумных пределах. Глубины воронок были значительно меньше, чем в американских экспериментах. Эти различия вполне могли оказаться результатом отличий физических свойств среды, расположенной между местом взрыва и поверхностью. Отсутствие воронки при взрыве в скважине 1-Т, где приведенная глубина почти на 50% превышала значение для взрыва "6-Т", не кажется удивительным и также согласуется с американскими данными.

Название	2-Т	6-Т	1-Т
Дата	06.12.69	12.12.70	23.12.70
Мощность (кт)	31	84	75
Глубина взрыва (м)	407	497	640
Приведенная глубина взрыва (м/кт ^{1/3})	130	113	175
Диаметр (м)	300	500	-
Глубина (м)	13.8	12.8	-

Табл.3: Взрывы для образования провалных воронок на плато Мангышлак.

Хотя даже объемы этих воронок превышали 500 000 кубометров, не сообщалось ни о каких-либо попытках использовать их в качестве водохранилищ или для каких-либо иных целей. Не было также больше таких экспериментов или применений ядерной экскавации грунта для создания водохранилищ. Взрывы прошли совершенно без утечек радиоактивности и уровни излучения в этом районе, как сообщается, находятся на уровне фона. Площадка закрыта³³.

В последние годы появилось несколько неподтвержденных газетных сообщений о том, что настоящей целью трех этих экспериментов на плато Мангышлак был поиск места для нового полигона, где можно было бы проводить испытания ядерного оружия мегатонной мощности^{34,35}. История испытаний советского оружия, как кажется, подтверждает такой сценарий.

В конце 60-х и начале 70-х гг США и СССР разрабатывали боеголовки мегатонной мощности для нового поколения тяжелых ракет и поэтому появилась необходимость в соответствующем полигоне. Относительная близость большого города ограничивала мощность испытаний на СП, чтобы не нанести серьезных сейсмических повреждений городским зданиям. На полигоне Новая Земля (северная часть южного острова Новой Земли вдоль пролива Маточкин Шар) ядерные устройства закладывались в туннели. Местные условия и вечная мерзлота значительно ограничивали максимальные мощности испытаний, которые можно было проводить без выброса продуктов в атмосферу. Если плато Мангышлак действительно было кандидатом, то три проведенных испытания кажутся разумными для исследования того, насколько оно подходит для взрывов большой мощности.

Вероятно, площадка оказалась неподходящей скорее всего из-за близости (230 км) большого города и установки с реактором на быстрых нейтронах в Шевченко, на берегу Каспийского моря. В 1972 г., через полтора года после заключительного взрыва на плато Мангышлак советские военные открыли новый полигон в южной части Новой Земли в районе губы Черная, где

прошли испытания оружия малой мощности, а спустя год - несколько испытаний большой мощности, в том числе многомегатонный взрыв 27 октября 1973 г. В течение последовавших двух лет на этой площадке прошло еще три испытания ядерного оружия большой мощности. Ограничение в 150 кт на подземные испытания, вошедшее в силу с апреля 1976 г., исключило необходимость в площадке для взрывов большой мощности, так что на этом новом полигоне дальнейших испытаний не проводило.

Проект канала Кама-Печора

Вскоре после первых двух экскавационных взрывов в 1965 г. в фокусе советской ядерной экскавационной программы появился новый объект - сооружение канала для отведения вод из арктического района в бассейн Волги и в Каспийское море. Под влиянием постоянного понижения уровня Каспийского моря за последние 35 лет из-за климатических аномалий и забора воды из системы Волга-Кама для общественных и сельскохозяйственных нужд ряд водоохранных организаций СССР предложили отвести воды реки Печоры (протекающей по территории республики Коми к северу в Баренцево и Карские моря) через канал протяженностью 112 км в Каму, а затем через Волгу в Каспийское море^{36,37}.

По-видимому, из-за желания посоревноваться с американским предложением использовать ядерную экскавацию, чтобы прорыть новый канал для замены Панамского, ученые из советской программы МЯВ предложили использовать ядерные взрывы для сооружения центральной части канала Печора-Кама протяженностью 65 км, проходящей через места, наиболее поднятые над уровнем моря. В этих предложениях предусматривалось использование нескольких сот ядерных зарядов, взрывааемых группами по 20 штук одновременно, с полной мощностью до 3 Мт. Предварительные оценки затрат показали, что ядерная экскавация уменьшит затраты на сооружение канала в 2-3 раза по сравнению с обычными методами строительства.

"Телькем-1" и "Телькем-2". В качестве первого шага рассмотрения использования ядерной экскавации в этом проекте советские ученые провели два опыта образования воронок на участке Телькем на юго-востоке СП (см. раздел А-2 Приложения Б). Первый взрыв "Телькем-1" с мощностью 0.24 кт был проведен 21 октября 1968 г. на глубине 35 м, оптимальной для образования воронки в насыщенном кварцевом песчанике. Во втором взрыве "Телькем-2" (12 ноября 1968 г.) было использовано три заряда по 0.24 кт, размещенных в линию на расстоянии 40 м один от другого при такой же глубине залегания, как и в испытании "Телькем-1".

Как и ожидалось, после взрыва "Телькем-2" образовалась выемка длиной 142 м, шириной 60-70 м и глубиной 16 м, но на 20-30% уже и примерно на 25% мельче, чем можно было предвидеть на основании результатов взрыва "Телькем-1". Впрочем, если опираться на размеры воронки "Сары-Узень", то размеры выемки "Телькем-2" близки к ожидаемым. Результаты также вполне совместимы с данными американского взрыва "Багги" по созданию выемки, если учитывать различие в геологических условиях.

Как сообщается, уровень радиации на гребне составил всего 30 мкР/ч, что только слегка превышает местный фон. За пределами выброса грунта из траншеи уровень радиации равен местному фону³⁸.

"Тайга". Осенью 1969 г. Госплан одобрил развитие работ по каналу Печора-Кама³⁹ и самое срочное планирование в рамках советской программы МЯВ. Но появилась проблема, беспокоившая участников этой программы. На северном участке канала протяженностью 30 км, предназначенном для ядерной экскавации, георазведка показала наличие песчаников, алевроитов и глинистых сланцев, что близко по составу к выброшенным при экскавации породам на полигоне в Неваде. Но на южном участке длиной 35 км наблюдались сильно насыщенные аллювийные отложения, которые могли бы представить трудную проблему для устойчивости

склонов. Из-за тревоги по поводу устойчивости склонов ядерного канала на этом участке Минводхоз поддержал эксперимент с линейным ядерным зарядом под кодовым именем "Тайга" на южном участке канала, где была запроецирована ядерная экскавация. Площадка была выбрана примерно в 100 км к северу от города Красновишерск в Пермской области. Глубина заложения аллювийных отложений в этом районе составляла 90-130 м вперемежку с песчаником, глинистыми сланцами и мергелем. Водный горизонт, как сообщается, лежал на глубине 5-17 м.

Три заряда с мощностью 15 кт у каждого, были заложены на глубину 127 м примерно у основания аллювийного пласта и подорваны одновременно. Приведенная глубина заложения составила около 57 м/кт^{1/3,4}, что несколько превышало оптимальную величину. Расстояние между зарядами составило 165 м - при этом ожидалось получить ширину траншеи примерно на 10% больше, чем диаметр единичной воронки.

Специальная конструкция зарядов для эксперимента "Тайга" предусматривала значительное уменьшение мощности ядерного запала по сравнению с тем, что было использовано при взрыве "Чаган" в январе 1965 г. Использовавшийся заряд был испытан в скважине 125 на Сары-узенском участке СП 4 ноября 1970 г.^{40,41}, за несколько месяцев до проведения взрыва "Тайга". Хотя конкретные детали этого заряда не были опубликованы, Минатом сообщил, что в 70-х гг. были разработаны специальные ядерные заряды для экскавации, где выход энергии от деления был снижен примерно до 0.3 кт, а вся остальная энергия приходилась на термоядерные реакции⁴².

Взрыв "Тайга" был проведен 23 февраля 1971 г. примерно в 100 км к северу от Красновишерска в Пермской области. После него образовалась траншея длиной около 700 м и шириной 340 м, что почти на 50% превышало ожидаемый размер. Однако глубина составила всего 10-15 м. Конечная конфигурация с плоским дном стала результатом значительного обвала насыщенных аллювийных склонов. На рис.3 представлена схема траншеи, окружающего гребня и зоны выброса. Окончательно наклон стенок траншеи стабилизировался при углах порядка 8-10°⁴³. Хотя советские ученые остались оптимистами при интерпретации результатов эксперимента, эти результаты по всем представлениям указывают на то, что ядерная экскавация скорее всего не подходит для южного участка канала.

Хотя советские специалисты использовали новые заряды с низким уровнем деления, где радиоактивность продуктов деления на порядок величины ниже по сравнению со взрывом "Чаган", она была обнаружена за пределами СССР в ряде стран, включая США и Швецию, которые направили протесты. рассматривая это событие как нарушение ЛТВТ. На самой площадке доза излучения на гребне примерно через час после взрыва составила 50-200 Р/ч. Через восемь дней после взрыва на расстоянии 8 км от траншеи в направлении ветра дозы составляли 23-25 мкР/ч, что только в два раза превышало естественный фон для европейской части России. Если рассмотреть карту выпадения радиоактивных осадков, то линии с накопленной дозой 0.5 бэр за первый год (это примерно соответствует удвоенному фону) растянулись почти на 25 км^{44,45}.

В настоящее время уровень излучения на гребне обычно составляет 40-200 мкР/ч, а в отдельных "горячих" точках - до 1 мР/ч. Уровни излучения в районе траншеи определяются изотопами Co-60, Cs-137 и Sr-90, а также тритием. В озерной воде содержание гамма-излучателей, Sr-90 и трития ниже стандартов, установленных для питьевой воды. Была установлена защитная зона на расстоянии 2-300 м от траншеи, за пределами которой, как сообщается, уровни излучения не превышают фона и не наблюдаются в зелени^{46,47}.

Разочаровывающие технические результаты эксперимента "Тайга" сами по себе, как кажется, не охладили интерес у советских ученых к использованию ядерной экскавации в проекте канала. В течение некоторого времени они продолжали обсуждать проект в целом и

применение ядерной экскавации, в частности. Например, результаты эксперимента "Тайга" были представлены на четвертый симпозиум МАГАТЭ по МЯВ в январе 1975 г. вместе с повторным заявлением о планах продолжить проект канала⁴⁸.

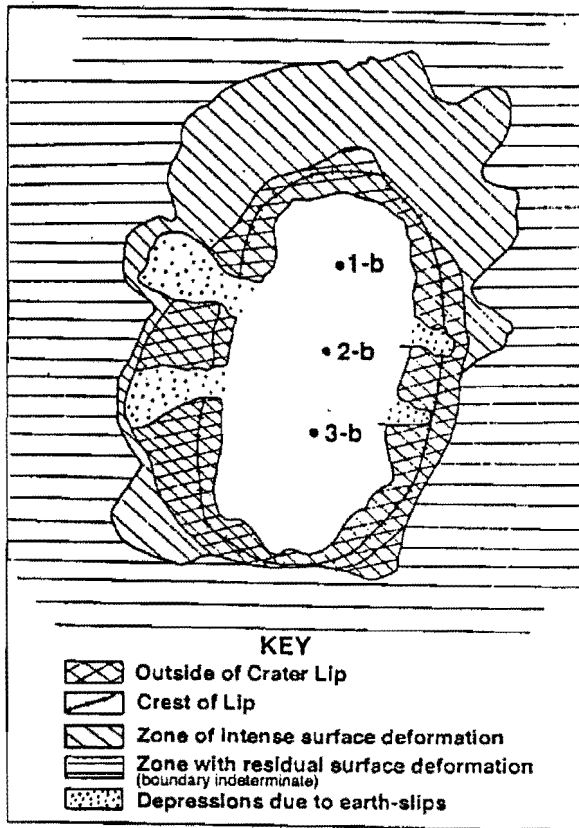


Рис.3: Схема траншеи "Тайга" вдоль проектируемой трассы канала Печора-Кама, где видны форма траншеи и места, в которых произошли обвалы склонов (см. ³⁶).

Одна из основных мотиваций советской заинтересованности в двухсторонних советско-американских обсуждениях проблемы МЯВ вытекала в начале 70-х гг. из желания советской стороны совместно разработать основные направления по обеспечению радиационной и сейсмической безопасности при проведении МЯВ такого типа, как для канала Печора-Кама. Советская сторона хотела также использовать подобные обсуждения для создания "понимания" с США в вопросе о том, как можно было бы более рационально вести крупные проекты с земляными работами, чтобы они не противоречили ограничениям ЛТВТ, относящимся к допустимому уровню радиоактивности, проникшей за пределы национальных границ. Хотя в русском и английском текстах ЛТВТ имелись отличия, менее ограничительные в русском тексте, было ясно, что проекты такого размаха, как канал Печора-Кама, нельзя вести без некоего "понимания" или, возможно, изменения самого ЛТВТ⁴⁹.

Другое указание на продолжение интереса русских к проекту стало их стремление разрешить в рамках Договора о мирных ядерных взрывах, который обсуждался в 1975-76 гг. в качестве добавления к Договору об установлении порога 150 кт на испытания ядерного оружия, иметь полную мощность МЯВ значительно выше 150 кт⁵⁰. Проект канала Печора-Кама непрерывно упоминался в качестве основания для такого условия.

Однако в конце 70-х и начале 80-х гг. в академических и правительственных кругах стала появляться оппозиция слишком большому числу проектов отвода рек, предложенных советским правительством. Основные опасения сводились к влиянию на окружающую среду и к возможным климатическим и гидрологическим

изменениям, возникающих в связи с переводом значительных объемов воды из Арктики в южные районы страны⁵¹. К середине 80-х гг. эти планы были в значительной части отвергнуты, в том числе и любое использование ядерной экскавации на канале Печора-Кама.

Сооружение плотин

"Кристалл". Через несколько лет после взрыва "Тайга", в октябре 1974 г. советские ученые провели еще один ядерный взрыв малой мощности для экскавации грунта в трех км к северо-востоку от небольшого поселка Удачная в Якутии и в 90 км к северо-востоку от города Айхал. Взрыв был проведен по заказу Минцветмета и местного комбината "Якуталмаз" - предприятия по добыче алмазов. Целью взрыва было создание небольшой плотины на реке Дельдынь. Этот район Сибири находится в зоне вечной мерзлоты и реки текут только в течение нескольких летних месяцев. Предполагалось образовать небольшое озеро, чтобы сохранить отходы алмазных руд для последующего обогащения на комбинате (см. раздел А.3 Приложения Б).

Заряд мощностью 1.7 кт был помещен на глубину 98 м, причем приведенная глубина вдвое превышала значения для взрывов "Чаган" и "Сары-Узень". Взрыв образовал куполообразный холм высотой 60 м, который затем осел до высоты, превышавшей начальный уровень почвы в среднем на 10 м⁵². Сообщалось, что купол не разрушился и все радионуклиды остались под поверхностью, хотя могла призойти утечка газообразных радионуклидов, например, Cs-137, Xe-133, Kr-85 и, возможно, трития через трещины в куполе. Нет сведений об использовании "плотины" или озера вблизи нее в намеченных целях⁵³.

Измерение гамма-излучения, проведенное в 1990 г., показало, что обычный уровень составлял 15-30 мкР/ч с пиковым значением 110 мкР/ч после того, как купол покрыли метровым слоем почвы⁵⁴. Согласно другим сообщениям уровни излучения в 1991 г. на засыпанном куполе, в основном, не превышали фона (9-15 мкР/ч) за исключением ограниченного участка к северо-востоку от купола, где они достигали 50-60 мкР/ч. После засыпки холма шестиметровым слоем породы из близлежащего карьера уровни снизились до фоновых значений. Не было обнаружено радионуклидов в образцах воды, взятых с самой плотины, при земляных работах и бурении на плотине или в пределах ста метров от плотины⁵⁵.

"Лазурит". Через несколько месяцев, 7 декабря 1974 г. советские ученые провели второй эксперимент по глубокому взрыву для образования воронки на краю СП в нескольких км от воронки "Сары-Узень". Целью было вспучивание почвы (как и в эксперименте "Кристалл" на склоне с последующим соскальзыванием этого купола вниз и образованием плотины подобно тому, что советские ученые несколько раз проделывали с химической взрывчаткой (наиболее известны взрывы вблизи Алматы в Казахстане и на реке Вахш в Таджикистане⁵⁶).

Заряд для взрыва "Лазурит" с мощностью 1.7 кт был помещен под землю на склоне крутизной 20° в породах кварцита и кремнистых сланцев. Он располагался на глубине 75 м по вертикали, что соответствовало минимальному удалению от поверхности склона на 70 м. Приведенная глубина взрыва была на 5-10% больше, чем для американского эксперимента "Салки", при котором образовалась насыпь раздробленной породы.

После взрыва "Лазурит" также образовался навал раздробленной породы диаметром 200 м и высотой 14 м. Не было опубликовано описание плотины, образованной взрывом "Лазурит". Выход радионуклидов в атмосферу был небольшим, а уровни излучения на навале сразу после взрыва были, как сообщалось, на три-четыре порядка величины ниже того, что наблюдалось при других взрывах по созданию воронок, например, при взрыве "Сары-Узень"⁵⁷. Сейчас уровни излучения, судя по сообщениям, не превышают фоновых значений, но наблюдение за площадкой продолжается⁵⁸.

Похоже, что интерес к ядерной экскавации в СССР угас после взрыва "Лазурит". Все последующие испыта-

ния проводились только камуфлетными взрывами. Впрочем, как отмечалось выше, в середине 70-х гг. при планировании в СССР ядерных взрывов значительное внимание уделялось ядерной экскавации и каналу Печора-Кама.

ПРИМЕНЕНИЕ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ

Как уже говорилось, камуфлетные взрывы проводились на такой глубине, чтобы не создавать существенных нарушений на поверхности и свести к минимуму выброс радиоактивных продуктов взрыва в атмосферу.

Интенсификация производства нефти и газа

В то время как в рамках Программы No.7 Минатома "Использование ядерных взрывов для национальной экономики" планировались ядерная экскавация и взрыв "Чаган", в СССР начали также рассматривать использование МЯВ для различных применений в промышленности. Первой областью, оказавшейся под пристальным изучением, стало применение ядерных взрывов для интенсификации производства нефти в рамках сотрудничества с Миннефтепромом (см. раздел Б.1 Приложения Б).

Как показал опыт, эффективность извлечения нефти из пластов карбонатов достаточно низка (менее 40%). С разной степенью успеха могут иметь практический интерес некоторые методики в зависимости от природы залежи и свойств нефти. Среди этих методов накачка воды и газа, внутривластовое горение или заводнение, гидравлическое дробление породы для увеличения пропускной способности пласта и вспрыскивание газа в нефть для снижения ее вязкости. Однако на многих нефтяных месторождениях такие обычные методики не подходят.

"Бутан". Первым нефтяным месторождением, предназначенным для обогащения производства, стало Грачевское месторождение в 150 км к северу от Оренбурга на территории Башкирии вблизи южной оконечности Уральских гор. Это месторождение работало при накачке газа и максимальный запланированный выход нефти оценивался в 25% от полного ресурса. Эта нефтяная залежь представляет собой пласт известняка глубиной 1000-1500 м, накрытый перемежающимися слоями каменной соли и ангидритов, которые образовали "купол для газа". Нефтяная зона отделена от подстилающей водоносной зоны слоем застывшей или окисленной нефти толщиной 25-50 м⁵⁹.

Добыча нефти на этом месторождении в течение нескольких первых лет после его открытия быстро выросла до нескольких сот тонн в месяц по мере того, как бурились новые скважины. Но через три года добыча стала резко падать по мере быстрого роста содержания газа в нефти. На седьмой год добыча упала примерно до 100 тонн/месяц и содержание газа выросло от 100 до 500 кубометров на тонну нефти. Очевидной причиной было развитие каналирования и утечка растворенного газа из пласта, что сопровождалось перемещением нефти вниз. Чтобы изменить эту тенденцию, руководство Программы No.7 и Миннефтепром решили провести первую попытку ядерной интенсификации добычи нефти на этом месторождении.

Первый этап проекта "Бутан" включал в себя одно-временный подрыв 30 марта 1965 г. двух ядерных зарядов мощностью по 2.3 кт, разнесенных на расстояние 200 м, на глубине 1375 и 1341 м на Грачевском месторождении. При такой глубине заряды и связанные с взрывами области схлопывания целиком находятся внутри нефтяного слоя. Во втором взрыве был использован один заряд мощностью 7.6 кт на глубине 1350 м, размещенный в 350 м к западу от места одного из проведенных ранее взрывов, и подорванный 6 июня 1965 г.⁶⁰. Из-за малой мощности и, возможно, пористой карбонатной среды эти взрывы не были обнаружены всемирной сейсмической сетью. Приведенные в Приложении А положения мест взрыва основаны на данных, представленных в примечании¹⁵. Применявшиеся в этом эксперименте ядерные заряды были специально

спроектированы и испытаны именно для подобного использования⁶¹.

В течение нескольких последующих лет сообщалось об увеличении добычи на 20 скважинах, расположенных на расстоянии 300-470 м от скважин, где произошел взрыв. Доля газа в нефти резко упала, а производство нефти выросло примерно на 40% по сравнению с предыдущими прогнозами. Из полученных к настоящему времени данных следует, что интенсификация увеличила сроки использования месторождения на 40-50%. В табл. 4 подытожены результаты добычи нефти в рамках проекта "Бутан" за первые 8 лет, а также результаты других проектов по интенсификации добычи нефти и газа в сравнении с американскими проектами по интенсификации газовых скважин⁶².

Проект "Бутан" был реализован при помощи явно камуфлетных взрывов и уровни излучения на поверхности, судя по сообщениям, соответствовали фоновым значениям. Образовавшийся при ядерном взрыве третий диффундировал через схлопнувшуюся полость в "купол" над нефтеносным горизонтом и появлялся в газе, добываемом вместе с нефтью. Поначалу среднее содержание трития в газе измерялось на уровне 0.03 мкКи/л. В течении трех лет оно стабилизировалось примерно на уровне 0.003 мкКи/л. Содержание трития в нефти не превышало 3 мкКи/л, что примерно соответствовало содержанию в газе, если пересчитать данные на единицу веса. Сообщалось только о следах (менее 0.1 мкКи/л) радиоактивных продуктов деления Cs-137 и Sr-90^{63,64}.

Два дополнительных взрыва с мощностью 3 кт каждый были проведены 16 и 25 июня 1980 г. на месторождении "Бутан" на глубине около 1400 м. И эти два взрыва не были замечены всемирной сейсмической сетью, так что место проведения этих взрывов приведено в приложении А в соответствии с информацией, содержащейся в примечании¹⁵. Не поступили дополнительные сведения о коакретных целях и результатах этих взрывов.

"Грифон". Через четыре года после взрывов "Бутан" Миннефтепром организовал интенсификацию другой нефтяной залежи иного типа. Эта вторая попытка - проект "Грифон", была направлена на интенсификацию Осинского месторождения в 100 км к юго-западу от Перми на западном склоне Урала. На Осинском месторождении нефть добывалась из карбонатного пласта методом накачки воды в окружающую залежь скважин^{65,66}.

Два взрыва мощностью по 7.6 кт были произведены 8 и 26 сентября 1969 г. на глубине 1212 и 1208 м в середине этой залежи при расстоянии 1200 м между местами взрыва. На таких глубинах граница контакта водного и нефтяного слоев находилась в 70 м выше мест взрыва. Схлопывающийся ствол, как ожидалось, не простирался в нефтесодержащий слой более, чем на 50-80 м. Хотя поступило мало информации о добыче нефти, советские ученые утверждали, что начальные результаты указывали на подъем производительности на 30-60%⁶⁷. Как показано в табл.4, судя по результатам, добыча выросла на 50-60% по сравнению с предыдущими двадцатью годами.

Взрывы "Грифон" были полностью камуфлетными, но последующие бурение в район канала схлопывания и удаление воды из области взрыва привело к загрязнению поверхностного участка и оборудования, которое затем было обезврежено, после чего поступило сообщение, что уровень излучения на площадке находится в пределах фона. Основная радиационная угроза для производства на этой площадке связана с Cs-137, Sr-90 и тритием, содержащимися в водных слоях, которые подпирают залежи нефти. Однако уровни радиоактивности в добываемой нефти на этом месторождении, как сообщалось Минатомом, аналогичны тому, что известно об уровнях на месторождении "Бутан".

Однако в российской прессе появляются статьи, говорящие о менее оптимистической ситуации. В последней статье академика Яншина, где изучено влияние МЯВ в районе Перми на окружающую среду в 1991-92 гг., указано что к 1978 г. в скважинах вблизи площадок для

Проект	Характеристики природных коллекторов				Число взрывов	Рост добычи	Увеличение добычи на взрыв (10^3 м^3)
	Тип породы	Пористость (%)	Проницаемость (мДарси)	Насыщающая жидкость			
Бутан	Известняк	15 - 20	4 - 64	Нефть и газ	5	1.4 - 1.5	80
Гелий	Известняк	8 - 10	5 - 20	Нефть	5	1.6 - 1.8	-
Грифон	Известняк	10 - 15	20 - 40	Вода	2	1.5 - 1.6	120
Нева	Известняк	10 - 12	0.2 - 0.4	Нефть и газ	6	> 20	80
Ангара	Песчаник Сланец Алевролит	10-12	0.1 - 0.2	Нефть	1	15	-
Бензол	Песчаник Сланец Алевролит	25	0.01 - 0.02	Вода ^б	1	-	-
Гэсбагги	Песчаный сланец	10 - 12	0.1 - 0.2	Газ	1	6 - 8	-
Рулисон	Песчаный сланец	7 - 9	0.2 - 0.4	Газ	1	10 - 15	-
Рио-Бланко	Песчаный сланец	4 - 6	0.1	Газ	3	10 - 15	-

а) нефть и газ; один куб.м нефти равен 1000 куб. м газа;
б) взрыв был проведен ниже продуктивного пласта¹⁵.

Табл.4: Сравнительные оценки американских и советских проектов интенсификации при помощи МЯВ.

взрыва стали появляться радионуклиды Cs-137 и Sr-90⁶⁸. В течение последующих десяти лет область загрязнения распространилась на 65 работавших скважин и стала представлять угрозу для водоснабжения г.Воткинска, для Камы и даже для бассейна Волги. Вблизи скважин, куда заложили заряды, уровни излучения составили, судя по сообщениям, около 60 мкР/ч, а на самих скважинах - 20-50 мкР/ч. На некоторых участках дозы излучения выросли до 3 мР/ч^{69,70}. Поступили сообщения, что предприятия по очистке нефти в Перми отказались принимать сырье с Осинского месторождения, а несколько скважин были закрыты⁷¹. Минатом подтвердил, что нефть с площадки "Грифон" не годится для местных очистительных предприятий.

Проект "Тахта-Кугульта". Месяц спустя после двух первых взрывов "Грифон" по интенсификации добычи нефти в рамках советской программы МЯВ с участием Мингазпрома была проведена первая попытка по интенсификации добычи газа из газовых месторождений с низкой проницаемостью. Площадкой для этого испытания выбрали газовое месторождение Тахта-Кугульта в южной России на северном склоне Кавказа примерно в 90 км севернее Ставрополя.

Тахта-Кугультинское газовое месторождение представляет из себя очень большую геологическую структуру, где продуктивный горизонт является тонким (5-13 м) слоем глинистого алевролита, лежащего на глубине около 700-750 м⁷³. Испытание включало в себя один ядерный взрыв мощностью 10 кт на глубине 712 м. На второй американско-советской двусторонней встрече в феврале 1970 г. советские ученые сообщили американцам о проведении такого эксперимента, но никакой дополнительной информации о результатах не поступило ни тогда, ни потом. Более того, это было единственное испытание, где в качестве организатора упоминался Мингазпром. Похоже, что исключительно малая толщина газоносного слоя делает его плохим кандидатом для ядерной интенсификации, поскольку высота канала схлопывания ожидалась в 5-10 раз большей по сравнению с толщиной слоя. Отсутствие информации о результатах этого испытания подтверждает, как кажется, очень разочаровывающий результат. Не сообщалась об утечках радиоактивности, а площадка была закрыта⁷⁴.

Проект "Нева". Осенью 1976 г. в советской программе МЯВ (на этот раз с участием Мингео) начался новый проект по интенсификации добычи газа, получивший название "Нева". Проект включал в себя несколько взрывов в толще гидрокарбоната на площадке, расположенной около 120 км к югу-юго-востоку от города Мирный в Якутии. Продуктивная формация на площадке "Нева" (Средне-Ботубинском месторождении) состояла из участков доломита и известняка с вкраплением солевых слоев на глубине 1500-1600 м с содержанием как

нефти, так и газа, хотя до начала ядерной интенсификации эта залежь рассматривалась только как источник газа⁷⁵.

В период первого эксперимента, получившего название "Ока" и произведенного 5 ноября 1976 г., месторождение активно разрабатывалось. Взрыв "Ока" имел мощность 15 кт и был произведен на глубине 1522 м. Сначала проверка добычи в течение нескольких месяцев после взрыва велась на существовавшей ранее опытной скважине, находившейся в 120 м от скважины "Ока". В то время, как добыча газа из этой скважины до взрыва составляла 3000-5000 куб.м/день, периодические проверки после взрыва в течение 75 дней показали, что добыча газа превысила 100 000 куб.м/день, а добыча нефти составила 20-22 куб.м/день. Проверка добычи из зарядовой скважины "Ока" в течение трех с половиной месяцев показала, что уровень поступления газа превышал 100 000 куб.м/день, но не было нефти, которая накапливалась в центральной части канала схлопывания. В конце испытательного периода добыча газа все еще была на уровне 50 000 куб.м/день.

Второй взрыв на Средне-Ботубинском месторождении, названный "Вятка", состоялся 7 октября 1978 г. рядом с "Окой". Его мощность и глубина заложения были такими же, как у "Оки", а на расстоянии 120 м от зарядовой скважины была расположена другая опытная скважина, на которой до испытания "Вятка" производительность была незначительной. После взрыва добыча газа из скважины "Вятка" составляла 60 000 куб.м/день в среднем в течение двух месяцев и все еще оставалась на уровне 38 000 куб.м/день в конце проверки⁷⁶.

Третий взрыв ("Шексна") был произведен ровно через год, 7 октября 1979 г., примерно с той же мощностью, но на 50-70 м глубже, чем в двух предыдущих экспериментах. Не было представлено никаких конкретных результатов по проверке производительности вблизи скважины "Шексна".

Три следующих взрыва ("Нева"-1,2,3) были проведены в 1982 и 1987 гг. для перехода от Средне-Ботубинского месторождения на более значительные площади. В ноябре 1987 г. советские специалисты произвели седьмой (и последний) взрыв на Средне-Ботубинской площадке, который был классифицирован Минатомом как взрыв для интенсификации газодобычи. Но мощность взрыва (3.2 кт) и глубина залегания 815 м в солевом пласте дают основания предположить, что этот взрыв в действительности направлен на создание подземного хранилища для удаления радиоактивных и токсичных отходов, созданных в результате интенсифицирующей и производственной деятельности на этой площадке. Такое допущение подтверждается тем фактом, что в табл.4 примечания¹⁵ приведено только 6 взрывов на площадке "Нева".

Общие результаты интенсификации на площадке "Нева" приведены в табл.4, где они сравниваются с результатами других советских и американских проектов. Как видно из табл.4, проницаемость Средне-Ботуобинской залежи сравнима с соответствующим параметром для американских месторождений "Гэсбагги" и "Рулисон", но результаты интенсификации в 2-3 раза выше, чем было реализовано в американских экспериментах. Разница вполне может быть связана с тем, что породами для Средне-Ботуобинской залежи служат известняк и доломит, а американские залежи, в основном, состоят из сланцев. Если опираться на тот факт, что ранее только четыре из сорока использовавшихся скважин имели реальный производственный потенциал, то надо признать, что ядерная интенсификация сделала месторождение коммерчески выгодным. Расчетная выгода от ядерной интенсификации месторождения составила сто миллионов рублей (в ценах 1980 г.). Кроме того, хотя месторождение рассматривалось до интенсификации только как газовое, на нем были получены имеющие коммерческую ценность количества нефти⁷⁷.

направлении. Такое явление было впервые замечено во время работ по проекту "Нева". Как показали исследования, величина поляризации зависит от свойств породы и является значительной только для залежей с малой проницаемостью. Нет сообщений о том, искали ли такое явление или нашли его на других площадках для интенсификации^{78,79}.

Минатом сообщил, что все семь взрывов, выполненных на этой площадке, были полностью камуфлетными. Доступ к зарядовым скважинам закрыт и они зацементированы (может быть, за исключением только "Невы-4"). Работы на площадке может быть возобновлена. Уровни радиации на площадке соответствуют фоновым значениям⁸⁰.

Проект "Гелий". В 1981 г. начался новый проект интенсификации добычи нефти в рамках советской программы МЯВ - это проект "Гелий" на Гежском карбонатном пласте вблизи Красновишерска на западном склоне Урала примерно в 800 км к северу от первой интенсификационной площадки "Бутан". Характеристики геологической формации и использованной технологии очень близки к тому, что характерно для "Бутана".

Проведенный 2 сентября 1981 г. первый взрыв имел мощность 3.2 кт и произошел на глубине 2088 м, ниже нефтеносного слоя. Второй и третий взрывы были проведены тремя годами позже, 28 августа 1984 г., с разницей в пять минут. Их мощности и глубины заложения были такими же, как и в первом случае. Два последних взрыва по проекту "Гелий" были осуществлены примерно тремя годами позже, 19 апреля 1987 г., снова с пятиминутным сдвигом и с такими же мощностями и глубинами заложения.

Доступные результаты по проверке производительности ограничены теми цифрами, какие приведены в табл.4, и указывают на возрастание добычи на 60-80% после интенсифицирующих взрывов. Как сообщалось, все взрывы успешно оставались камуфлетными, а площадка активно эксплуатируется⁸¹.

Проекты "Ангара" и "Бензол". Советская сторона подтвердила проведение двух дополнительных взрывов для интенсификации добычи нефти ("Ангара" и "Бензол") в Восточной Сибири, в центре бассейна Оби. Первый из них - проект "Ангара", был организован Мингео и состоялся 10 декабря 1980 г. на Еси-Еговском нефтяном месторождении. Был использован заряд мощностью 15 кт, помещенный на глубину 2485 м. Второй взрыв - проект "Бензол", был организован Миннефтепромом и состоялся 18 июня 1985 г. на Средне-Балыкском нефтяном месторождении. Мощность взрыва составила 2.5 кт при глубине заложения 2859 м. О результатах этих проектов ничего не было опубликовано за исключением того, что площадка "Бензол" активно разрабатывается. Оба взрыва были камуфлетными без утечек радиоактивности⁸².

Итоги деятельности по интенсификации добычи нефти и газа. Всего в рамках советской программы МЯВ было выполнено пять проектов, направленных на интенсификацию добычи нефти, причем во всех случаях из доломитовых или известняковых залежей. В трех проектах были использованы многократные взрывы с мощностями в диапазоне 2.3-7.6 кт. Результаты за период производства 10-20 лет указывают на увеличение добычи на 40-80% по сравнению с тем, что ожидалось от месторождений до интенсификации. Было выполнено два проекта по интенсификации нефтедобычи с одиночными взрывами, но результаты не опубликованы. Все взрывы носили полностью камуфлетный характер и не сообщалось о проблемах с радиоактивным заражением площадки или продукта за исключением проекта "Грифон", где, как кажется, проблемы с загрязнением продукта и грунтовых вод нарастают со временем.

Похоже, что советская программа по интенсификации добычи природного газа состояла из двух проектов, причем результаты были опубликованы только об одном из них. В этом проекте ("Нева") было использовано шесть взрывов с мощностями 13-16 кт для интенсификации доломитовой залежи и один взрыв мощностью 3.2 кт в солевом пласте, возможно, для хранения или удаления отходов. Результаты за 15-летний период

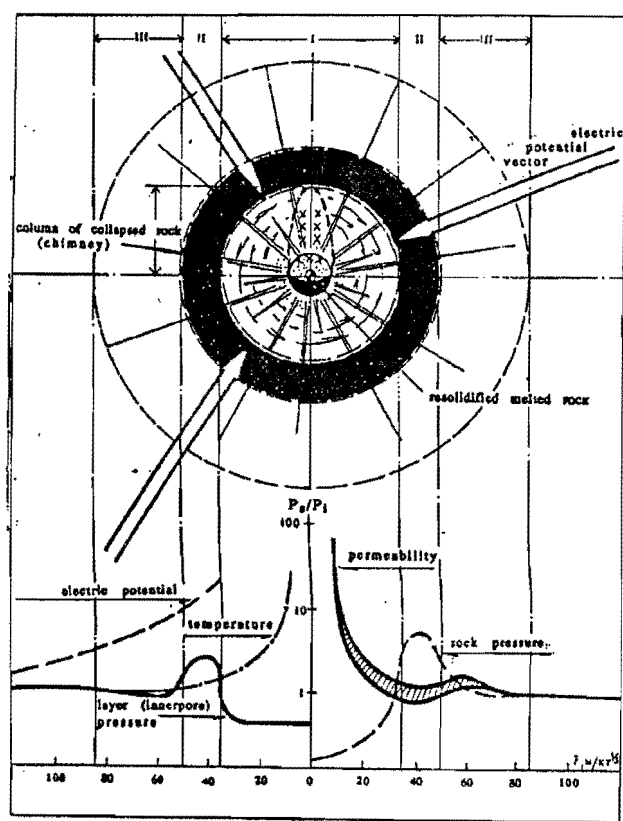


Рис.4: Схема, показывающая физико-механические перемены в однородной пористой породе вокруг места ядерного взрыва (верхняя часть) и изменения основных свойств породы: давление в породе и в порах, проницаемость, температура и электрическая поляризация (нижняя часть). Три большие стрелки сверху показывают направление вектора электрической поляризации в породе, возникшей из-за взрыва. На горизонтальной оси снизу отложено приведенное (обратно пропорциональное кубическому корню из мощности взрыва) расстояние от точки взрыва. На вертикальной оси - логарифм отношения значений параметров после взрыва к начальным значениям.

Наряду с механическими изменениями в окружающих породах советские ученые сообщили также об открытии нового явления - постоянной электрической поляризации пород (см. рис.4). Область аномальной поляризации простирается до приведенных расстояний 200-250 м/кт^{1/3} от точки взрыва. Поляризация направлена к центру взрыва и облегчает передвижение нефти в этом

указывают на темпы добычи, превышающие нормальные более, чем в 20 раз. Это примерно вдвое превышает американские успехи. Все взрывы были камуфлетными. Хотя ожидалось, что в газе будут содержаться малые количества трития, не сообщалось о проблемах с загрязнением продукта.

Как и в американской программе "Плаушер", советские военные лаборатории разработали специальные заряды, удовлетворявшие уникальным требованиям интенсификации нефтяных и газовых залежей. Большая глубина залегания таких пластов (1000-2000 м) придает большое значение уменьшению диаметра зарядов и обеспечению их такими качествами, чтобы можно было противостоять возросшим температуре и давлению на таких глубинах. Большим успехом стало бы также уменьшение образования трития в самом заряде и в окружающей среде, чтобы ослабить проблемы загрязнения тритием углеводородных продуктов. Для выполнения таких условий советские специалисты разработали специальные заряды диаметром 30-60 см, имеющие соответствующие мощности, а также способные выдерживать заложение в глубокую скважину и плохие условия перевозки⁸³.

Следует упомянуть и о сейсмическом явлении с магнитудой 4.4, которое зарегистрировано в 9:00:06 по Гринвичу 19 июля 1982 г. в 120 км северо-восточнее Котласа (в юго-восточной части Республики Коми). Советские специалисты по наукам о Земле из Института имени Шмидта и Института динамики геосферы связывали это событие с советской программой МЯВ и называли его "Коминнефть", выражая тем самым свою убежденность в том, что целью этого события была интенсификация нефтедобычи⁸⁴. В публикациях Минатома ссылок на это событие нет.

Технология создания подземных полостей

Проект "Галит". В начале развертывания советской программы МЯВ, возможно, в качестве реакции на более ранние американские взрывы в массивах каменной соли, которые привели к созданию постоянных емкостей "Гном" и "Салмон", было принято решение разработать технологию создания полостей в солевых пластах. Была выбрана площадка примерно в 180 км к северу от Астрахани. Эта испытательная площадка находилась вблизи деревеньки Азгир в центре крупного полупустынного района. Геологической средой в Азгире являлись два крупных солевых купола (западный и восточный), простирающиеся на большую глубину и прикрытые относительно тонким (5-200 м) слоем аллювия. Уровень подземных вод в этом районе достаточно мелок - вблизи вершины солевой формации⁸⁵.

"А-1". Эксперимент А-1 - первый по этой программе, получившей название "Галит", был произведен 22 апреля 1966 г. с мощностью взрыва 1.1 кт на Западном куполе на глубине 161 м (приведенная глубина составляла около 155 м/кт^{1/3}). Была образована полость диаметром около 25 м и объемом 11200 куб.м.

Как и при всех экспериментах в солевых пластах, которые сопровождаются образованием полостей, радиоактивная пыль от взрыва поначалу вдавливалась в стенки полости, покрытые расплавленной солью.

Через несколько минут после взрыва расплавленная соль со стенок падает на дно полости, неся с собой жаростойкие радиоактивные осадки. Расплавленная соль образует лужу на дне полости глубиной примерно в треть радиуса по центру, которая затем застывает и захватывает жаростойкие радиоактивные осадки в застывшую соль. Газообразные радионуклиды смешиваются с газами, заполняющими полость.

Вскоре после взрыва камера А-1 начала заполняться водой, по-видимому, в результате плохой изоляции зарядовой скважины и обширных разломов породы над полостью из-за отслаивания наземного слоя. Свод также стал разрушаться, сбросив около 8000 куб.м. каменной соли в полость, что затруднило попытки изучить состояние всей полости. Кроме того произошел выброс радиоактивных газовых продуктов из полости в измери-

тельные скважины и через них на поверхность, что привело к местному загрязнению окружающей среды.

"А-2". Второй взрыв по программе "Галит" (А-2) был проведен через два года, 7 июля 1968 г. в том же Западном солевом куполе Азгира, но примерно в 8 км севернее места взрыва А-1 при несколько большей приведенной глубине. Мощность заряда составила 27 кт при глубине заложения 597 м (приведенная глубина около 200 м/кт^{1/3}). Была образована полость сферической формы радиусом около 32 м и объемом 140 000 куб.м. Эта полость также начала протекать в районе зарядовой скважины и в конце концов наполнилась водой, но не произошло раннего выброса газовых радионуклидов.

Полости А-1 и А-2 были тщательно изучены. Они обеспечили очень полезный опыт создания взрывных полостей в солевых пластах и работы с ними, что привело к идеям по использованию таких полостей в ряде приложений. Камера А-2 была использована повторно в серии экспериментов, предназначавшихся для получения трансплутониевых элементов (как обсуждается в дальнейшем).

"А-3". Третий эксперимент из серии "Галит" (А-3) был выполнен тремя годами позже, 22 декабря 1971 г. на Восточном солевом куполе Азгира примерно в 16 км от площадок А-1 и А-2. На этот раз мощность взрыва составила 64 кт при глубине заложения 986 м (приведенная глубина около 245 м/кт^{1/3}). Взрыв образовал полость, близкую к сферической, с горизонтальным радиусом 38 м и вертикальным - около 33 м. Радиус сферы с эквивалентным объемом равен 36.2 м. Полость осталась сухой и в дальнейшем была использована для эксперимента по сейсмическому декаплингу (см. далее)⁸⁶.

Перекрытие аварийных газовых скважин

Вскоре после установления советской программы МЯВ перед ее руководителями появилась срочная промышленная проблема - можно ли использовать подземный ядерный взрыв для перекрытия газовой скважины, бушующей уже около трех лет? (См. раздел Б-2 Приложения Б).

"Урта-Булак". При бурении газовой скважины No.11 на Урта-Булакском месторождении в Южном Узбекистане примерно в 80 км к югу от Бухары 11 декабря 1963 г. был утерян контроль над скважиной на глубине 2450 м. Это привело к выбросу газа через трубу диаметром 20 см с дебитом свыше 12 миллионов куб.м/день. Такого количества достаточно для снабжения крупного города, например, Санкт-Петербурга. Давление газа в пласте составляло около 270-300 атм⁸⁷⁻⁸⁸.

В течение трех лет предпринималось много попыток с разной методикой для перекрытия скважины сверху или для уменьшения дебита и последующий заглушки газового факела. Но поскольку нижняя часть трубы на глубине 1000 м не была зацементирована, такие попытки привели к проникновению газа в соседние скважины и к серьезным угрозам безопасности персонала из-за большой концентрации сероводорода в газе. Попытки подойти к скважине путем подкопов были затруднены из-за того, что положение нижней части трубы не было зафиксировано к моменту потери контроля над скважиной.

Наконец, осенью 1966 г. было принято решение попытаться закрыть скважину с использованием ядерного заряда. Считалось, что ядерный взрыв пережмет любую скважину, расположенную в 25-50 м от точки взрыва, в зависимости от мощности. Одновременно были пробурены две наклонные шахты 1с и 2с диаметром 44.5 см. Они были предназначены для максимально близкого подхода к скважине No.11 на глубине около 1500 м в середине глинистой зоны толщиной 200 м.

Такая глубина считалась достаточной для удержания давления 300 атм, которое существовало в нижнем газосодержащем пласте. Были применены акустические и электромагнитные методы для определения расстояния между скважиной No.11 и наклонными зарядовыми шахтами на глубине 1450 м. Окончательная оценка расстояния между скважиной No.11 и шахтой 1с составила

35 м (с десятиметровой точностью).

Место размещения заряда охлаждалось до такой температуры, какую он может выдержать. Специальный заряд, разработанный во ВНИИЭФ специально для этого случая, был помещен в шахту 1с. Его взорвали 30 сентября 1966 г. Через 23 с выброс газа прекратился и скважина была запечатана⁹⁰.

"Памук". Через несколько месяцев после закрытия скважины No.11 в Урта-Булаке был потерян контроль над другой скважиной высокого давления на соседнем Памукском месторождении (скважина No.2-Р). В этом случае бурение протекало нормально до глубины 2748 м, пока не был достигнут газосодержащий горизонт с давлением, существенно превышавшим давление в Урта-Булаке (580 атм). Через полтора месяца после прорыва газа он заблокировался сам по себе на глубине 800-1000 м. В скважине были проведены вспомогательные работы и, как показало, проблемы разрешились, но через четыре месяца газ начал поступать на поверхность через другие скважины и прямо через почву.

После нескольких неудачных попыток запечатать скважину гидравлическим разрывом из пробуренной наклонно шахты было решено снова воспользоваться ядерным зарядом и затыкать прорвавшуюся скважину. Была пробурена новая наклонная скважина No.10-Н для пересечения со скважиной No.2-Р в середине солевого пласта, лежащего над газосодержащей залежью. Проведенные после завершения бурения измерения показали, что минимальное расстояние между двумя скважинами на глубине 2440 м составило 30 м (с пятиметровой точностью).

На этот раз был использован специальный заряд, разработанный в ВНИИЭФ. Он был спроектирован и испытан в условиях высокого давления и больших температур, на 100 С превышавших ожидаемые в зарядовой шахте значения. Диаметр заряда составил всего 24 см, а длина - 3 м, что облегчило его использование в обычных нефтяных и газовых скважинах. Мощность заряда составила 47 кт⁹¹.

Заряд был помещен в шахту No.10-Р и подорван 21 мая 1968 г. на глубине 2440 м. Из-за большого количества газа, заполнившего вышележащие слои в течение двух предыдущих лет, поток газа не затухал еще семь дней, пока он, наконец, не иссяк и запечатывание не завершилось. Второй "успех" придал советским ученым значительную уверенность в использовании этой новой технологии для быстрого и эффективного контроля над прорвавшимися газовыми и нефтяными скважинами.

"Кратер" и "Факел". Через четыре года появились две новые возможности использовать ядерные взрывы для перекрытия прорвавшихся газовых скважин. Первый случай ("Кратер") произошел на Майском газовом месторождении примерно в 30 км к юго-востоку от города Мары в Средней Азии. Контроль над газовой скважиной был утерян 11 мая 1970 г. и дебет составил около 700 000 куб.м/день. Уровень газосодержащего слоя на этом месторождении лежал на глубине около 3000 м. Не было опубликовано никаких подробностей об этом событии за исключением того, что взрыв с мощностью 14 кт был произведен 11 апреля 1972 г. на глубине 1720 м в слое глинистых сланцев и оказался успешным - скважина была закрыта.

Во втором случае ядерный взрыв запечатал 7 июля 1972 г. другую прорвавшуюся газовую скважину на Украине примерно в 20 км к северу от Краснограда и в 65 км юго-западнее Харькова. Скважина прорвалась на Крестищенской газовой залежи, лежащей на глубине свыше 3000 м. Нет никакой дополнительной информации за исключением того, что при этом событии "Факел" был взорван заряд мощностью 3.8 кт на глубине 2483 м в солевом пласте. Небольшая мощность служит указанием на то, что место прорыва было хорошо известно и зарядовая шахта была пробурена очень близко к нему.

"Пирит". Последняя попытка воспользоваться подобным приложением произошла в 1981 г. на прорвавшейся скважине на Кумжинском газовом месторождении вблизи северного побережья Европейской части России

около устья Печоры в 50 км севернее Нарьян-Мара. Скважина вышла из-под контроля 28 ноября 1980 г., что привело к ежедневной потере около 2.6 миллионов куб.м газа. Ядерный заряд с кодовым названием "Пирит" мощностью 37.6 кт был подорван 5 мая 1981 г. на глубине 1511 м в песчаниково-глинистом слое рядом с прорвавшейся скважиной. Но ядерный взрыв не привел к перекрытию скважины, возможно, в результате нечеткой информации о положении аварийной скважины. Не было опубликовано никаких дополнительных подробностей о результатах этой ядерной попытки закрыть скважину или последующих усилий по закрытию иными средствами⁹².

Как сообщил Минатом, все советские попытки заглушить аварийные скважины проводились полностью камуфлетными взрывами и на поверхности почвы в течение последующих инспекций не было обнаружено превышений уровня радиоактивного фона⁹³.

Подземные емкости для хранения газового конденсата

Набравшись опыта при создании двух полостей в Азгирском солевом куполе в 1966 и 1968 гг., советские ученые начали рассматривать возможное использование таких полостей в разных промышленных секторах для подземного хранения. В конце 60-х гг. были установлены контакты со специалистами министерств газовой, нефтяной, химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности для оценки их будущих требований к подземному хранению и их заинтересованности в исследовании применения ядерных взрывов для удовлетворения таких потребностей. Наибольший интерес был проявлен Миннефтепромом и в результате быстро появились планы разработки программы по развитию такого приложения (см. раздел Б-4 Приложения Б).

Полученный при взрывах "А-1" и "А-2" в Азгире опыт четко определил два наиболее важных технических вопроса, с которыми придется иметь дело: (1) изоляция емкости от доступа к любому источнику воды через трещины, отломы, зарядовую или иные скважины вблизи емкости; (2) определение глубины, при которой взрыв остается камуфлетным, с одной стороны, и не усложняются проблемы устойчивости полости по отношению к схлопыванию или сжатию литостатическим давлением. Любое проникновение воды в полость, как это произошло на двух первых полостях в Азгире, быстро приведет к выщелачиванию радиоактивных продуктов, захваченных в застывшую соляную линзу на дне полости, и к загрязнению любого продукта, хранящегося в этой емкости.

Проект "Магистраль". Первый эксперимент, специально направленный на использование емкости от подземного ядерного взрыва для хранения (проект "Магистраль") был проведен на газовом месторождении Совхозное в 70 км к северо-востоку от Оренбурга и в 100 км южнее места проведения первого проекта по интенсификации нефтедобычи на площадке "Бутан" (см. рис.5)⁹⁴.

Мощность заряда "Магистраль" составила 2.3 кт и он был заложен на глубине 702 м в солевом пласте. Взрыв произошел 25 июня 1970 г. и привел к образованию полости объемом 11000 куб.м (радиус равен 14 м). Через несколько месяцев емкость была вскрыта через зарядовую скважину и еще через 6 месяцев ее заполнили природным газом из соседнего месторождения Совхозное до давления 84 атм^{95,96}.

Емкость "Магистраль" использовалась в промышленных целях в течение последующих 18 лет⁹⁷. В 1993 г. начались работы по обеззараживанию и деактивации площадки, где в непосредственной близости от скважины уровни излучения, как сообщалось, выросли до 30-40 мкР/ч⁹⁸. Было заражено около 3000 т почвы со средним уровнем около 500 000 пКи из-за утечек при откачке радиоактивных растворов из емкости. За пределами площадки уровни радиации, как сообщается, являются "фоновыми".

Проект "Сапфир". После успеха проекта "Магистраль" участвовавшие в советской программе МЯВ ученые

совместно с Мингазпромом перенесли внимание на другую площадку в 100 км к юго-западу от площадки "Магистраль" и в 40 км к юго-юго-западу от Оренбурга (см. рис. 5). Новая площадка (проект "Сапфир") была нацелена на солевой пласт, покрывающий Оренбургскую залежь газового конденсата - одну из крупнейших в СССР на время ее открытия в 1967 г.

Газовый конденсат - это углеводород очень высокого качества, представляющий из себя смесь газов (пропан, бутан и пентан), находящихся в жидкой фазе под высоким давлением. Газовый конденсат является достаточно ценным материалом, но на некоторых месторождениях он загрязнен сероводородом и другими растворенными газами, что делает очень дорогим хранение его на поверхности, поскольку для этого нужны металлические баки, выдерживающие высокие давления и устойчивые к коррозии. Содержание сероводорода Оренбургской залежи составляет, как сообщалось, 2,7%. Похоже, что при хранении в солевых емкостях проблемы коррозии исчезнут и появится возможность дегазации растворимых примесей до отправки конденсата на очистительные предприятия. Более того, требовались дополнительные емкости, поскольку начальная производительность Оренбургского завода по очистке конденсата не соответствовала пиковой производительности завода по переработке природного газа⁹⁹.

Первый из двух взрывов по проекту "Сапфир" был подорван 22 октября 1971 г. на глубине 1142 м в середине солевого пласта. Продуктивная газовая залежь лежала на глубине 1400-1800 м. Ядерный взрыв мощностью 15 кт образовал полость объемом 50 000 куб. м. Через зарядовую скважину был осуществлен доступ в камеру и после промывки и охлаждения емкости природным газом она была испытана на давление 84 атм в течение 30 дней без обнаружения утечек.

Второй взрыв произошел через два года, 9 сентября 1972 г. с мощностью 10 кт на глубине 1145 м снова внутри солевого пласта. Была образована похожая емкость слегка меньшего размера.



Рис.5: Карта, где показаны разные площадки МЯВ к северу от Каспийского моря. (1) "Бутан" - первый из проектов интенсификации добычи нефти. (2) "Магистраль", (3) "Сапфир", (4) "Лира" и (5) "Вега" - это проекты хранения газового конденсата. (6) "Кама" - проект захоронения токсичных отходов.

Оба взрыва предшествовали созданию комплекса по обработке газа - одного из крупнейших в мире, который был построен в Оренбурге консорциумом западных фирм. В него фактически входят три завода,

каждый из которых обладает производительностью 17 миллиардов куб.м/г. После завершения первой фазы этого комплекса в 1974 г. емкости были заполнены газовым конденсатом и переключились на промышленное использование. Они работают под давлением 80 атм и газовый конденсат выдавливается природным газом.

Использование обеих этих площадок было временно приостановлено в 1993 г. для замены оборудования и обеззараживания отдельных участков поверхности в промышленной зоне с повышенной дозой излучения. Не сообщалось о загрязнении продукта, находившегося на хранении в емкости. За пределами промышленной зоны уровни излучения, как сообщается, соответствуют фоновым значениям¹⁰⁰.

Проект "Вега". В 1980 г. в рамках советской программы МЯВ при участии Мингазпрома началось обширное использование методики подземного хранения, получившую хорошую оценку в ходе проекта "Сапфир", на новой площадке примерно в 700 км южнее площадки "Сапфир", в 40 км к северо-северо-востоку от Астрахани (см. рис.5). Этот новый проект, получивший название "Вега", находился на южном крае недавно открытого Астраханского газоконденсатного месторождения - одного из крупнейших в Советском Союзе и намного превосходящего Оренбургское месторождение. Астраханское месторождение имело очень высокое содержание загрязняющего газ сероводорода (25%), что почти на порядок величины выше, чем на Оренбургском. Кроме того, как сообщалось, на Астраханском месторождении наблюдалось очень высокое содержание диоксида углерода (12%), который надо было отделить от конденсата до поступления природного газа в распределительную систему. Астраханский газоконденсатный пласт находится в известняковой породе на глубине примерно 4000 м и накрыт сверху Сентовским соляным массивом, который простирается вверх вплоть до глубин порядка 500 м¹⁰¹.

Первый взрыв на площадке "Вега" был произведен в солевой породе 8 октября 1980 г. на глубине 1050 м с мощностью 8,5 кт. На следующий год (26 сентября) были подорваны два заряда той же мощности примерно на такой же глубине с интервалом 4 минуты между взрывами. Еще через год (16 октября 1982 г.) с интервалами по 5 минут на площадке "Вега" было произведено четыре взрыва. По российской информации, один из зарядов имел мощность 13,5 кт, а остальные - по 8,5 кт¹⁰². Еще шесть взрывов были произведены 24 сентября 1983 г. с интервалами по 5 минут. Все они имели мощность 8,5 кт и произошли на глубине около 1000 м.

Последние два заряда были подорваны на площадке "Вега" 27 октября 1984 г. с пятиминутным интервалом, что довело общее число взрывов на этой площадке до пятнадцати. Глубина заложения этих зарядов также была равна 1000 м, но мощности составили только по 3,2 кт, что составило примерно одну треть от предыдущих взрывов. С учетом очень большого содержания серы в газовом конденсате и размера Астраханского месторождения можно предположить, что две эти последние емкости могли быть с успехом использованы для размещения или хранения отходов.

Меньшие мощности при всех взрывах на этой площадке по сравнению с взрывами на Оренбургском месторождении можно отнести к относительной близости большого города Астрахани, имеющего более полумиллиона жителей, и многих не столь больших поселений и промышленных предприятий в дельте Волги к северу от Каспия - все они восприимчивы к сейсмическим повреждениям. Сейсмические ограничения определили максимально допустимую мощность единичного заряда, а полные потребности Астраханского месторождения и завода по переработке газа в объеме емкостей для хранения определили число взрывов. Использование нескольких разнесенных по времени небольших взрывов вместо одного крупного позволяет получить тот же самый объем хранилища со значительно меньшей вероятностью сейсмических повреждений, минимальными операционными затратами и меньшим размахом эвакуации местного на-

селения. Единственный взрыв с мощностью 13.5 кт мог оказаться проверкой того, какие сейсмические повреждения нанес бы взрыв еще большей мощности.

Если допустить, что последние два взрыва были использованы для хранения отходов, то остальные тринадцать должны были образовать емкости с полным объемом около 400 000 куб.м, что почти в четыре раза превышает объем емкостей в Оренбурге. Начиная с 1986 г., семь емкостей стали наполняться газовым конденсатом в режиме промышленных операций, две емкости использовались для размещения отходов, а шесть оставались в резерве. Наличие этих емкостей, как сообщалось, позволило начать добычу и переработку газового конденсата с Астраханского месторождения значительно раньше, чем допустили бы обычные методы хранения газа.

Однако, начиная с 1987 г. было обращено внимание на то, что шесть пустых емкостей начали сжиматься, теряя до 40% своего объема. Это было связано с отсутствием противодействия в полости, аномально большими горизонтальными тектоническими напряжениями в солевом массиве. В конце концов, сжатие привело к разрушению сферического слоя соли на поверхности полости, схлопыванию стенок вовнутрь и разломам, что позволило воде заполнить пять из шести емкостей. Было принято решение отказаться от использования шести емкостей и все входы в них были заделаны¹⁰³. Сообщалось, что ни в одном случае радиоактивный солевой раствор не вышел на поверхность¹⁰⁴.

Все 15 взрывов по проекту "Вега" были полностью камуфлетными. Сообщалось, что вблизи некоторых скважин для ввода газа наблюдалось слабое превышение уровня фона (30-40 мкР/ч), но за пределами промышленной зоны дозы излучения оставались на уровне фона¹⁰⁵. Не было представлено никаких сведений о возможных уровнях загрязнения продукта.

Проект "Лири". Через три года после начала проекта "Вега" на Астраханском газоконденсатном месторождении советские специалисты развернули еще одно применение технологии подземного хранения - проект "Лири" на Карачаганакском газоконденсатном месторождении примерно в 140 км восточнее Уральска и в 130 км западнее Оренбурга (см. рис.5). Это месторождение, открытое в 1979 г. и активно разрабатываемое с начала 80-х гг., рассматривается как продолжение Оренбургского и имеет примерно такой же размер. Как и в Оренбурге, природный газ и газовый конденсат имеют высокие уровни содержания сероводорода. Лежащая глубоко под землей Карачаганакский газовая формация накрыта сверху толстым соевым пластом, который простирается почти от поверхности до глубин, достигающих в отдельных местах 4000 м. В 1983 г. на месторождении началось сооружение завода по переработке газового конденсата^{106,107}.

Проект "Лири" начался 7 июля 1983 г. с трех взрывов мощностью по 13.5 кт, разнесенных во времени с интервалами по 5 минут. Первые два заряда были заложены на глубину 917 м, а последний - на 841 м. Через год (21 июля 1984 г.) все повторилось, только глубины заложения составили 846, 955 и 844 м, соответственно. Мощности взрывов были почти вдвое выше, чем в Астрахани, в связи с тем, по-видимому, что площадка "Лири" была более удалена от мест с большой численностью населения.

Как ожидалось, шесть этих взрывов по проекту "Лири" должны были создать емкости для подземного хранения с полным объемом около 300 000 куб.м, чтобы использовать их на Карачаганакском месторождении. В последнем докладе говорилось, что емкости 1Т-4Т были подготовлены для хранения газового конденсата и частичного отделения природного газа, а емкость 6Т выделялась для резерва. На емкости 5Т появилась утечка и вся полость вместе с зарядовой шахтой заполнилась водой. По состоянию на 1994 г. готовилось закрытие этой емкости и запечатывание зарядовой шахты.

Как и взрывы в Оренбурге и Астрахани, все взрывы по проекту "Лири" оказались полностью камуфлетными

и дозы излучения на площадке "Лири" не превысили, как сообщалось, уровней фона¹⁰⁸.

Итоги программы подземного хранения. Если судить в целом, было подтверждено, что использование ядерных взрывов для образования полостей в солевых пластах с целью хранения жидкого углеводородного топлива оказалось до некоторой степени успешным приложением с рядом серьезных тревог. При трех полномасштабных применениях этой технологии были созданы емкости с полным объемом свыше 800 000 куб.м, способные хранить до 400 000 т конденсата. Российские специалисты сообщают о возможности хранения газы под давлением до 140 атм. Во всех случаях скважины для размещения ядерного заряда с успехом были использованы для последующего доступа в полость и эксплуатации емкости. Хотя не сообщалось ни о каких измерениях, из российских докладов следует, что хранимый конденсатный продукт не был загрязнен радиоактивностью от взрывов.

Однако потеря шести из двадцати трех емкостей из-за протекания воды в полости подняла серьезные вопросы о надежности и жизнеспособности этого применения. Попавшая в емкость вода будет растворять находящуюся на стенках соль, а также застывшую массу на дне полости, в которых содержится большая часть радиоактивных остатков от ядерного взрыва. Со временем стенки могут начать трескаться и вода станет загрязняться растворимыми радионуклидами со стенок и из кучи на дне полости, так что при попадании на поверхность она будет вызывать опасность. Любой продукт, хранимый в емкости, которая частично заполнена водой, будет стремиться поглотить воду и стать загрязненным радиоактивностью. Только опыт может определить степень риска для окружающей среды, вызываемого при такой последовательности событий.

Глубокое сейсмическое зондирование Земли

В 1971 г. в рамках советской программы МЯВ совместно с Мингео был начат наиболее амбициозный и далеко идущий прикладной проект, направленный на использование МЯВ для сейсмического исследования огромных просторов Советского Союза. В начале 60-х гг. Мингео проявляло большую активность в проведении детального изучения внутренней коры и верхней мантии в северной евро-азиатской части СССР с применением химических ВВ, разнесенных на расстояние в несколько сот км вдоль заданной линии. Эти профили ГСЗ - глубокого сейсмического зондирования, позволяли изучить кристаллическую структуру до глубины 30-40 км на больших площадях. В конце 60-х гг. Мингео начало программу экспериментальных сейсмических исследований, регистрируя сигналы от МЯВ, проводимых для интенсификации добычи нефти и газа и для перекрытия аварийных газовых скважин. На основе этого опыта Мингео разработало программу развития проекта ГСЗ с целью изучения геологической обстановки на гораздо больших глубинах и на расстояниях в тысячи км при помощи гораздо более сильных сейсмических сигналов от ядерных взрывов (см. раздел Б-5 Приложения Б).

На рис.6 представлена карта Советского Союза, где показаны положения 15 профилей ГСЗ, эксперименты на которых были выполнены в течение последующих 17 лет, и места проведения МЯВ, связанных с программой ГСЗ. В разделе Б-5 Приложения Б представлены данные об этих взрывах с указанием, к какому из профилей, показанных на рис.6, они относятся^{109,110}.

Хотя, несомненно, были использованы сигналы от МЯВ, выполненных с иными целями, и от испытаний оружия на СП¹¹¹, подавляющая часть информации была получена от 39 МЯВ, взорванных конкретно как часть программы ГСЗ. Как можно увидеть в приложении Б, все ГСЗ-взрывы проводились на глубине заложения 500-1000 м, что гораздо ниже минимальной глубины, требуемой для камуфлетного взрыва. Мощности взрывов лежат в диапазоне 2.3-22 кт, но большая часть взрывов проводилась при мощности ниже 10 кт.

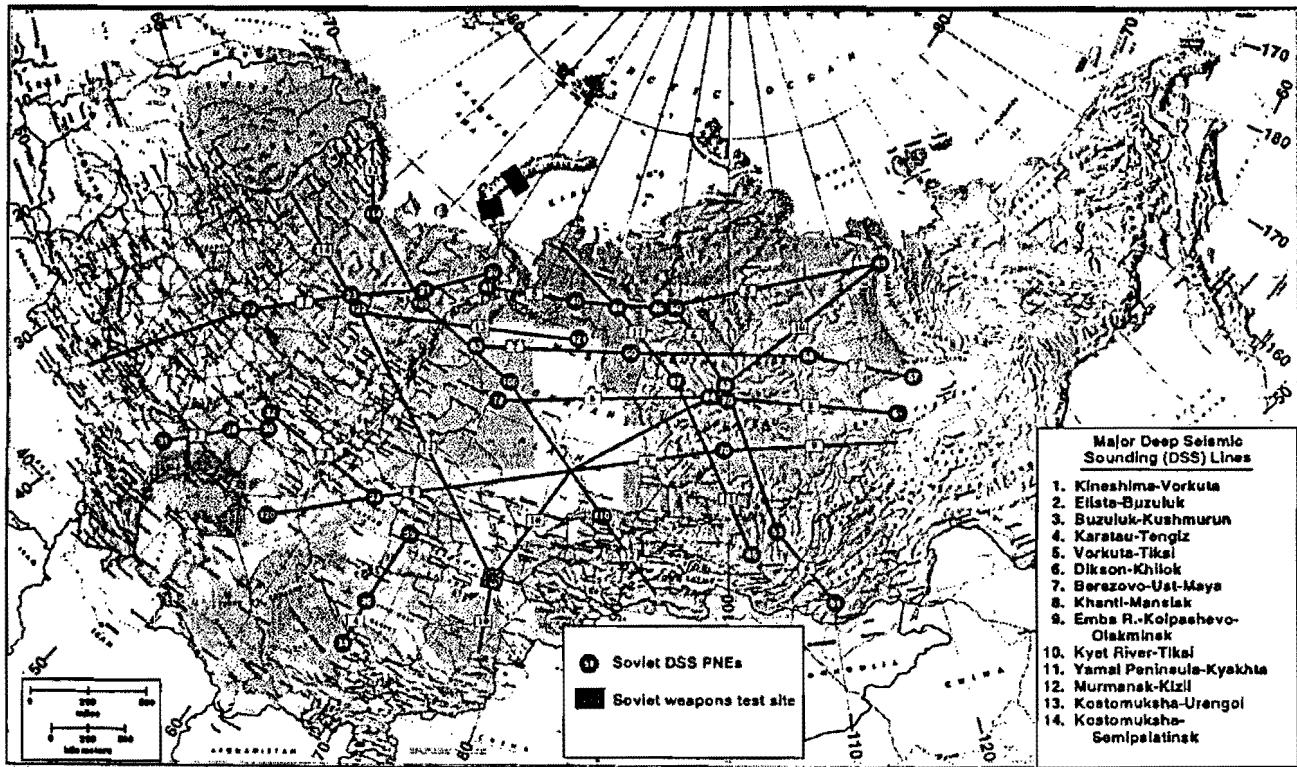


Рис.6: Карта бывшего Советского Союза, где показаны места проведения взрывов для глубокого сейсмического зондирования (ГСЗ) и положения ГСЗ-профилей, которые соединяют точки взрывов и вдоль которых на расстоянии 10-20 км устанавливались сейсмометры для записи сейсмических сигналов, чтобы получить сведения о структуре коры и верхней мантии. Кружки указывают место взрыва и его номер в полном списке. Заштрихованные квадраты - советские ядерные полигоны. Цифрами отмечены следующие важнейшие ГСЗ-профили: 1) Кинешма-Воркута; 2) Элиста-Бузулук; 3) Бузулук-Кушмурун; 4) Каратау-Тенгиз; 5) Воркута-Тикси; 6) Диксон-Хилок; 7) Березово - Усть-Мая; 8) Ханты-Мансийск; 9) р.Эмба-Колпашево-Олекминск; 10) р.Кеть-Тикси; 11) п-ов Ямал-Кяхта; 12) Мурманск-Кызыл; 13) Костомукша-Уренгой; 14) Костомукша-Семипалатинск.

Сейсмические профили простирались на расстояния 1500-4000 км и на них проводилось 3-5 взрывов, разнесенных на 500-900 км вдоль этих профилей. Вдоль каждого из них через 10-20 км размещались сотни портативных сейсмометров "Тайга", причем в удаленные регионы многие из них доставлялись на вертолетах. Сигналы с них передавались на центральную станцию сбора данных.

В период 1971-84 гг. почти ежегодно с помощью 3-4 взрывов изучался очередной ГСЗ-профиль. Взрывы для конкретного профиля обычно проводились с интервалом 10-30 дней в конце лета или осенью. Однако для одного профиля, где было предусмотрено только два взрыва, их провели с интервалом в один час. Время для взрыва часто выбиралось поздно ночью или рано утром для уменьшения шумового фона. Во многих случаях к ядерным взрывам добавлялись взрывы химических ВВ, иногда доставлявшихся в виде бомб на самолетах из-за трудных профилей местности или отсутствия дорог.

В начале 70-х гг. было изучено несколько ГСЗ-профилей в европейском и кавказском регионах Советского Союза в направлении с запада на восток. С 1975 г. началось исследование Сибири к востоку от Урала и в течение следующих десяти лет активность была сосредоточена в этом районе.

Было опубликовано относительно мало отчетов о результатах изучения этих ГСЗ-профилей, а также полученные на их основе данные о структуре коры и мантии.

В тех немногих сообщениях, которые все-таки появились, ядерные взрывы обычно назывались "крупными промышленными взрывами"^{112,113}

Первая публикация с упоминанием одного из ядерных профилей появилась в 1973 г.¹¹⁴, но в ней было мало подробностей, связанных с ядерными взрывами. Только в 1977-78 гг. стали появляться результаты в геофизических журналах. Вообще говоря, геологические профили, полученные при помощи ГСЗ с ядерными взрывами, характеризуются структурными деталями и профилями скоростей до глубин 200-300 км, что гораздо ниже расположенного на глубине 35 км разрыва скоростей Мороховича, который обычно ограничивает глубину обычных профилей. В примечаниях^{108,109} можно найти ссылки на журналы, где приведено описание геологических структур конкретных ГСЗ-профилей, полученное на основе МЯВ. Более свежие данные по изучению структуры можно найти в примечаниях¹¹³⁻¹¹⁵ и работах¹¹⁵⁻¹¹⁷. Большая часть сведений по ГСЗ-профилям сейчас стала доступной другим организациям и благодаря соглашениям об обмене - геологам из других стран¹¹⁸. Ограниченные результаты использования этих данных могут вполне быть связаны с ограниченным вычислительным потенциалом Мингео, где данные задерживаются на много лет.

Хотя конкретные подробности не были представлены, об этой работе говорят как об очень ценной не только для определения общей структуры коры, но и для идентификации областей с высоким потенциалом добычи газа, нефти и минералов. В частности, Минатом утверждает, что существование десяти газоконденсатных и газовых месторождений в бассейне Енисея и Хатанги к востоку от Норильска и еще около десяти в районах разработки Вилюйской синеклизы в Восточной Сибири было подтверждено на основе данных от ГСЗ-профилей.

Все ГСЗ взрывы были проведены без выбросов радиоактивности за исключением трех случаев. Третий и четвертый ГСЗ-взрывы на первом ГСЗ-профиле в 1971 г. ("Глобус-1" и "Глобус-2") привели к небольшой утечке газовых радионуклидов из зарядовой смеси. Участки вблизи этих скважин были обезврежены и дозы радиации совпадают со значением местного фона или близки к нему.

Взрыв "Кратон-3", проведенный 24 августа 1978 г. в

120 км от глухого сибирского селения Айхал, сопровождался более серьезным выбросом в атмосферу. Это зона вечной мерзлоты. В процессе бурения или цементирования зарядов скважины часть грунта вблизи скважины растаяла, что привело к неправильному положению зацементированной заглушки и к динамическому выбросу газовых радионуклидов и пара в атмосферу во время взрыва. Измеряемый радиоактивный след протянулся на 150 км над нежилыми районами лесов и тундры. Радиационные обзоры, проведенные в 1990 г., измерили уровни в 1 мР/ч непосредственно около скважины и до 0,2 мР/ч в пределах до 5 км вдоль следа выпадения осадков. Как сообщается, последующее обеззараживание местности понизило дозы до 30-50 мкР/ч за пределами двухкилометровой охранной зоны. Дозы излучения периодически контролируются^{119,120}.

Дробление руды

По мере того, как накопился опыт подземных ядерных взрывов в твердых породах для испытаний ядерного оружия, быстро стали распространяться как в США, так и в СССР идеи использовать МЯВ для облегчения добычи из земли руд и других минералов. В конце 60-х гг. участники советской программы МЯВ начали подыскивать хорошую площадку для применения этой новой технологии. В американской программе "Плаушер" рассматривались некоторые методы использования ядерных взрывов для дробления больших рудных тел с последующей переработкой на месте, чтобы добывать полезные ресурсы. В большинстве из этих методик предусматривалось размещение ядерных зарядов с мощностью 20-30 кт снизу от рудного пласта и (в зависимости от характера схлопывания взрывной полости) образование трубы схлопывания из раздробленной породы над местом взрыва. Добыча осуществляется через штреки, проделанные в этой породе.

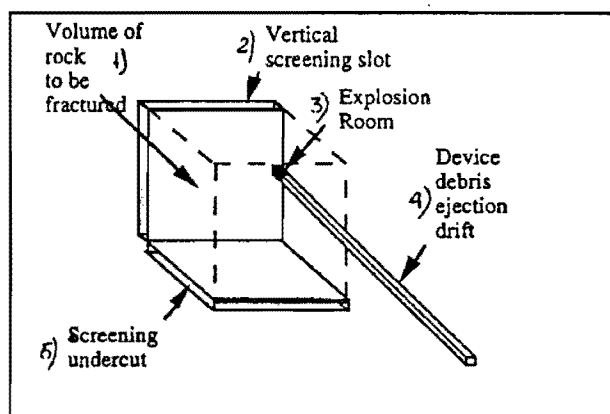


Рис.7а: Схема эксперимента "Днепр-1". 1) Объем породы, подлежащей раздроблению; 2) вертикальная экраняющая щель; 3) взрывная камера; 4) устройство для отвода продуктов взрыва; 5) экраняющая подсечка.

Советские ученые из ВНИИТФ в содружестве с инженерами из Московского горного института и ВНИПИпромтехнологии разработали способ использования гораздо более слабых взрывов (2-4 кт), которые лучше подходили к широко распространенным небольшим пластам^{121,122}. Этот метод включал в себя прокладку вертикальных щелей на расстоянии примерно 45-60 м/кт¹²³ от места взрыва, чтобы иметь свободную поверхность, отражающую взрывную ударную волну, что значительно увеличивает объем породы и степень ее раздробленности, а также снижает степень уплотнения раздробленной руды. Ожидалось, что таким методом можно раздробить в 5-10 раз больше руды по сравнению с тем, что удастся иметь в схлопнувшейся взрывной трубе при взрыве той же мощности. Щель также ослабит ударную волну и поможет защитить любые другие выработки и структуры, расположенные за ней. Под

массивом раздробленной руды прокладывается сеть штреков для добычи руды обычными выгребными методами¹²⁴.

Проект "Днепр". Первый эксперимент с использованием этой методики был проведен 4 сентября 1972 г. на апатитовом (фосфатном) месторождении Кузьльпор примерно в 21 км севернее Кировска на Кольском полуострове и в 150 км от финской границы (см. раздел Б-6 Приложения Б). Ядерный заряд с мощностью 2,1 кт был помещен непосредственно под рудным телом, имевшим толщину 60-80 м и поднимавшимся в гору под углом 25-35°. На расстоянии около 50 м вдоль другой стороны пласта была проделана вертикальная щель высотой 50 м (см. рис.7а). Ударная волна образовала около 100 000 куб.м раздробленной руды.

Для уменьшения возможности загрязнения рудного тела радиоактивными продуктами взрыва при помощи специального устройства радиоактивные продукты отводились из полости взрыва в пустые породы на расстояние до 120 м от места взрыва. Этот метод впервые был испытан сотрудниками ВНИИТФ на штольне "148/1" СП (гора Дегелен) полутора годами раньше - 9 апреля 1971 г. Не поступило никаких сообщений о том, как работает эта методика, но 16 декабря 1974 г. ВНИИЭФ провел дополнительное испытание этой идеи в Дегеленских горах на СП^{124,125} (см. Приложение В).

Через 12 лет (27 августа 1984 г.) в Кузьльпоре был выполнен второй взрыв - "Днепр-2". Для этого эксперимента одновременно были подорваны два заряда по 1,8 кт, помещенные на расстоянии 75 м один от другого в отдельных штреках. Снова была применена схема отвода продуктов взрыва из полости через туннель длиной 120 м для удаления радиоактивности из раздробленной руды. Хотя не были представлены детали эксперимента, Минатом считает успешным метод выброса радиоактивных продуктов взрыва через туннель за пределы полезного рудного участка¹²⁶.

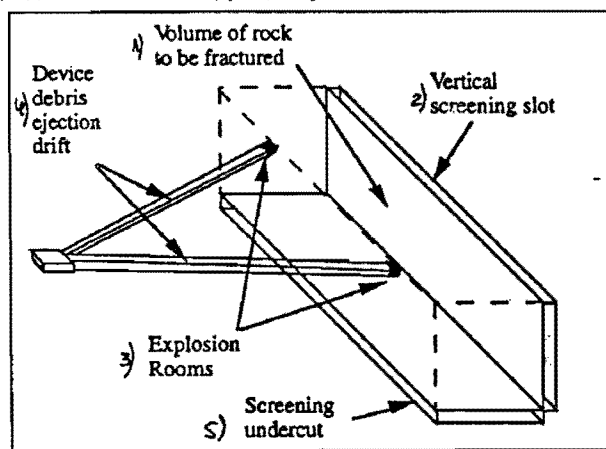


Рис.7б: Схема эксперимента "Днепр-2". 1) Объем породы, подлежащий раздроблению; 2) вертикальная экраняющая щель; 3) взрывные камеры; 4) устройство для отвода продуктов взрыва; 5) экраняющая подсечка.

При подготовке этого взрыва снова была сооружена вертикальная экраняющая щель на расстоянии 50 м от мест взрыва шириной 125 м и высотой 90 м (на 40 м вверх от взрывного горизонта и на 50 м вниз). Экраняющие штреки были прорыты и под этим блоком руды (см. рис.7б). Ударная волна от взрывов "Днепр-2" раздробила около 500-600 тысяч куб.м руды. Всего, как подсчитано, в двух этих экспериментах было разрушено свыше полутора миллиона тонн апатитовой руды.

За период с 1972 по 1990 гг. на руднике Кузьльпор было извлечено 398 000 т раздробленной руды при помощи стандартного выгребного метода через штреки, прорытые под навалом руды. На повторное дробление нестандартных фрагментов требовалось меньше ВВ, чем при обычных методах добычи (всего 12-13 г/т вместо 80-100 г/т).

Сразу же после взрыва "Днепр-1" утечка газообразных радионуклидов привела к дозам облучения в Кировске на уровне 30-40 мР, что составило около 10% полного годового фона, за время прохождения и размывания радиоактивного облака. Утечка при взрыве в 1984 г. задержалась на 10 часов и привела к небольшому облучению за пределами экспериментальной площадки.

Как сообщалось, радиационная обстановка на руднике осталась такой же, как и при обычных операциях, и установленные нормы безопасности не были превышены; поэтому не потребовались особые меры для обеспечения безопасности горняков. Сообщалось также, что радиоактивное загрязнение руды было ниже допустимых значений. Был организован стандартный контроль над состоянием воздуха и воды в самом руднике, а также в соседних реках и озерах в поисках следов разных радионуклидов, например, Sr-90, Cs-137, Pu-239 и трития. Минатом сообщает, что не наблюдались уровни излучения выше максимально допустимых значений. Только концентрация трития в рудничной воде в ряде случаев превышала максимально допустимый уровень в 1.5-2 раза. Сообщается, что в общем уровни излучения вокруг площадки не превышают фоновых значений¹²⁷.

Площадка "Днепр" не функционирует с 1992 г., но подвергается периодическим проверкам. Эксперименты в целом рассматриваются Минатомом как успешные, хотя по состоянию на 1994 г. добытая руда все еще ждет сооружения дороги для доставки на очистительное предприятие для дальнейшей обработки. Впрочем, как только информация об экспериментах "Днепр" стала известна общественности в конце 80-х и начале 90-х гг., местные экологические организации начали протестовать и призывать к прекращению в дальнейшем любых подобных экспериментов¹²⁸.

Удаление токсичных отходов

Развитие промышленности в Советском Союзе за последние 60-70 лет оставило в наследство такие промышленные загрязнения, равных которым, вероятно, нет в современном мире. Загрязнение водоснабжения из-за сброса в реки и озера промышленных стоков химической и нефтяной индустрии угрожает качеству питьевой воды во многих городах и поселках. В своем стремлении разработать технологию, способную устранить ряд наиболее опасных типов стоков и выиграть время, чтобы разработать процедуры лучшей обработки промышленных отходов и создать соответствующие установки, ученые из советской программы МЯВ и Миннефтехимпрома предложили в начале 70-х гг. два эксперимента с использованием ядерных взрывов для создания установок по удалению отходов глубоко под землю (см. раздел Б-7 Приложения Б).

Удаление в глубокие шахты использует тот факт, что ядерный взрыв с мощностью 5-10 кт создает зону с крупными разломами, которые в некоторых случаях расходятся на 100-200 м от места взрыва, и что образованный схлопыванием взрывной полости ствол содержит 100-150 тысяч куб.м разрушенной и смятой породы со свободным пространством между фрагментами породы порядка 30-50 тысяч куб.м. Крупный центральный ствол обеспечивает поверхностную зону и объем для удаления взвешенных частиц, а большой радиус зоны разрушения приводит к огромной площади, через которую жидкость просачивается в окружающую породу. Чтобы просачивание химических отходов или любых радиоактивных продуктов, выщелачивающихся из стеклообразного расплава, гарантированно не загрязняло источники снабжения питьевой водой, геологический слой, поглощающий отходы, должен лежать глубоко и быть изолированным от любых подвижных водных пластов.

Проект "Кама". Выбранные для двух экспериментов "Кама" по удалению отходов площадки находились неподалеку от первой площадки "Бутан" по интенсификации добычи нефти и площадок для хранения газового конденсата ("Магистраль", "Сапфир" и "Лира") в

Башкирской республике, в 30 км западнее Стерлитамака (см. рис.5). Глубина закладки отходов составляла (2000-2100 м) выбиралась из тех соображений, чтобы камера взрыва и взрывной ствол находились в середине слоя плотных карбонатных отложений (доломита) толщиной 400 м, который изолирован от источников питьевой воды. В обоих взрывах применялись специальные заряды мощностью 10 кт и с достаточно малым размером, так чтобы диаметр зарядовой скважины определялся требованиями накачки.

Первый взрыв ("Кама-2") был произведен 26 октября 1973 г. До 1976 г. площадка не эксплуатировалась, а затем в нее стали закачивать промышленные отходы Стерлитамакского содового завода. Стоки с содового завода содержат взвешенные частицы в количестве 50-100 мг/л, которые химически несовместимы с пластовыми водами, образуя более 1000 мг/л твердых осадков. При нормальных способах закачки в скважину это привело бы к быстрому ее засорению. Но в эксперименте "Кама-2" за период 1976-93 гг. было захоронено более 23 миллионов куб.м промышленных стоков, содержащих свыше 1000 т взвешенных частиц. Применение "укрупненной" скважины продолжается с ежедневным средним расходом 4-5 тысяч куб.м. Использование этой площадки позволило предотвратить за тот же период нанесение экологического ущерба на сумму более 70 млн.руб. (в ценах 1990 г.).

Второй взрыв ("Кама-1") произошел через 10 месяцев, 8 июля 1974 г. Площадка не эксплуатировалась до 1983 г., когда на нее начали поступать высокотоксичные промышленные стоки с Салаватского нефтеочистительного завода. В этих стоках содержатся взвешенные частицы смолистых материалов, обладающие исключительно высокой способностью забивать поры на любых обычных сточных участках. Содержание этих частиц колеблется в диапазоне 100-1000 мг/л и их захоронение невозможно никакими иными методами, известными до настоящего времени. В период 1983-1993 гг. было захоронено около 700 тысяч куб.м промышленных стоков с завода в Салавате, причем экономия от предотвращения соответствующего экологического ущерба оценивается в 100-200 млн.руб. (в ценах 1990 г.).

Через специальные скважины ведется контроль водонесных пластов в этом районе за поступлением в них удаляемых материалов и радионуклидов. До настоящего времени в водных слоях, лежащих над слоем захоронения, не обнаружено следов промышленных стоков. Контрольные скважины, пробуренные на расстоянии 500-1000 м от площадок на глубину слоя захоронения, зафиксировали активность в воде, вытекающей из взрывного ствола в доломитовую породу, но через 5-6 месяцев после начала закачки уровень гамма-излучения не отличался практически от фоновых значений.

Взрывы были полностью камуфлетными без мгновенного выброса или дальнейших утечек радиоактивности. Хотя вблизи зарядовых скважин есть слегка загрязненные участки (по-видимому, вызванные бурением контрольных скважин), за пределами промышленной зоны уровни излучения, как сообщается, не превосходят фоновых значений^{129,130}.

В целом такое применение кажется очень успешным. С этой точки зрения вызывает удивление, что оно не было использовано на других площадках в СССР или России в более поздние времена.

Получение трансплутониевых элементов

С самого начала ученые из советских лабораторий ядерного оружия интересовались возможностями использовать большие потоки нейтронов, генерируемые в ядерных взрывах, для научных целей и для образования новых, более тяжелых элементов. Интерес к таким применениям играл ведущую роль и в американской программе "Плаушер". Такие применения были темами докладов как на первом, так и на втором Плаушерских симпозиумах в 1957 и 1959 гг.^{131,132} Они послужили также целью первого эксперимента по программе "Плаушер" - проекта "Гном"¹³³. Как уже обсуждалось ранее,

американский интерес в использовании большого потока нейтронов был сосредоточен на проектировании специальных ядерных устройств для получения новых, сверхтяжелых элементов, лежащих в периодической таблице далеко за ураном и плутонием, путем многократных захватов нейтронов. Предельной целью было определение физических свойств любого нового полученного элемента и расширение нашего понимания атомных ядер.

Сначала интерес советских ученых в использовании больших нейтронных потоков был направлен на получение с их помощью "следовых" количеств трансплутониевых актиноидов путем многократного захвата нейтронов, а также полезных количеств Pu-238, Pu-239, U-232 и U-233 при захвате одного или двух нейтронов. Каждый из полученных элементов выделялся в чистом виде и использовался затем для производства изотопов или в качестве делящегося материала. Такие элементы могут быть получены внутри самого ядерного устройства, а также при захвате нейтронов ядерного взрыва в урановом (U-238) или ториевом (Th-232) blankets, размещаемых вокруг ядерного устройства. Трудной проблемой с экономической точки зрения и с учетом временных затрат является выделение изотопов. Ведущей организацией в этой программе был ВНИИЭФ (см. раздел Б-8 Приложения Б)¹³⁴.

Одной из главных целей первых двух взрывов в солевых куполах на площадке Азгир ("Галит А-1" и "Галит А-2") было обеспечение площадки для экспериментов по изучению потенциала полостей в массивах каменной соли при использовании их для производства таких новых изотопов. При ядерном взрыве внутри большой полости, заполненной водой, почти вся энергия будет вложена в воду. Небольшая доля воды испарится немедленно, но если полость достаточно велика, то средняя температура воды в ней вырастет всего на несколько градусов. Например, если в полости "Галит А-2", содержащей 140 тысяч куб.м воды, произвести килотонный взрыв, температура воды оподнялась бы примерно на 7 С. Вода затем охладится и отвердет испарившиеся обломки устройства, а также любой материал вблизи него. Сконденсировавшиеся обломки оседают на дно полости, откуда их можно легко собрать.

От "Галита А-2-1" до "Галита А-2-6". Начиная с апреля 1975 г., советские ученые стали проводить небольшие взрывы в наполненной водой полости "Галит А-2" с использованием зарядов, предназначенных увеличить захват нейтронов для производства трансплутониевых элементов и других актиноидов. Первый заряд (А-2-1) имел мощность 0.35 кт и был подорван на глубине 583 м, примерно в 14 м выше центра полости с радиусом 32 м. Доступ в полость осуществлялся через начальную зарядовую скважину. Не сообщалось о том, производились ли попытки извлечь остатки со дна полости при этом взрыве, но до следующего эксперимента прошло два года.

При следующем эксперименте А-2-2 мощность взрыва составила 0.1 кт. Он был проведен в полости А-2 14 октября 1977 г., а вслед за ним, буквально через 16 дней (30 октября), последовал третий взрыв с мощностью 0.01 кт. Снова не поступило никаких сведений о том, пытались ли достать что-нибудь между взрывами.

Последние три эксперимента с трансплутониевыми элементами были проведены двумя годами позже. Взрыв с мощностью 0.08 кт был выполнен 12 сентября 1978 г. снова в полости А-2. Через три месяца, 30 ноября последовал взрыв с мощностью 0.06 кт. Наконец, 10 января 1979 г. был подорван последний заряд в этой серии. Он обладал наибольшей мощностью среди шести - 0.5 кт.

Все эти взрывы производились на глубинах 581-585 м, то-есть на расстоянии около 14 м выше центра начальной полости. Поскольку повторно отвердевшая соль имеет форму сферического сегмента на дне полости с толщиной около 10 м, при таком расположении заряд помещается примерно в центр занимаемого водой объема.

К сожалению, Минатом не представил дальнейшей информации о деталях эксперимента и методах извле-

чения остатков взрывного устройства, а также о том, до какой степени оказалась успешной программа производства трансплутониевых элементов и других актиноидов.

Все трансплутониевые эксперименты прошли без выброса продуктов взрыва в атмосферу. Однако операции по извлечению остатков, без сомнения, привели к некоторому загрязнению участка вокруг зарядовой скважины. Полость "Галит А-2" сейчас закрыта и площадка обеззаражена. За пределами рабочей зоны дозы излучения совпадают с фоновыми значениями¹³⁵.

От "Галита А-4" до "Галита А-11". Примерно через год после первого эксперимента по получению трансплутониевых элементов советские специалисты начали серию взрывов большой мощности в солевом куполе на Восточном Азгире. Первый заряд этой серии (А-4, 7 июля 1976 г.) имел мощность 58 кт и был взорван на глубине 1000 м, почти полностью дублируя взрыв А-3, проведенный в 1971 г. Прошло немногим более года и последовал второй взрыв (А-5, 9 сентября 1977 г.) на глубине 1503 м с мощностью 9.3 кт.

В течение следующих двух лет советские специалисты провели еще пять взрывов большой мощности (от А-7 до А-11) в Восточном Азгирском куполе с мощностями в диапазоне 21-103 кт и с глубинами заложения в диапазоне 630-1500 м.

Как и в случае с полостями, созданными для хранения газового конденсата, советские специалисты получили неожиданные результаты по крайней мере в одном случае. Созданная при взрыве А-9 полость, где мощность взрыва была наибольшей из всех испытаний в Азгире, сразу схлопнулась и этот хлопок дошел до поверхности, что привело к образованию просевшей воронки диаметром 500 м и глубиной 18 м. Впрочем ни во время схлопывания, ни после него не наблюдалось выделения радиоактивных продуктов. Стальные шесть скважин с самого начала были запечатаны во избежание протечки воды и для сохранения стабильных условий.

Минатом не сообщил о целях этой серии семи взрывов, но есть несколько вариантов. Они могли бы быть предназначены для создания запаса камер, чтобы осуществлять в будущем производство делящихся материалов с использованием идей "бридинга", которые в то время изучались в экспериментах по производству трансплутониев в полости А-2. Но большой разброс мощностей и размеров созданных полостей не очень-то совпадает с таким вариантом использования. Кроме того четыре взрыва (А-7, А-8, А-10 и А-11) были множественными - с 2-3 зарядами, помещаемыми в ту же самую камеру и подрываемыми одновременно. Это наводит на мысль, что указанные взрывы на самом деле являлись испытаниями оружия, перенесенными с СР. При таком варианте можно объяснить большой разброс мощностей¹³⁶. Наконец, взрывы могли иметь комбинированный характер, когда испытания оружия привели к созданию полостей в Азгире для будущих промышленных применений.

В табл.5 собраны данные о полостях "Галит" в Азгире вместе со значениями радиусов и объемов, рассчитанными по формулам, которые были получены в американской программе "Плаушер"¹³⁷. Хотя согласие с полостью А-1 достаточно слабое, поскольку из-за схлопывания о ней мало сведений, согласие с полостями А-2 и А-3 просто замечательное. Особый интерес представляет полость А-5, которая образована взрывом с мощностью, на порядок величины более высокой по сравнению с А-1, но из-за гораздо большей глубины заложения размеры этой полости примерно совпадают с размерами А-1. Полный расчетный объем всех полостей в Азгире составляет около 1.67 млн.куб.м, что хорошо согласуется с информацией Минатома - 1.6 млн.куб.м¹³⁸. Всего было образовано девять постоянных полостей с диаметрами в диапазоне 34-76 м с полным объемом около 1.2 млн.куб.м, две из которых запечатаны водой.

Все взрывы этой серии в Азгире были полностью камуфлетными за исключением А-8, где наблюдалась утечка инертных радиоактивных газов в первые 60 минут. Во время запланированных спусков в полости для изучения состояния после взрыва и использования отхо-

Название полости	Мощность (кт)	Глубина (м)	Реальный радиус (м)	Расчетный радиус (м)	Расчетный объем (м ³)
A-1	1.1	161	12 - 14	17	19 400
A-2	27	597	32	32	37 500
A-3	64	986	36ю2	37	204 050
A-4	58	1000		35	182 900
A-5	9.3	1503		17	21 040
A-6	73	971		38	235 400
A-7	103	630		49	487 200
A-8	65	995		37	205 500
A-9	21	982		25	68 600
A-10	33	982		29	106 900
Общий объем:					1 668 490

Табл.5: Данные о полостях "Галит" в Азгире.

дов в атмосферу всего попало в контролируемых условиях 4.7 мКи радионуклидов. В настоящее время пять из девяти постоянных полостей (A-1, A-2, A-3, A-4 и A-5) заполнились водой из вышерасположенных водоносных горизонтов. На конец 1990 г. площадки A-1, A-4, A-7, A-8 и A-11 закрыты и обеззаражены. Дозы излучения вблизи зарядовых и наблюдательных скважин составляли 8-20 мкР/ч, что почти не отличается от фона. По состоянию на апрель 1993 были закрыты и обеззаражены (в случае необходимости) площадки A-2, A-3, A-5 и A-10. Полость A-10 используется для захоронения грунта со всего комплекса Азгир. Радиационные условия на всей площадке хорошо задокументированы и находятся под периодическим контролем¹³⁹.

Эксперимент по сейсмическому декаплингу

На заре истории обсуждений запрещения ядерных испытаний между Соединенными Штатами и Советским Союзом появилась концепция "декаплинга" - уменьшения сейсмического сигнала от ядерного взрыва. Осенью 1958 г. на Женевской конференции по запрещению ядерных испытаний американская делегация представила доводы в пользу того, что любое соглашение о запрещении испытаний должно учитывать возможность проведения испытаний ядерного оружия внутри большой полости, что уменьшает сейсмический сигнал в 100-300 раз и делает очень затруднительным обнаружение такого испытания сейсмическими методами¹⁴⁰. Советский Союз резко возражал против этой концепции и отказался рассматривать любые теоретические аргументы, представленные американскими учеными.

Чтобы доказать жизнеспособность концепции декаплинга, американская программа "Вела" поддержала проведение двух испытаний в середине 60-х гг. В 1964 г. при взрыве "Салмон" с мощностью 5.3 кт на глубине 828 м в солевом куполе вблизи Хэттисберга (Миссисипи) была образована полость диаметром 34 м¹⁴¹. Через два года при испытании "Стерлинг" в полости "Салмон" было взорвано ядерное устройство с мощностью 0.35 кт. Приведенный радиус полости составил только 24 м/кт¹⁴². Сейсмический сигнал частично был ослаблен в 72 раза, что подтвердило концепцию декаплинга, но проверки полной ослабляющей возможности не произошло. Для этого надо было бы иметь полость большего размера или более слабый взрыв¹⁴².

Весной 1976 г. в Советском Союзе решили провести аналогичный эксперимент по сейсмическому декаплингу в полости A-3 (см. раздел Б-9 Приложения Б). Ядерный взрыв "Галит А-3-1" был произведен 29 марта с мощностью 10 кт на глубине 990 м¹⁴³. При такой глубине заряд должен был находиться примерно в центре полости. Приведенный радиус полости составлял только 16 м/кт¹⁴³ в единицах мощности "ослабляемого" взрыва. Поскольку приведенный радиус полости был ниже того, что имело место в эксперименте "Стерлинг", декаплинг-эффект взрыва А-3-1 был даже меньше.

На рис.8 отложены магнитуды объемной сейсмической волны, зарегистрированные для большинства взрывов в солевом массиве Азгир, включая взрывы для получения трансплутониевых элементов в заполненной

водой полости А-2, а также сигнал от взрыва А-3-1 - "ослабленного" взрыва в полости А-3. Показана также наилучшая подгонка графика "магнитуда-мощность" для взрывов в Азгире без декаплинга. Если основываться на расчетах американских ученых, то декаплинг-фактор для взрыва А-3-1 с мощностью 10 кт будет равен примерно 15 при учете телесеизмических данных и около 23, если учитывать данные, полученные на расстояниях менее 100 км от места взрыва¹⁴⁴.

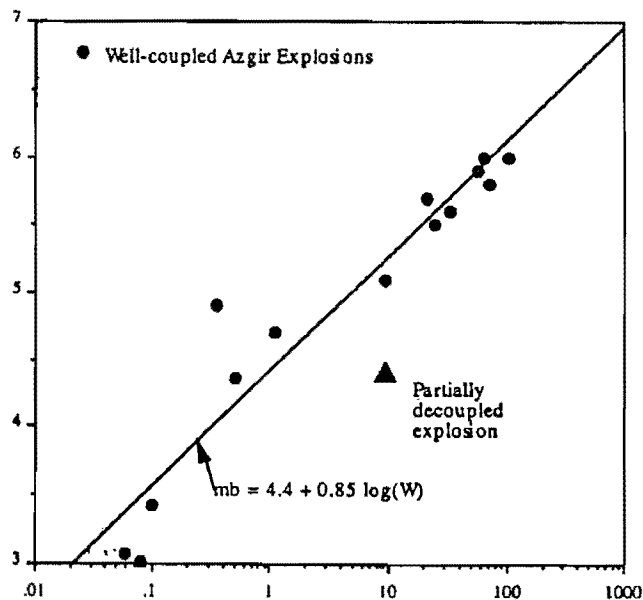


Рис.8: Зависимость сейсмической магнитуды от мощности взрыва для взрывов "Галит" на площадке в Азгире без декаплинга (обозначены кружками), а также для взрыва А-3-1 с частичным декаплингом (обозначен треугольником). Приведен график с наилучшей подгонкой результатов для взрывов без декаплинга.

Относительно низкий уровень декаплинга, достигнутый на этом устройстве, мало дает для понимания проблемы возможного использования полного декаплинга, чтобы скрыть ядерные испытания в условиях полного их запрета, но поднимает вопросы, было ли это основной целью эксперимента. Разумная альтернатива, о которой сообщил Виталий Адушкин - директор российского Института динамики геосферы, состоит в том, что второй взрыв в полости был выполнен для изучения того, какой дополнительный объем в полости мог бы создать подобный взрыв с минимальным сейсмическим ущербом для окружающей территории. Некоторые площадки, где намечалось применение взрывов для хранения, оказались достаточно близки к населенным районам, так что величина допустимой мощности была серьезно ограничена. Для создания требуемого объема емкости при минимальном числе сейсмических возмущений в регионе в середине 70-х гг. рассматривалась концепция увеличения объема небольших полостей вторичными взрывами с умеренным декаплингом. К сожалению, результаты этого

эксперимента показали, что образован небольшой дополнительный объем и в дальнейшем эта идея больше не использовалась¹⁴⁵.

Предотвращение выбросов рудничного газа

Добыча угля в Донбассе долгое время страдала от опасности спонтанных выбросов породы и метана, что приводило к смертям шахтеров из-за взрывов и удушья. По мере того, как добыча в этом районе переходила на все более глубокие пласты, проблема ухудшалась. К концу 70-х гг. число ежегодных взрывов или выбросов угля превысило 200. В какой-то момент в конце 70-х гг. ученые из Института технической теплофизики Академии наук Украины и Всесоюзного института промышленной технологии высказали предположение, что относительно слабый ядерный взрыв раскроет зарождающиеся в породе трещины и уравнивает напряжения в породе, позволив избежать таких внезапных и опасных явлений. Подобный эффект наблюдался в районе Сахалина в результате частых землетрясений в этом месте (см. раздел Б-10 Приложения Б).

Проект "Кливаж". Местом для проведения эксперимента "Кливаж", поддержанного Минуглепромом, стала шахта "Юный коммунар" в 5 км восточнее украинского города Енакиево. Ядерный заряд с мощностью 0.3 кт был помещен в наклонный штрек между двумя наиболее опасными пластами, в 45 м под пластом "Девятка" и в 31 м над пластом "Кирпичевка". Мощность заряда была выбрана небольшой, чтобы свести к минимуму ущерб шахтным стволам и подземным выработкам, а также зданиям в районе шахты "Юнком" и города Енакиево. Место заложения заряда в песчаниковой породе было выбрано так, чтобы в полости взрыва образовался нерастворимый в воде застывший расплав, захвативший в себя около 95% радиоактивных продуктов взрыва, для сведения к минимуму выноса радиоактивности из района взрыва. Наклонный штрек был изолирован бетоном для предотвращения выхода газовых радионуклидов на поверхность или в другие шахтные выработки. Проводился непрерывный контроль за уровнями излучения в шахте и на поверхности.

Заряд был подорван в 5 часов утра по местному времени 16 сентября 1979 г. на глубине 903 м. Проведенное после взрыва обследование шахты выявило лишь небольшие повреждения в выработках за пределами непосредственной близости к месту взрыва. Горные работы на пласте "Девятка", проведенные в 1980-82 гг., показали, что эффективный радиус взрыва для устранения опасных выбросов составил 150 м, но и на более далеких расстояниях наблюдалось значительное уменьшение числа и интенсивности выбросов породы и газа. Частота повторения выбросов в этом временном интервале сократилась до менее, чем одного на миллион кв.м, а интенсивность любого выброса породы не превышала 50 т, что в 4-5 раз ниже отмечавшихся ранее значений.

Уровни излучения в добытом на пласте "Девятка" вблизи места взрыва угле, как сообщалось, не превышали фоновых значений. Работа в шахте в течение следующих лет протекала без осложнений от последствий взрыва и добыча в период 1980-82 гг. значительно выросла¹⁴⁶.

К сожалению, испытание было проведено в тайне от местного населения и возникло много подозрений относительно результатов среди жителей. Несколько статей, опубликованных недавно в популярных изданиях, подвергают сомнению эффективность испытания и цитируют высказывание директора шахты "Юнком" В.Г.Ревского о том, что в действительности взрыв в шахте не дал положительного результата. Он утверждал также, что высокие уровни излучения, обязанные Чернобыльской аварии, затрудняют подтверждение заявлений Минатома о радиационной обстановке на шахте¹⁴⁷⁻¹⁴⁹. Тот факт, что в течение девяти лет после эксперимента "Кливаж" не было других ядерных взрывов для этой цели ни на "Юнкоме", ни на какой-либо другой шахте, наводит на мысль о менее благоприятных результатах, нежели

предполагалось.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЯВ

На рис.9 отложены сейсмические магнитуды, определенные Национальной службой информации о землетрясениях Международного сейсмического центра, от всех 102 советских камуфлетных МЯВ в зависимости от их мощности, указанной Минатомом. Некоторые из камуфлетных МЯВ не были обнаружены международной сейсмической сетью из-за низкой мощности или из-за "шумов" от крупных землетрясений. Два взрыва "Днепр" также не включены из-за их сравнительно неглубокого заложения. Шесть взрывов в заполненной водой полости А-2, наоборот, включены, потому что их сейсмическая эффективность очень велика. Показан также взрыв "Галит А-3-1" с малой сейсмической эффективностью, проведенный в полости А-3.

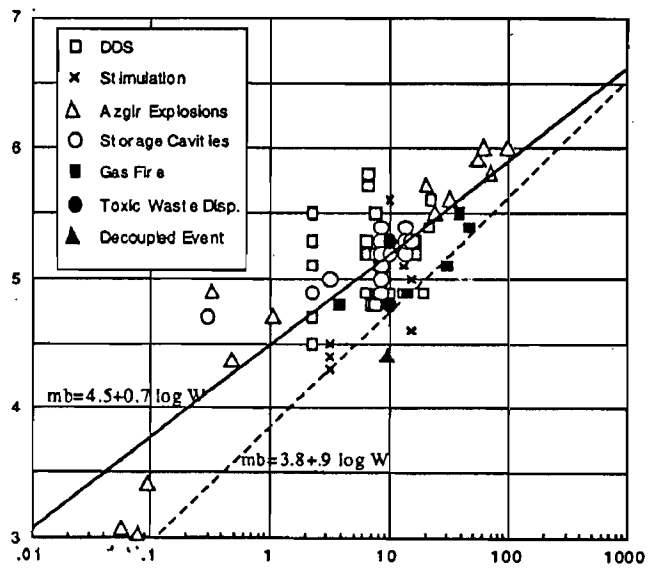


Рис.9: Распределение сейсмических магнитуд по мощностям взрыва для 102 советских камуфлетных взрывов (многие данные не видны, поскольку имеют одни и те же значения переменных и накладываются друг на друга). Задачи МЯВ указаны разными формами отметок. Сплошная линия - это наилучшая подгонка данным методом наименьших квадратов. Для сравнения показана штрихованная линия, которой часто пользовались в прошлом для оценки мощности советских ядерных испытаний и МЯВ. Пустые квадраты представляют глубокое сейсмическое зондирование; крестики - интенсификация добычи нефти и газа; пустые треугольники - взрывы в Азгире; пустые кружки - создание емкости для хранения; зачерненные квадраты - перекрытие газовых скважин; зачерненные кружки - удаление токсичных отходов; зачерненный треугольник - взрыв с декаплингом

Сплошная линия на рис.9 - это подгонка методом наименьших квадратов результатов 102 советских МЯВ с высокой сейсмической эффективностью. Стандартная ошибка в определении магнитуды составляет 0.29, что соответствует множителю 2.5 при нахождении величины мощности. Большой разброс данных можно отнести за счет значительных вариаций глубины заложения и типов окружающих пород, которые простираются от высокопористых карбонатов до имеющих высокую сейсмическую эффективность гранитов и каменной соли. График, представленный штрихованной линией, использовался много лет для определения мощности советских ядерных взрывов по их сейсмической магнитуде^{150,151}. Фактически у всех советских МЯВ мощность меньше, чем предсказывает эта штрихованная линия, иногда даже значительно, чем на порядок величины. Использование штрихованной линии или даже повышение константы в уравнении графика на 0.1 или 0.2 будет значительно переоценивать мощности большинства советских МЯВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Когда президент Горбачев объявил осенью 1989 г. мораторий на испытания ядерного оружия, он включил туда и запрет на МЯВ, завершив тем самым эту активную и амбициозную программу. Хотя и создало впечатление, что новая технология тепло воспринята и поддержана рядом министерств, включая Мингео и Миннефтегазпром, этого нельзя было сказать о ряде других применений, например, об удалении токсичных отходов. Результаты программы глубокого сейсмического зондирования продолжают пользоваться ученые из различных геофизических организаций России для лучшего понимания глубокой геологической структуры страны. Нефть и газ продолжают добываться на большинстве месторождений, интенсифицированных ядерными взрывами. Многие из емкостей в солевых пластах вблизи Каспия продолжают использоваться для хранения газового конденсата в интересах газовой промышленности. По-видимому, продолжают эксплуатироваться площадки "Кама" для удаления отходов, но другие различные отрасли химической промышленности не проявили интереса к тому, чтобы задействовать новые площадки, когда это можно было сделать. Операции по добыче апатита на площадках "Днепр" на Кольском полуострове закрыты с 1992 г.

"Четек". В начале 1991 г. в российских средствах массовой информации начали появляться сообщения об организации частной компании под названием "Четек", которая предложила проводить МЯВ на коммерческой основе. Как сообщалось, "Четек" был создан учеными из ВНИИЭФ и имел тесные связи с Минатомом. Одним из наиболее рекламировавшихся предложений было использование ядерных взрывов для уничтожения огромных запасов химического оружия, разнесенных по территории России¹⁵².

Это предложение призывало к созданию нескольких туннелей в стороне от центральной штольни Ново-Земельского ядерного полигона и сооружению камер высотой около 20 м и длиной до 200 м в конце каждого туннеля. Недемонтированное химическое оружие будет размещено в этих больших камерах, где в центре поместится ядерный заряд мощностью 10-50 кт. Мощная ударная волна ядерного взрыва мгновенно испарит и разрушит химическое оружие - оболочку, ВВ, химические агенты и все остальное, делая его безопасным. Трудно будет удержать неконденсируемые газы, но они окажутся относительно безопасными, если выйдут в атмосферу в таком районе, как Новая Земля. "Четек" приводил доводы в пользу того, что один или, возможно, два взрыва по 150 кт, включая многократные взрывы в прилегающих туннелях смогли бы разрушить весь российский арсенал химического оружия, который оценивается величиной, близкой к 50 тысячам тонн¹⁵³.

Хотя такое предложение имело бы значительное экономическое и временное преимущество по сравнению с обычными методами уничтожения химического оружия, особенно в связи с тем, что у России, судя по сообщениям, нет действующего предприятия по уничтожению химического оружия, по поводу этого предложения была высказана некоторая озабоченность. Главная тревога связана с последствиями аварии до или во время ядерного взрыва. Хотя удаленность полигона на Новой Земле явится значительным преимуществом, этот фактор ставит также тяжелые и опасные вопросы доставки и хранения химического оружия. Накопление столь большого количества химических вооружений, включая их ВВ-детонаторы, в одном месте предоставило бы ужасающую возможность даже для небольшого случайного взрыва. Кроме того, хотя можно было бы с большой степенью достоверности гарантировать, что ядерные взрывы полностью разложат химическое оружие на составные части, любая промашка, когда мощность взрыва окажется значительно ниже ожидавшейся, могла бы привести к выбросу огромных количеств химических ядов.

Чтобы продвинуть свое предложение, "Четек" предложил провести на Новой Земле весной 1992 г. небо-

льшой демонстрационный взрыв с разрушением 20 тонн химического оружия. Впрочем компания явно оказалась неспособной добиться одобрения от нового правительства Ельцина снятия моратория на ядерные испытания, так что этот эксперимент никогда не проводился. Хотя "Четек" продолжал искать поддержку своим предложениям в следующем году, похоже, что он прекратил деятельность к концу 1993 г.

Удаление отходов с высоким уровнем радиоактивности. Недавно в России появились на поверхности некоторые предложения, где рассматривалась аналогичная идея удаления высоко радиоактивных отходов от ядерных энергетических реакторов и двигательных реакторов на морских судах. Ученые из ВНИИЭФ и Центрального физико-технического института Минобороны предложили поместить топливные стержни и другие сильно загрязненные компоненты в относительно небольшую камеру вокруг ядерного заряда опять же в туннеле на Новой Земле. В этом случае объем камеры был бы ограничен, чтобы гарантировать испарение и плавление всех радиоактивных материалов вместе с достаточным количеством породы для гарантированного захвата радиоактивных отходов остывающим расплавом породы. Подобное захоронение обеспечило бы изоляцию этих радиоактивных отходов от биосферы на 10 тысяч лет или даже дольше. При использовании такого метода можно было бы ожидать, что взрыв мощностью 100 кт удалит на постоянное хранение до 200 т радиоактивных отходов при расчетных затратах примерно в 20 млн. долларов¹⁵⁴.

Хотя оба этих предложения могут заслуживать одобрения с технической точки зрения и они помогли бы решить ряд серьезных национальных проблем, стоящих перед Россией, похоже, что нехватка решимости преодолеть множество громадных политических проблем, в том числе недавно подписанный Договор о всеобщем запрете на ядерные испытания, который запрещает все ядерные взрывы, включая и МЯВ.

АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ НАД ВООРУЖЕНИЯМИ В МИРНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Конференция по прекращению испытаний ядерного оружия

Почти с самого начала концепция использования ядерных взрывов для мирных целей расценивалась как препятствие достижению запрещения разработки и испытаний ядерного оружия. Еще в начале Женевской конференции по прекращению испытаний ядерного оружия 1958 года посол США Джеймс Уордсворт заявил, между прочим, что в интересах США сохранить возможность проведения МЯВ в режиме запрета испытаний ядерного оружия. В документ по основным положениям режима контроля посол Уордсворт включил положение, в котором одной из обязанностей Контрольной комиссии являлось разрешение ядерных взрывов в мирных целях в рамках неуказанных проверок и требований контроля. СССР не отреагировал на американские предложения, по крайней мере, вначале.

Фундаментальная проблема, вызываемая разрешением проведения МЯВ в режиме запрета испытаний ядерного оружия, заключалась в том, как предотвратить накопление знаний, полезных для разработки ядерного оружия, при проведении ядерных взрывов в мирных целях. Хотя проектные требования к ядерным зарядам для мирных целей и к ядерному оружию в терминах размера, веса, выхода радиации, и остаточной радиоактивности, могут быть различными, но создание мирных ядерных зарядов с лучшими параметрами может непосредственно повлиять на разработку лучшего оружия. Разработка «чистых» зарядов с много меньшим отношением выходов деления и синтеза важна для приложений ядерных взрывов при выемке грунта. Как запретить стороне, проводящей МЯВ, испытывать

новые проектные идеи, с диагностическими измерениями характеристик устройства, или без них, даже если такие улучшения запрещены? Конечные результаты радиохимического анализа микроскопических частиц выбросов от МЯВ могут предоставить достаточные подтверждения многих новых идей, но только для тех, кто разрабатывал такое устройство.

Среди начальных методов возможного решения этих проблем оружейные лаборатории выбрали следующие четыре:

- (i.) Использовать для МЯВ любое устройство, которое захочет страна, под наблюдением ООН и других стран, включая СССР, но без диагностики для измерения качества устройства.
- (ii.) Организовать международный запас, в который каждая страна, желающая проводить МЯВ, передает некоторое количество устройств в день вступления договора в силу.
- (iii.) Использовать устройства, переданные СССР, для МЯВ США и Великобритании, и наоборот.
- (iv.) Использовать устройства, которые будут подлежать инспекции всех обладающих ядерным оружием стран-участниц договора, включая СССР.

Первая идея, очевидно, была бы наиболее привлекательной для тех, кто заинтересован только в МЯВ, но она является весьма сложной для тех, кто должен убеждать другие стороны в том, что нельзя получить важной при отсутствии очевидных диагностических измерений. С другой стороны, было понято, что три других метода, скорее всего, приведут к тому, что для проектов «Глаушер» будут использоваться устаревшие устройства, без всякой надежды на разработку специальных зарядов с малым выходом деления для выемки грунта.¹⁵⁵ КАЭ США в конце концов рекомендовала для межведомственной группы, разрабатывающей позицию США на переговорах, метод международных запасов.¹⁵⁶

Когда США выложили конкретный текст на стол переговоров в декабре 1958 года, который призывал будущую Контрольную комиссию «определить процедуры... для контроля за ядерными устройствами и наблюдения за ядерными взрывами для мирных целей»,¹⁵⁷ советский представитель Семен Царапкин немедленно отреагировал, заявив, что «целью нашей Конференции является работа над договором о запрещении испытаний ядерного оружия везде и навсегда, и принятие необходимых мер, чтобы убедиться в том, что все участники договора выполняют его. Наше намерение состоит в том, чтобы не было никаких ядерных взрывов для какой-бы то ни было цели.»¹⁵⁸

Такая открытая оппозиция СССР любым испытаниям для любой цели при действии договора длилась недолго, до тех пор, пока через 10 дней, 25 декабря, в речи на заседании Верховного Совета министр иностранных дел Андрей Громыко не сказал, что производить ядерные взрывы в мирных целях в режиме запрещения испытаний будет возможно, если, среди прочих условий, Запад и Восток будут производить равное количество взрывов, и что все используемые устройства будут подвергаться полной внутренней и внешней проверке.¹⁵⁹ Девятью месяцами раньше Эдвард Теллер сделал аналогичное заявление на слушаниях в Конгрессе, согласно которому «для того, чтобы иметь эффективную международную инспекцию (мирных ядерных устройств), необходимо не только инспектировать сам взрыв, но и открыть устройство, посмотреть внутрь него, и убедиться в том, что это обычное ядерное устройство. Это может быть сделано, но, очевидно, при этом будет получен большой объем информации, который в настоящее время держится под большим секретом.»¹⁶⁰ Это заявление находилось в большом перечне причин, по которым он считал, что запрещение испытаний — это плохая идея, что могло быть мотивом, по которому СССР также подхватил такую идею.

Возможно, обеспокоившись внезапным изменением советской точки зрения, 30 января 1959 года Уордсворт представил проект статьи, содержащий предлагаемые процедуры проведения МЯВ, в целом основанный на втором из четырех перечисленных выше методов. За

четыре месяца до проведения ядерного взрыва в мирных целях, сторона, предлагающая испытание, должна представить описание проекта, включающее его назначение, дату и место проведения, ожидаемую мощность, измерения и эксперименты, проводящиеся в связи со взрывом, и «меры, принимаемые для того, чтобы исключить радиоактивные осадки за пределами непосредственных окрестностей».¹⁶¹

Кроме того, предложение США призывало к созданию депозитария под наблюдением Контрольной комиссии, в который каждая страна-участница соглашения, до его вступления в силу, могла поместить запас ядерных взрывных устройств, предназначенных для использования в своих мирных ядерных взрывах. Для устранения сомнений в надежности и безопасности, оно предусматривало проверки передающей стороной любых устройств в депозитарии под наблюдением других сторон.

В качестве альтернативы данной процедуре США предложило, чтобы новые ядерные устройства могли использоваться в любое время, но так, чтобы другие стороны могли инспектировать «внутреннее и наружное устройство ядерных зарядов, включая... детальные чертежи». Возможно, что такое предложение было предназначено для того, чтобы дать возможность США провести проекты по ядерным взрывам для выемки грунта с новыми устройствами со значительно меньшими выходами деления, чем это было доступно в 1959 году. Как отмечалось выше, создание таких устройств было одним из основных элементов американской программы «Глаушер».

Уордсворт утверждал, что конечным результатом этих положений по устройствам, используемым в проектах для мирных целей, должно стать «убеждение в том, что либо будут использоваться устройства, основанные на старой технологии, что закрывает возможность модернизации оружия, либо другие... стороны получают доступ к детальному устройству заряда, так что взрывающая сторона не получит военного преимущества. Первый метод требует использования устройств, разработанных до вступления в силу соглашения о прекращении испытаний ядерного оружия...», а «второй метод... предназначен для того, чтобы устройства, используемые в соответствии с ним, обладали сравнительно устаревшими конструкциями, или конструкциями, которые, возможно из-за веса или размеров, не будут иметь военного значения, и которые из-за этого могут быть раскрыты другим сторонам, но в то же время позволят решать невоенные задачи таких устройств более эффективно и менее дорого.»¹⁶²

Тремя неделями позже, 23 февраля 1959 года, посол Царапкин дал формальный ответ на предложения США. Покончив с отрицанием любого предложения о разрешении МЯВ в режиме запрещения испытаний, он заявил, что «наша позиция ясна и состоит в том, что прямой и единственной целью Конференции является подготовка договора о вечном прекращении всех видов ядерных испытаний. Мы не можем согласиться с попыткой делегации США превратить эту конференцию по прекращению испытаний в конференцию по легализации, в той ли иной форме, продолжения ядерных испытаний.»¹⁶³

Несмотря на противодействие Советского Союза включению МЯВ в договор по запрещению испытаний, Царапкин неожиданно продолжил, что СССР, несмотря на это, готов разрешить их, но на своих условиях, которые он и выложил на стол. Представленные условия предусматривали равное количество взрывов в мирных целях СССР, с одной стороны, и для США и Великобритании, с другой. Такая процедура фактически давала СССР право вето на любой западный проект МЯВ и была очевидно неприемлемой.

Вместо создания запаса устройств для мирных ядерных взрывов Царапкин предложил:

- ♦ «предоставлять заранее другой (стороне) полное описание и чертежи» и
- ♦ «разрешить инспекцию внутреннего и внешнего устройства взрываемого заряда»¹⁶⁴

В это время американцы мало что сказали в ответ на советское предложение, хотя требования внутренней ин-

спекции и передача чертежей для изучения советской стороне, казалось, на первый взгляд были неприемлемы. Тем не менее, США приняли предложение для изучения и заявили позже в том же году в ООН, что «в принципе достигнуто соглашение о том, что ядерные взрывы для мирных целей могут быть разрешены... при тщательной подготовленных условиях под международным наблюдением.»¹⁶⁶ Во время двух последующих лет, большая часть обсуждений на конференции была направлена на развитие совместной программы сейсмических исследований при помощи ядерных взрывов, которая могла бы быть проведена во время действующего моратория. Однако, позиция каждой страны, откуда должны быть взяты взрывающиеся ядерные заряды, продолжала базироваться на их предыдущих позициях по отношению к мирным ядерным зарядам. Наконец, 21 марта 1961 года США приняли советские предложения, предусматривающие полное раскрытие и инспекцию устройств, которые будут применяться как для сейсмических экспериментов, так и для МЯВ.

Мало что было сделано еще для включения МЯВ на Женевской конференции, вплоть до ее конца в январе 1962 года, последовавшего за решением СССР завершить свой мораторий и возобновить ядерные испытания, или на последующей Конференции ООН по разоружению.

Договор о запрещении ядерных испытаний в трех средах (Московский договор)

Через 18 месяцев, в июле 1963 года переговоры в Москве завершились подписанием Договора о запрещении ядерных испытаний в трех средах (Договора 1963 года, или Московского договора), который запрещал «любой испытательный взрыв ядерного оружия, или любой другой взрыв, в любом месте под их юрисдикцией или контролем:... если такой взрыв приведет к присутствию радиоактивных осадков за пределами территории государства, под чьей юрисдикцией или контролем проводился такой взрыв...». В начальном американском варианте содержалось положение, разрешающее ядерные взрывы в мирных целях в запрещенных средах, если имеется единогласное соглашение, и если они будут проводиться в соответствии с положениями приложения, которое так и не было представлено, но предположительно находилось в соответствии с тем, что было предложено СССР на предыдущих Женевских переговорах¹⁶⁷. Однако, советские представители выступили против, и это положение было исключено.

Конструкция указанной статьи, очевидно, была направлена на приложение как к МЯВ, так и к ядерному оружию. Однако, выбор слов «к присутствию радиоактивных осадков за пределами территории» был интерпретирован КАЭ как разрешающий проводить ядерные взрывы с образованием кратеров, если только они не приводят к «переносу за пределы территории государства количества радиоактивных осадков в размерах, достаточных, чтобы установить, что такое загрязнение произошло от недавнего испытания внутри данной страны»¹⁶⁸. Все ядерные эксперименты с образованием кратеров в США после 1963 года проводились в рамках этой интерпретации Договора 1963 года, хотя во время слушаний по ратификации председатель КАЭ Сиборг заявил, что будет невозможно провести большой проект, такой, как создание нового канала через перешеек в малой стране, без переработки договора. Как отмечалось ранее в разделе «Проект канала Кама-Печора», и в ссылке 47, русскоязычная версия этой конкретной части договора разрешает намного больше, чем англоязычная версия, однако, по-видимому, и она недостаточна для разрешения крупных проектов, таких, как канал Кама-Печора.

Опасения возможного нарушения Договора 1963 года при реализации проекта канала Кама-Печора привели СССР к участию в серии двусторонних технических совещаний с США по ядерным взрывам в мирных целях в 1969 – 76 годах. На этих совещаниях они надеялись достичь общего понимания с США по интерпре-

тации или дополнению текста Договора 1963 года, которое позволило бы проводить крупномасштабные ядерные проекты по выбросу при соответствующих мерах радиационной безопасности, в отличие от стандарта «на уровне обнаружения» в Договоре 1963 года. Хотя и было проведено обсуждение нескольких концепций, вопрос разрешен не был¹⁶⁹.

Договор о нераспространении (ДНЯО)

В конце 60-х годов, во время переговоров по Договору о нераспространении, в США активно осуществлялась программа «Глаушер», а в СССР, хотя и на менее продвинутой стадии – «Программа применения ядерных взрывов в народном хозяйстве». Этот договор обязывал страны мира, не обладающие ядерным оружием, не предпринимать никаких усилий к приобретению ядерного оружия, а страны с ядерным оружием – не передавать неядерным государствам любого оружия, материалов, или технологии, пригодной для изготовления оружия. В обмен на отказ неядерных государств от права приобретения ядерного оружия этот договор обязывал ядерные страны предоставлять доступ к мирному использованию ядерной энергии (к материалам и к технической информации) под соответствующими гарантиями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

Стремясь удовлетворить пожелания и получить поддержку Договора о нераспространении от некоторых из наиболее противостоящих стран, не обладающих ядерным оружием (например, Индии, Аргентины и Бразилии), США предложили, а СССР с готовностью поддержал, включить положение, Статью V, которая явно обязывала ядерные государства обеспечить доступ «к потенциальным выгодам от любого мирного использования ядерных взрывов...на недискриминационной основе...в соответствии с особым международным соглашением...» или «...в соответствии с двусторонними соглашениями». Несмотря на то, что впоследствии США вместе с другими странами изучило несколько международных проектов, ни одного международного проекта так и не было проведено¹⁷⁰. Статья V Договора о нераспространении привела к созданию отдела внутри МАГАТЭ для координации международных интересов в мирном использовании ядерных взрывов. Она привела также к проведению между 1970 и 1978 годами пяти международных конференций или технических совещаний по ядерным взрывам в мирных целях, которые предоставили возможность технического взаимодействия ученых из США, СССР и других стран¹⁷¹.

Одним из участников технических совещаний МАГАТЭ по ядерным взрывам в мирных целях в начале 70-х годов была Индия, которая проявляла интерес к одному частному приложению использования ядерных взрывов для добычи руд цветных металлов вообще и меди в частности¹⁷². 18 мая 1974 года Индия произвела «мирный экспериментальный ядерный взрыв» в пустыне Раджастан в Западной Индии, представив его «как шаг в направлении исследования эффектов растрескивания скальных пород, перемещения грунта, ограничения радиоактивности, и проблем, связанных с доступом к ударно нагруженной среде». Взрыв вызвал бурю гневных протестов по всему миру, отрицающих объявленное мирное назначение взрыва, и трактующих его как попытку Индии получить ядерное оружие.

До конца 1995 года не было никаких указаний на дополнительные действия Индии в направлении проявления ее высказанных интересов к МЯВ. Однако, после этого стали появляться отдельные доклады о подготовке дополнительного ядерного испытания, однако, до сих пор его не было^{173,174}. Возможно, что индийский взрыв был наиболее яркой демонстрацией конфликта между усилиями по ограничению распространения ядерного оружия и желанием получить технологию, необходимую для МЯВ.

Договор об ограничении подземных испытаний ядерного оружия и Договор о подземных взрывах в мирных целях

Конфликт между усилиями по достижению соглашения по контролю над вооружениями и потенциальными возможностями МЯВ еще раз возник на переговорах по Договору об ограничении подземных испытаний ядерного оружия в июне 1973 года. К этому времени программа «Плаушер» в США быстро сворачивалась, а в СССР ее звезда только начала восходить. Роли обеих стран по отношению к желательности разрешения ядерных взрывов в мирных целях начали постепенно меняться в обратную сторону.

США жестко поддерживали позицию, по которой любой предел на мощность испытательных ядерных взрывов должен был действовать и для ядерных взрывов в мирных целях, независимо от того, проводились ли они на полигоне для испытаний ядерного оружия, или вне его. СССР был представлен Игорем Мороховым, первым заместителем председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии, и одним из ведущих защитников ядерных взрывов в мирных целях в Советском Союзе. Также жестко он защищал советскую позицию, по которой мощность МЯВ за пределами испытательных полигонов не должна подвергаться тем же ограничениям, что для ядерного оружия, и что для них предел должен устанавливаться достаточно высоким (400 – 600 кт), чтобы можно было осуществить проекты МЯВ, подобные проекту канала Кама-Печора. В конце концов было согласовано, что предел в 150 кт будет прилагаться ко всем взрывам, проводящимся на объявленных полигонах для испытаний ядерного оружия, а переговоры по отдельному договору о подземных ядерных взрывах в мирных целях должны быть проведены в течение ближайших 18 месяцев до вступления в силу Договора об ограничении подземных испытаний ядерного оружия. Последующее соглашение по МЯВ должно было обеспечить широкий обмен информацией о геологических и других особенностях последующих МЯВ и, впервые для всех соглашений США по контролю над вооружениями, включить наблюдения на местах за деятельностью по МЯВ представителями другой стороны.

Переговоры по Договору о подземных ядерных взрывах в мирных целях потребовали полных 18 месяцев и привели к одному из наиболее детальных соглашений по обмену информацией и проведению наблюдений на местах в тогдашней истории контроля над вооружениями. Договор о подземных ядерных взрывах в мирных целях, подписанный в мае 1976 года, ограничивал мощность одиночного устройства пределом в 150 кт, но разрешал одновременные групповые взрывы с общей мощностью до 1500 кт. Для любого взрыва с общей мощностью более 150 кт другой стороне разрешалось установить датчики в скважинах вблизи места взрыва, которые позволили бы ей измерить мощности отдельных взрывов в группе.

Несмотря на то, что Договор об ограничении подземных испытаний ядерного оружия и Договор о подземных ядерных взрывах в мирных целях не были ратифицированы, стороны согласились соблюдать их ограничения до ратификации. Однако, к моменту подписания Договора о подземных ядерных взрывах в мирных целях в мае 1976 года программа «Плаушер» умерла, а интерес СССР к проекту канала Кама-Печора угас. В результате ни одна из сторон так и не провела ни одного мирного ядерного взрыва с мощностью, достаточно большой для подключения обязательств по Договору о подземных ядерных взрывах в мирных целях. Впоследствии, в конце 80-х годов были согласованы Протоколы к Договору об ограничении подземных испытаний ядерного оружия и Договору о подземных ядерных взрывах в мирных целях, ужесточающие обязательства по верификации, и требующие инспекций на месте для любого МЯВ с суммарной мощностью более 35 кт, и гидродинамических измерений на месте мощности

любого мирного ядерного взрыва с суммарной мощностью более 50 кт. Исправленные Договор об ограничении подземных испытаний ядерного оружия и Договор о подземных ядерных взрывах в мирных целях были ратифицированы осенью 1990 года, но ни одна из сторон не проводила испытаний ядерного оружия или МЯВ, подпадавших под положения договоров с тех пор, как они вступили в силу.

Переговоры по Договору по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний (1977-1980 годы)

Весной 1976 года США и СССР снова начали переговоры о всеобъемлющем запрещении всех испытаний ядерного оружия, к которым на этот раз присоединилась Великобритания. Вопрос МЯВ очень быстро превратился в одну из основных проблем, после того, как СССР, снова представленный Игорем Мороховым, упорно настаивал на некотором отдельном соглашении, разрешающем МЯВ. Тогда США, поддерживаемые Великобританией, были тверды в отказе от обсуждения любого такого соглашения, и этот вопрос стал одним из главных камней преткновения на переговорах.

После нескольких недель серьезных обсуждений этого вопроса стало ясно, что главное решение по мирным ядерным взрывам было разработано советской стороной. Однажды вечером, во время неформальных обсуждений вне рамок переговоров Морохов и заместитель его делегации, Роланд Тимербаев, попросили нескольких членов американской делегации рассмотреть три возможных варианта проведения мирных ядерных взрывов в рамках Договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний:

- (i.) Советский Союз будет использовать для своих проектов МЯВ американские устройства, и наоборот.
- (ii.) США получат полный доступ к конструкции любых устройств, используемых СССР для МЯВ, и наоборот.
- (iii.) США и СССР предпримут совместную программу для разработки и производства устройств, используемых в любом МЯВ.

Первые два предложения были аналогичны тем, которые обсуждались в 1958 – 59 годах на Женевской конференции, но последнее было идеей, которая казалась в то время невыполнимой. Американская делегация обратила мало внимания на предложения Морохова. В течение двух недель, 2 ноября 1977 года, Генеральный секретарь Брежнев объявил, что СССР примет мораторий на все МЯВ на время действия Договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний. Вскоре после этого Морохов сменил на посту руководителя советской делегации Андроник Петросьянц, начальник Морохова и председатель Государственного комитета по использованию атомной энергии. Несмотря на то, что вопрос по МЯВ был разрешен, другие вопросы привели к отсутствию продвижения на переговорах до тех пор, пока администрация Рейгана не покинула их в 1981 году.

Переговоры по Договору по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний (1994-1996 годы)

19 октября 1989 года СССР начал необъявленный годовой мораторий на испытания ядерного оружия. Так же, как и во время объявленного 18-месячного моратория на испытания ядерного оружия в 1985–86 годах, СССР не проводил во время этого моратория никаких МЯВ. Хотя СССР и провел свое последнее испытание ядерного оружия в октябре 1990 года, с 9 сентября 1988 года не проводилось ни одного нового мирного ядерного взрыва.

После нескольких продолжений советского моратория, установленных конгрессом США ограничений на испытания, и французского моратория в январе 1994 года в Женеве начались переговоры пяти ядерных держав по Договору по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний. Также, как и на предыдущих перего-

ворах, МЯВ сразу же стали важной проблемой. С начала этих переговоров США и Великобритания выступали за запрещение всех ядерных взрывов, включая предназначенные для «мирных целей». Франция, которая изучала потенциал МЯВ для использования на своей территории и около нее в начале 70-х годов, также поддержала запрещение МЯВ. Хотя Китай раньше никогда не выражал интереса к применению ядерных взрывов в мирных целях, он начал переговоры, желая включить положение, позволяющее разрешить МЯВ с какого-то времени в будущем. Россия заняла позицию признания их запрещения, но не уступала за него активно. В течение 1994 – 1995 годов все ядерные державы придерживались своих исходных позиций по МЯВ, но 6 июня 1996 года Китай уступил возрастающему давлению за соглашение, и отказался от своих настояний на исключение МЯВ из соглашения по всеобъемлющему запрещению ядерных взрывов, предложив вместо этого рассмотреть вопрос о мирных ядерных взрывах на обзорной конференции, которую планируется провести через 10 лет. В результате этого было быстро достигнуто соглашение между всеми делегациями, за исключением Индии, Пакистана и Северной Кореи. Соглашение было подписано всеми пятью объявленными ядерными державами 24 сентября 1996 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 23-летнего периода между 1965 и 1988 годами в советской «Программе использования ядерных взрывов в народном хозяйстве» было проведено 122 ядерных взрыва для изучения и внедрено в промышленное использование 13 различных приложений. Всего было проведено 128 взрывов с мощностью от 0,01 до 140 кт (в основном от 2 до 20 кт, см. табл. 6).

Таблица 6. Гистограмма распределения советских мирных ядерных взрывов по мощности.

Интервал мощностей (кт)	Количество Взрывов
< 0,25	8
0,25 – 0,5	3
0,5 – 1,0	1
1,0 – 2,0	6
2,0 – 5,0	23
5,0 – 10	40
10 – 20	30
20 – 50	9
50 – 100	6
> 100	2

Большая часть приложений в советской программе МЯВ была подробно изучена в серии испытаний, но, к сожалению, мало что было опубликовано из их технических результатов, за исключением общих выводов. Два приложения, глубокое сейсмическое зондирование земной коры, и создание подземных резервуаров в соли для хранения газового конденсата, нашли широкое применение, и составили около 50% всех взрывов. Еще 17% пришлось на взрывы для изучения технической возможности стимуляции производительности месторождений нефти и газа.

Программа глубинного сейсмического зондирования принесла огромный объем сейсмических данных, которые до сих пор анализируются для лучшего понимания глубинных геологических структур огромных пространств российского субконтинента. Хотя они могут помочь в открытии нескольких новых углеводородных или минеральных ресурсов в будущем, их главное значение, вероятно, заключается в области геотектоники.

Два главных проекта для создания подземных хранилищ газового конденсата из вновь разработанных газовых месторождений представляются весьма ценным ресурсом для промышленности, и они вполне могли окупить их разработку. Однако, осыпание почти половины образованных в соли взрывных полостей на площад-

ках Вега и Азгир поднимают серьезные вопросы общей применимости и долговременной надежности этих или любых приложений с использованием таких полостей. Очевидно, что проникновение воды в соляные полости является серьезной проблемой из-за возможной потери полости, а также из-за возможной утечки радионуклидов, захваченных в расплавленной соли и неизбежно возникающего загрязнения поверхности.

Исследования стимуляции газовых и нефтяных месторождений были значительно более широкими и долговременными, чем проведенные в США. Опубликованные до сих пор результаты были весьма привлекательными в аспекте повышения производительности по отношению к стоимости, но это приложение не применялось в СССР в промышленных масштабах. Причина может быть связана с проблемами загрязнений, встреченными на месторождении Грифон, но, скорее всего, она была связана с теми же трудностями, с которыми встретилась программа «Плаушер» - с необходимостью крупномасштабной реализации для существенного влияния на национальную нефтяную и газовую промышленность, и с сопротивлением общественности принятию продукта, содержащего дополнительную радиоактивность, каким бы малым не был ее уровень.

Применение ядерных взрывов для тушения четырех газовых фонтанов, не поддавшихся другим имеющимся в СССР методам, следует считать важным достижением. Возможно, что эти фонтаны могли бы быть потушены обычными методами, имеющимися в США, однако опыт советской программы МЯВ в этой области уникален и может оказаться полезным где-нибудь в мире в некоторой критической ситуации в будущем. Будет полезно, если русские представят больше информации о том, почему попытка в Нарьян-Маре оказалась неудачной.

Эксперименты «Днепр» по раздроблению руды на Кольском полуострове, по-видимому, были успешными, но отсутствие широкомасштабного использования вызывает сомнения в применимости этого метода. Точно так же, взрыв «Кливаж» для дисперсии газа в шахте представляется методом с ограниченной применимостью, существенными проблемами с приемлемостью, и с малой поддержкой в промышленности.

Применение ядерных взрывов для производства актинидов и трансплутониевых элементов в заполненных водой полостях является интересным и неожиданным методом, но трудно представить, чтобы такая процедура позволила получить значительные количества таких нуклидов по сравнению с ядерными реакторами. С другой стороны, такой подход может оказаться весьма полезным в программе получения тяжелых элементов, аналогичной той, которая проводилась в США в 60-х годах для производства сверхтяжелых элементов за элементом 110^{175} . Многие из тяжелых элементов, образующихся при множественном нейтронном захвате в ядерном взрыве, обладают очень коротким временем жизни. При помощи такого метода, значительные количества трансплутониевых элементов, образовавшихся в начальном взрыве тяжелых элементов, должны быть быстро извлечены из полости, переработаны, и использованы как элементы мишени во втором взрыве тяжелых элементов. Точно так же, любые сверхтяжелые элементы, образовавшиеся во втором взрыве, должны быть быстро извлечены и обработаны для того, чтобы максимально увеличить возможность обнаружения любых короткоживущих изотопов.

Одним из наиболее полезных приложений, с точки зрения России и других стран с серьезными проблемами загрязнения окружающей среды, могут быть эксперименты «Кама», продемонстрировавшие применение глубоких ядерных взрывов для захоронения токсичных промышленных отходов в глубоких скважинах. Результаты этих двух экспериментов показывают, что такие методы могут быть использованы для захоронения больших количеств очень опасных химических загрязнений в течение длительных периодов без существенных проблем. Ввиду видимого успеха этих экспериментов трудно понять, почему не было последующего применения этого метода на других площадках.

Элемент ядерных взрывов на выброс в советской программе МЯВ оказался сравнительно коротким, и пострадавшим от общемирового роста общественных опасений относительно окружающей среды и атмосферной радиоактивности, и разочарованием после эксперимента «Тайга». Кроме того, у СССР были серьезные опасения по работе с ограничениями Договора 1963 года по выносу радиоактивности от ядерных взрывов за пределы территории, в особенности для проекта размеров канала Кама-Печора. В начале 70-х годов опасения по охране окружающей среды при повороте вод из бассейна Северного Ледовитого океана привело к потере государственной поддержки канала Кама-Печора. Кроме того, заблаговременно крatera эксперимента «Тайга» в 1971 году показало, что геология вдоль трассы канала непригодна для его прокладки при помощи ядерных взрывов. Хотя проект включался в перспективные планы еще в течение нескольких лет, он в конце концов был отменен, а вместе с ним исчезла и всякая дальнейшая поддержка советской программы земляных работ при помощи ядерных взрывов.

Важным элементом советской программы МЯВ были усилия обеих лабораторий ядерного оружия в Арзамасе и Челябинске по разработке специальных конструкций ядерных устройств для уменьшения радиоактивности и стоимости полевых работ, связанных со специальными применениями (Приложение В). Ранние усилия были связаны с разработкой высокотемпературных взрывных устройств малого диаметра для использования в тушении газовых фонтанов. В то же время в конце 60-х и начале 70-х годов основные усилия были направлены на разработку взрывных устройств с очень малым выходом деления для проектов ядерных взрывов на выброс. К сожалению, русские не представили никаких детальных сведений о степени успеха в достижении своих целей в программах разработки таких устройств.

В 1971 и 1974 годах в СССР было проведено два эксперимента на испытательном полигоне для изучения возможности выброса радиоактивности от взрыва вглубь тоннеля для ее отделения от физических эффектов взрыва. Результаты этих испытаний были впоследствии использованы в горнодобывающих экспериментах «Днепр-1» и «Днепр-2». Геометрия этих испытаний была похожа на геометрию американского испытания 1967 года «Марвел» по программе «Глаушер», хотя целью эксперимента «Марвел» было каналирование гидродинамической энергии, а не радиоактивности, на 100 м вниз по трубе диаметром в 1 м. Предположительно, в середине 70-х годов в советской программе разработки устройств внимание уделялось созданию взрывных устройств малого диаметра с низким производством трития для работ с углеводородами, таких, как стимуляция нефтяных и газовых месторождений, или создание хранилищ для газового конденсата. Минатом сообщал, что эти программы успешно достигли своих целей, но не предоставил никаких деталей¹⁷⁸.

Советская программа разработки устройств с малым выходом деления для взрывов на выброс и работ с углеводородами отражала аналогичные работы по программе «Глаушер» в середине 60-х и начале 70-х годов. Русские не предоставили никакой информации о том, были ли устройства, использованные в программе производства трансмутониевых элементов специально разработаны для этой цели, так же, как устройства, использованные в американской программе тяжелых элементов.

За исключением взрывов с образованием кратеров на испытательном полигоне и эксперимента «Тайга» на трассе канала Кама-Печора, подавляющее большинство оставшихся 112 советских МЯВ были полностью погруженными (камфлетными). Пять взрывов сопровождалось мгновенным выбросом радиоактивности, наиболее серьезным из которых был выброс в эксперименте «Кратон-3» по глубинному сейсмическому зондированию в Сибири, который сопровождался выбросом газа и радиоактивных частиц при расплавлении вечной мерзлоты вокруг скважины для размещения заряда. Взрыв «Кристалл» для создания плотины в Сибири сопровождался выбросом газа, как и ожидалось

при планировании эксперимента. При трех других взрывах «Глобус-1», «Глобус-3» и «Галит-А-8» наблюдались утечки радиоактивных газов через забивку скважин для размещения зарядов. Всего наблюдалось 26 случаев утечки радиоактивных газов, в основном во время операций по проникновению в полости или разломы, или во время промышленной эксплуатации площадок. Во всех случаях камфлетных взрывов, за исключением «Кратона-3» и «Кристалла», площадки были обеззаражены, и уровни радиации за пределами ограниченных промышленных площадок соответствовали местным уровням фона.

Советская программа МЯВ проходила как секретная, аналогично многим другим государственным программам того времени. Хотя в популярных изданиях 70-х годов появилось несколько статей, в них не было деталей о количестве или местоположении взрывов. В результате местное население редко было информировано о природе или масштабах деятельности по МЯВ по соседству с ним. С наступлением «гласности» в конце 80-х годов в российских газетах и журналах начали появляться много «раскрытий», в которых перечислялось много МЯВ, которые проводились по всей стране, и во многих случаях они рассматривались с точки зрения тревоги за их последствия. Из-за общих низких стандартов промышленной безопасности и защиты окружающей среды в СССР и России общественность была готова верить худшему. Отсутствие точных данных от Минатома и хороших и плохих результатов их экспериментов с мирными ядерными взрывами затруднило развитие рационального обсуждения их стоимости, риска и преимуществ.

Советская программа МЯВ во много раз превышала американскую программу «Глаушер» как по числу исследованных в полевых экспериментах приложений, так и по степени их внедрения в промышленное применение. Несколько применений МЯВ, таких, как глубинное сейсмическое зондирование или стимуляция нефтяных месторождений, были подробно исследованы и похоже, что они обеспечивают положительную прибыль при минимальном риске для общественности. Несколько других, таких, как создание хранилищ, столкнулись со значительными техническими проблемами, которые ставят под сомнение их общую применимость. Другие, такие, как тушение газовых фонтанов, продемонстрировали уникальную технологию, которая может найти применение там, где прочие методы откажут. Остальные направления были испытаны в одном или нескольких тестах, но не изучались далее по причинам, которые не были объяснены. В целом программа представила значительные технические усилия для изучения обогатившей новой технологии, и в ходе ее выполнения был получен большой объем данных, которые представляются довольно благоприятными, хотя лишь небольшая часть этих данных была опубликована.

Однако, фундаментальной проблемой мирных ядерных взрывов, впервые обозначенной Джеймсом Шлезингером вскоре после того, как он стал председателем КАЗ в 1971 году, является то, что для того, чтобы получить экономическую значимость, эта технология должна применяться в широких масштабах, и такое применение неизбежно затронет большое количество площадок, каждая из которых будет потенциальным источником радиоактивности как для окружающей среды в целом, так и для ближайших сообществ в отдельности. В России сейчас имеется более 100 площадок, на которых захоронено значительное количество высокоактивных материалов, пусть и в безопасном глубоком месте. Тем не менее, деятельность на этих площадках должна все время ограничиваться и контролироваться. Даже если каждая из таких площадок будет эксплуатироваться в полном соответствии со стандартами радиационной безопасности, и если вывозимая с этих площадок промышленная продукция будет иметь уровень фона, во много раз меньший минимальных допустимых значений, опыт последних двух десятилетий в США и в современной России показывает, что будет практически невозможно добиться общественного признания таких

приложений ядерной энергии.

В дополнение к проблемам политической и экономической приемлемости МЯВ представляют также трудную проблему в области контроля над вооружениями в контексте полного запрещения испытаний ядерного оружия. При отсутствии любых других форм ядерных испытаний любой ядерный взрыв в мирных целях обладает потенциалом получения полезной информации для тех, кто разрабатывает и конструирует ядерные устройства. Таким образом, в рамках Договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний любая страна, проводящая МЯВ, будет, если не фактически, то по видимости, получать информацию, полезную для разработки нового ядерного оружия или поддержания существующего ядерного арсенала, информацию, запрещенную для других сторон договора. Хотя в течение последних 40 лет на переговорах по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний и было предложено несколько интересных идей для сокращения этого риска, похоже, что ни одна из предложенных идей не сумела преодолеть эту критическую проблему.

БЛАГОДАРНОСТИ

Эта работа была частично выполнена по планам Министерства энергетики США Ливерморской Национальной лабораторией им. Лоуренса по контракту W-7405-Eng-48.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

- United Nations General Assembly, *Official Records: Fourth Session, Ad Hoc Political Committee, Thirty-Third Meeting*, (November 10, 1949), p. 188.
- Покровский, Г.И., «Начало эры атомной энергии», *Техника молодежи*, № 9, (1954).
- Reines, Frederick, "Are There Potential Engineering Uses of Atomic Explosives?", *Bulletin of Atomic Scientists*, (June 1950), pp. 171-2.
- Goldschmidt, Bertrand, *The Atomic Complex*, American Nuclear Society, (1982), pp. 257-62.
- Rougeron, Camille, *Les Applications de L'Explosion Thermonucleaire* Editions Berger-Levrault, (1956).
- Покровский, Г.И., «О применении ядерных взрывов для промышленных целей», т.1, стр. 29-32, (1956).
- Marder, Murray, "Reds Attack Peaceful U.S. Atom Blasts", *Washington Post*, (September 4, 1958), p. 1.
- Rawson, D., C. Boardman, and N. Jaffe-Chazan, *The Environmental Created by a Nuclear Explosion in Salt*, PNE-107F, (1965); D. Rawson, *Review and Summary of Some Project Gnome Results*, AGU Vol. 44, (1963), pp. 129-35; M. Nathans, *Isotope Program - Project Gnome*, PNE-102F, (January 1965).
- Werth, G., Ed., *The Handcar Nuclear Explosion in Dolomite*, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, UCRL-50951, (October 13, 1970).
- Crowley, B., and H.D. Glenn, *The Marvel Experiment*, UCRL-72756, (October 19, 1970).
- В середине 60-х г.г. администрация Джонсона приняла политику, по которой 50 процентов стоимости полевых испытаний по любому промышленному эксперименту «Плаушер» должно было оплачиваться соответствующим спонсором из промышленности. В 1967 году после эксперимента «Гэсбагги» эта величина была увеличена до 90 процентов, что существенно снизило дальнейший интерес промышленности к участию в экспериментах «Плаушер».
- Holzer, F., *GASBUGGY Experiment*, UCRL-71624, (March 1969); D. Rawson, et al., *Postshot Geologic Investigations - Project GUSBUGGY*, UCRL-71354, (September 1968); C. Smith, Jr., *Project GUSBUGGY Gas Quantity Analysis and Evaluation of Radiochemical and Chemical Analytical Results*, UCRL-50635, Rev. 1, (November 1969); L. Aamodt, "RULISON: Underground Engineering Explosive and Emplacement Considerations", IAEA-PL-429/3(1); IAEA *Peaceful Nuclear Explosions II*, (January 1971); C. Smith, *Gas Analysis Results for Project RULISON Production Testing Samples*, UCRL-51153, (November 1971); W. Woodruff, and R. Guido, "Project RIO BLANCO Part I: Nuclear Operations and Chimney Reentry", IAEA-TC-1-4/4, IAEA *Peaceful Nuclear Explosions IV*, (January 1975); J. Toman, "Project RIO BLANCO Part II: Production Test Data and Preliminary Analysis of Top Chimney/Cavity", IAEA-TC-1-4/5, IAEA *Peaceful Nuclear Explosions IV*, (January 1975)
- Tewes, H., *Survey of Gas Quality Results from Three-Gas Well Simulation Experiments by Nuclear Explosions*, UCRL-52656, (January 1979).
- Dubasov, Yu. V., et al., «Nuclear Explosion Technologies: Features of the Conduct of Nuclear Explosions for Peaceful Purposes», *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, (January 1994), pp. 30-35, Moscow.
- Nuclear Explosions in the U.S.S.R. - Publication 4 - Peaceful Uses of Nuclear Explosions*, Ed. V.N. Michailov, p. 4, VNIPIromtechnology and Khlopina Radium Institute, Moscow, (1994).
- Частное сообщение Роланда Тимербаева, ранее работавшего в Министерстве иностранных дел СССР.
- Частное сообщение Бориса В. Литвинова, главного конструктора по оружию в Челябинской лаборатории ядерного оружия, (май 1994 года).
- Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 4, (полную ссылку смотри в п. 15).
- Holzer, A., and G. Werth, *Summary of the Technical Aspects of the U.S. - USSR Talks of April 14-16, 1969 at Vienna, Austria*, UCID-15499, (July, 1, 1969); G. Werth, *Highlights of the Second Stage of Soviet-American Technical Talks on the Use of a Peaceful Nuclear Explosions for Peaceful Purposes*, UCID-15606, (February 24, 1970); M.D. Nordyke, *Technical Summary of the Third Stage of the Soviet-American Talks on the Peaceful Uses of Nuclear Purposes*, UCRL-51113, (August 23, 1971)
- Peaceful Nuclear Explosions, Phenomenology and Status Report*, 1970, труды совещания в МАГАТЭ (2 - 6 марта 1970 года); *Peaceful Nuclear Explosions II, Their Practical Applications*, труды совещания в МАГАТЭ (18 - 22 января 1971 года); *Peaceful Nuclear Explosions III, Applications, Characteristics and Effects*, труды совещания в МАГАТЭ (27 ноября - 1 декабря 1972 года); *Peaceful Nuclear Explosions IV*, труды совещания в МАГАТЭ (20 - 24 января 1975 года); и *Peaceful Nuclear Explosions V*, труды совещания в МАГАТЭ (22 - 24 ноября 1976 года).
- Nordyke, M.D., "A Review of Soviet Data on the Peaceful Uses of Nuclear Explosives", *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 2, pp. 657-673, (1975).
- Borg, I.Y., "Peaceful Nuclear Explosions in Soviet Gas Condensate Fields", *LLNL Energy and Technology Review*, (May 1983), UCRL-52000-33-5, pp. 30-38.
- Scheimer, J.F., and I.Y. Borg, «Deep Seismic Sounding with Nuclear Explosives in the Soviet Union», *Science*, Vol. 236, No. 4676, (November 16, 1984).
- Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 4, (полную ссылку смотри в п. 15).
- Эта сводка не включает сейсмического события в 09:00 по Гринвичу 19 июля 1982 года с сейсмическими координатами 62.532 с.ш. и 47.813 в.д. пример-но в 200 км к северо-северо-востоку от города Котласа с сейсмической величиной 4.4. Это событие не перечислено в списке ядерных взрывов в мирных целях в документах Министерства атомной энергии, но оно включено в списки ядерных взрывов в мирных целях, составленные Султановым и др., под названием «Комипетролеум» (см. статью D.D. Sultanov, «Investigation of Seismic Efficiency of Soviet Peaceful Nuclear Explosions Conducted in Various Geological Conditions», Institute of the Dynamics of the Geosphere, Russian Academy of Sciences, July 28,

- 1993).
26. *The History of Soviet Nuclear Weapons*, Draft Outline VNIIEF/VNIITF, Moscow, 1993; USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear Explosions, 1949 through 1990, RFCN-VNIIEF, Sarov, ISBN 5-85165-062-1, 1996.
 27. Dubasov, Y.V., et al., «Underground Explosions of Nuclear Devices for Industrial Purposes on the Territory of the USSR in 1965-1988», *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, Moscow, (January 1994), pp. 18-29.
 28. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 67, (полную ссылку смотри в п. 15).
 29. «IAEA Clears Semipalatinsk Area Conditionally for Living», *Nucleonics Week*, (January 26, 1995), pp. 6-7.
 30. Seaborg G.T., *Stemming the Tide, Arms Control in Johnson Years*, Lexington Books, (1987).
 31. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 25.
 32. «Разбухание» соответствует увеличению объема твердого тела при его раздроблении на мелкие случайно ориентированные кусочки.
 33. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 25.
 34. Стефашин, Олег, «Новый неизвестный полигон», *Известия*, (23 января 1991 года).
 35. Лушин, Юрий, «Большой секрет для мирных целей», *ОГОНЕК*, № 2, (январь 1992 года), стр. 4-15.
 36. V.V. Kireev, et al., "Group Excavation by Nuclear Explosions in Alluvial Media", IAEA-TC-1-4/14, in *Peaceful Nuclear Explosions IV*, IAEA Panel, pp. 399-419, 1995.
 37. Миклин, Ф.П., «Масштабы проблемы Каспийского моря», *Советская география*, т. 13, № 9, (ноябрь 1972 года), стр. 589-602.
 38. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 25.
 39. Панков, А., «Печора потечет в Каспий», *Водный транспорт*, (4 декабря 1969 года), стр. 2.
 40. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 23, (полную ссылку смотри в п. 15).
 41. Gorin, V.V., et al., "Semipalatinsk Test Site: A Chronology of Underground Nuclear Explosions and Their Primary Radiation Effects (1961-1989)", *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, Moscow, No. 9, (1993), pp. 21-32.
 42. *History of Soviet Nuclear Weapons* (см. ссылку 26), стр. 46.
 43. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 70, (полную ссылку смотри в п. 15).
 44. Там же, стр. 91.
 45. Chelyukanov, V.V., et al., "On Radiation Conditions in the Perm Oblast", *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, Moscow, No. 2, (1993), pp. 72-74.
 46. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 25.
 47. Chelyukanov (см. ссылку 45).
 48. Kireev (см. ссылку 36).
 49. Англоязычный текст договора ЛТВТ запрещает любой ядерный взрыв, который «вызывает присутствие радиоактивных осадков за пределами границ территории государства», проводящего взрыв, в то время как русский текст ссылается на присутствие «радиоактивных осадков». Таким образом, представляется, что русский текст разрешает ядерные взрывы, приводящие к выбросу пересекающих границу радиоактивных газов, но не ядерных взрывов, приводящих к обнаружимым осадкам за границей.
 50. Договор об ядерных взрывах в мирных целях предусматривает, что в групповых ядерных взрывах не допускается проводить взрывы с мощностью более 105 кт у каждого, и что общая мощность группы взрывов не должна превышать 1500 кт. Похоже, что такие пределы на мощность достаточно для реализации проекта Кама-Печора.
 51. Philip P. Micklin, "A Preliminary Analysis of Impacts of Proposed Soviet River Diversions On Arctic Sea Ice", *EOS*, Vol. 62, No. 19, (May 12, 1981).
 52. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 71, (полную ссылку смотри в п. 15).
 53. Имеются также сообщения, что эксперимент не удался, и что купол обрушился до своего начального уровня. См. «Фокус не удался», в *Атом без грифа «Секретно»: Точки зрения*, А. Емельяненко и В. Попов (ред.), Н&P Druck, Berlin, (1992).
 54. Myasnikov, K.V., et al., «Underground Explosions in the Arctic for Peaceful Purposes», in *Nuclear Explosions in the U.S.S.R. - Publication 1 - The Northern Test Site*, Ed. V.N. Michailov, VNIIPromtechnology and Khlopina Radium Institute, Moscow, (1992).
 55. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 71, (полную ссылку смотри в п. 15).
 56. Докучаев, М., «Взрыв в Медве», *Наука и Жизнь*, № 3, (1967), стр. 100 - 108; Я.А. Юлиш, «Байпазинская гидроэлектрическая энергетическая установка на реке Вахш», *Гидротехника и Мелиорация*, № 7, (1971), стр. 1 - 10.
 57. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 71, (полную ссылку смотри в п. 15).
 58. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 24.
 59. Orudjev, S.A., "Underground Nuclear Explosions to Stimulate Oil Field Development", *Proceedings of the 8th Petroleum Congress*, Moscow, (June 1971).
 60. Nordyke (см. ссылку 21), стр. 666.
 61. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 40, (полную ссылку смотри в п. 15).
 62. Там же, стр. 40 - 42.
 63. Там же, стр. 101.
 64. Для сравнения, начальные значения концентрации трития в газе в трех американских экспериментах по стимуляции газовых месторождений (Gusbuggy, Rulison, Rio Blanco) были соответственно равны 0.7, 0.175 и 0.028 микрокури на литр. При использовании природного газа для приготовления пищи на кухне без вентиляции при концентрации трития в 0.01 микрокури на литр внутренняя доза облучения оценивается в 1.3 мбэр в год, или менее одного процента от естественного уровня облучения. (См. Burton, et al., "Calculational Techniques for Estimating Population Doses from Radioactivity in Natural Gas from Nuclearly Stimulated Wells", IAEA-TC-1-4/3, in *Peaceful Nuclear Explosions IV*, IAEA Panel, (1975), pp. 343 - 354.
 65. Nordyke (см. ссылку 21), стр. 665 - 666.
 66. Orudjev (см. ссылку 59).
 67. Там же.
 68. Ак. А. Яншин, «Ядерный джинн улетает с Земли», *Дело (Москва)*, № 13 (47), (март 1994), стр. 4. Яншин является председателем научного совета Российской Академии Наук по проблемам биосферы.
 69. Голубов, В., «Точка зрения экспертов», в *Атом без грифа «Секретно»: Точки зрения*, А. Емельяненко и В. Попов (ред.), Н&P Druck, Berlin, (1992).
 70. Якимец, В., «Сотня полигонов в бывшем Советском Союзе», *Спасение*, № 19-20, (июнь 1992 г.), стр. 4.
 71. Яншин (см. ссылку 68).
 72. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 44, (полную ссылку смотри в п. 15).
 73. Васильев, В.Г., *Газовые месторождения СССР*, «Недра», Москва, (1968), стр. 92 - 93.
 74. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 145, (полную ссылку смотри в п. 15).
 75. Киселев, А.Е., и В.В. Миннер, «Литологическая композиция и свойства резервуара Осинского горизонта Средне-Ботуобинского месторождения», *Наука*, (1979), стр. 76 - 82.
 76. Кедровский, О.Л., «Об эксплуатации нефтяных и газовых месторождений в резервуарах с малой проницаемостью», *Геология нефти и газа*, № 11, (1980), стр. 43 - 46.
 77. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 42 - 46, (полную ссылку смотри в п. 15).
 78. Мусинов, В.И., «Производство нефти и газа с помощью ядерных взрывов», *Природа*, № 1, стр. 25 - 33.

79. Кедровский, О.Л., М.С. Лыкин, В.И. Мусинов, Е.М. Симкин, «Изучение влияния электрического поля на фильтрацию нефти в слабо проницаемом слое», *Нефтяное хозяйство*, (1986), № 12, стр. 45 – 48.
80. Dubasov (см. ссылку 27), стр. 21 – 22.
81. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 42, (полную ссылку смотри в п. 15).
82. Там же, стр. 41.
83. Там же, стр. 42.
84. Sultanov, D.D., et al., «Investigation of Seismic Efficiency of Soviet Peaceful Nuclear Explosions Conducted in Various Geological Conditions», Part 1, Institute of the Dynamics of the Geosphere, Russian Academy of Sciences, Moscow, (1993).
85. Adushkin, V.V., et al., «Characteristics of Seismic Waves from Soviet Peaceful Nuclear Explosions in Salt», UCRL-CR-120929, (April 1995).
86. Адушкин, В.В., и др., «Обзор экспериментальных данных и теоретического моделирования подземных ядерных взрывов в больших наполненных воздухом полостях», *Доклады Российской Академии Наук*, т. 327, № 1, (1992).
87. Васильев, В.Г., *Газовые месторождения СССР*, «Недра», Москва, (1968), стр. 626 – 628.
88. Игневский, В.И., и К.И. Мангушев, *Предотвращение и остановка нефтяных и газовых фонтанов*, «Недра», Москва, (1974).
89. В ранних ссылках (например, в ссылке 71), указывается, что фонтан забил в скважине № 11 на Уртабулакском месторождении, но в более поздних ссылках указывается скважина 1П на месторождении «Пионер».
90. Частное сообщение Б. Литвинова, (май 1994 года).
91. Там же.
92. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 50-51, (полную ссылку смотри в п. 15).
93. Там же, стр. 151.
94. Хотя во всех источниках указывается, что проект «Магистраль» был первым ядерным взрывом, предназначенным для разработки технологии подземных хранилищ, во всех списках Минатома эксперимент «Тавда» 10 октября 1967 года числится как первый эксперимент по созданию хранилищ. Мощность этого взрыва равнялась всего 0,3 кт, а глубина составляла 172 м. Место взрыва располагалось на восточном склоне Урала, примерно в 70 км к северо-северо-востоку от Тюмени вблизи реки Тавда.
95. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 35-39, (полную ссылку смотри в п. 15). Здесь указано давление газа в полости 8.4 Па (паскаля). По-видимому, это ошибка. Поскольку литостатическое давление оценивается примерно в 140 атмосфер (14 Мпа), то автор, по-видимому, должен был использовать единицы мегапаскалей (Мпа).
96. В статье, представленной в МАГАТЭ в 1972 году, К.В. Мясников описал испытание полости от взрыва (по-видимому, «Магистрала») при литостатическом давлении нефти и газа, и пришел к заключению, что эффективный объем хранения жидкости на 10% больше геометрического объема, а для газов при литостатическом давлении – на 24% больше.
97. На стр. 37 ссылки 15 указывается, что площадка промышленно эксплуатировалась в течение 11 лет, в Приложении 1 – 18 лет. В ссылке 12 на стр. 8 говорилось, что площадка эксплуатировалась в течение 18 лет.
98. Хотя в тексте ссылки 15 говорится, что уровни радиации «выше фона», по-видимому, они близки к нормальному уровню.
99. Borg (см. ссылку 22).
100. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, (полную ссылку смотри в п. 15).
101. Borg (см. ссылку 22).
102. У трех первых взрывов «Вега» 16 октября 1982-года сейсмическая величина равнялась 5.2, а у последнего – 5.4. Кроме того, в ссылке 83, в которой даются точные времена всех взрывов «Вега», отмечается, что мощность последнего взрыва в 6:15 по Гринвичу равнялась 13.5 кт. По этой причине я присвоил в таблице 3 мощность 13.5 кт последнему взрыву из этой четверки.
103. Krivokhatskiy, A.S., et al., «On the Results of Nuclear Explosions Carried Out in the Astrakhan Gas Condensate Deposit for the Creation of Underground Storage», *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, (May 6, 1994), pp. 51-53, Moscow.
104. Яншин (см. ссылку 68).
105. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 148, (полную ссылку смотри в п. 15). Такой же авторитетный источник (см. ссылку 66) указывает, что были три изолированных области, в которых мощность дозы достигала 300 микрорентген в час.
106. *Platt's Oilgram News*, 60 (214), (November 5, 1982).
107. Kiryukhin, L.G., «Characteristics of the Formation of Zones of Regional Highs in the Sub-Salt Complex of the Pre-Caspian Depression», *Petroleum Geology*, 19 (4), (1981), pp. 182 – 186.
108. Dubasov (см. ссылку 27).
109. Benz H.M., et al., «Deep Seismic Sounding in Northern Eurasia», *EOS*, vol. 73, No. 28, (July 14, 1992), pp. 297 – 300.
110. Scheimer, J.F., and I.Y. Borg, «Deep Seismic Sounding with Nuclear Explosives in the Soviet Union», *Science*, Vol. 236, No. 4676, (November 16, 1984).
111. В ссылке 15 отмечается, что в двух профилях ГСЗ использовались МЯВ иного назначения, но эти взрывы не указываются. В ссылке 107 взрыв Ока (Нева) для стимуляции нефти 5 ноября 1976 года указывается как источник для линии Бортуоба – Тунгус – Хайя.
112. Egorkin, A.V., «Studies of Mantle Structure of USSR Territory on Long-Range Seismic Profiles», *Phys. Earth Planet. Int.*, Vol. 25, p. 12, (1981).
113. Egorkin, A.V., and V.V. Kun, *Phys. Earth Planet. Int.*, Vol. 14, p. 262, (1978).
114. Вольвовский, И.С., *Сейсмические исследования земной коры в СССР*, «Недра», Москва, (1973).
115. Зверев, С.М., и И.П. Косьминская, ред., *Сейсмические модели главных геоструктур на территории СССР*, «Наука», Москва, (1980).
116. Egorkin, A.V., et al., «Results of Lithospheric Studies from Long-Range Profiles in Siberia, Seismic Studies of Continental Lithosphere», *Tectonophysics*, 140, (1987), pp. 29 – 47.
117. Ryabov, V., *Upper Mantle Structure Studies by Explosion Seismology in the USSR*, Delphic Press, 1989.
118. Benz (см. ссылку 109).
119. Частное сообщение В. Симоненко, (1993).
120. Dubasov (см. ссылку 27).
121. Быченков, В.А., «Эффект положения и ширины трещины на количество породы, раздробленной взрывом», *Физико-технические проблемы разработки ископаемых*, № 2, (1973), стр. 53-58.
122. Именитов В.Р., «Вопросы использования ядерных взрывов для подземной добычи руды», *Горный журнал*, № 12, (1973), стр. 33-36.
123. Nordyke, (см. ссылку 19).
124. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 64, (полную ссылку смотри в п. 15).
125. Там же, стр. 91.
126. Там же, стр. 64.
127. Там же, стр. 63 – 66.
128. «Leakage of Radiation after 1974 Explosion on Kola Peninsula», *USSR Today*, (October 28, 1991), p. 20.
129. Васильев, А.П., Н.К. Приходько, и В.А. Симоненко, «Подземные ядерные взрывы для улучшения экологических условий», *Природа*, (1991), № 2, стр. 36 – 42.
130. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 54-57, (полную ссылку смотри в п. 15).
131. Wheeler, J.A., «Plutonium Breeding, Collection of Materials», in *Industrial Uses of Nuclear Explosives*, UCRL-5253, (September 8, 1958), pp. 79 – 81.

132. Nathans, M.W., «Recovery of Isotopes», in *Proceedings of the Second Plowshare Symposium*, Part III, UCRL-5677, (May 14, 1959), pp. 24 – 32.
133. Violet, C.E., «Project Gnome», in *Proceedings of the Second Plowshare Symposium*, Part III, UCRL-5677, (May 14, 1959), pp. 4 – 12.
134. Частное сообщение, Вадим Симоненко.
135. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 146 (полную ссылку смотри в п. 15).
136. USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear Explosions, 1949 through 1990, RFCN-VNIIIEF, Sarov, ISBN 5-85165-062-1, 1996.
137. Higgins, G.H., and T.R. Butkovich, *Effect of Water Content, Yield, Medium, and Depth of Burst of Cavity Radii*, Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-50203, (February 1967).
138. Krivokhatskiy, Yu.V., et al., "Radiation Measurements of Underground Explosions for Peaceful Purposes at the Boishoy Azgir Deposit", *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, 9/93, (1994), pp. 49-59, Moscow.
139. Там же.
140. В этом контексте отмечалось, что для полной развязки радиус полости в метрах должен быть в 30 – 40 раз больше кубического корня из мощности взрыва.
141. Werth, G., and R. Randolph, "The SALMON Seismic Experiment", *J. Geophys. Res.*, 71:3405-13, (July 1966); D. Rawson, et al., "Review of the SALMON Experiment – A Nuclear Explosion in Salt", *Naturwissenschaften*, Vol. 54, 525-31, (October 1967); and D. Rawson, et al., "Post-Explosion Environment resulting from the SALMON Event", *J. Geophys. Res.*, 71:3507-21, (July 1966).
142. Этот фактор развязки основан на единственных имеющихся и относительно близких (менее 110 км) сейсмических данных.
143. В ссылке 86 приводится значение мощности этого взрыва в 8 кт, основанное на гидродинамических измерениях в полости. Однако, главный конструктор оружия из Арзамасской лаборатории сделал частное сообщение (см. ссылку 144) о том, что мощность, измеренная более надежным методом (радиохимическим), равнялась 11.5 кт. Мощность, приведенная в тексте, и использованная в этой статье, предоставлена Минатомом в ссылке 15.
144. Glenn, L.A., and P. Goldstein, "Seismic Decoupling with Chemical and Nuclear Explosions in Salt", *J. Geophys. Res.*, 99:11723-30, (June 10, 1994).
145. Частное сообщение, Виталий Адушкин, (12 сентября 1996 года),
146. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 58-60 (полную ссылку смотри в п. 15).
147. «Раскрыто секретное ядерное испытание в Донбассе», всемирная служба Радио Украины, Киев, (5 августа 1992 года).
148. Гончаров, Виктор, и Сергей Петешов, «Эксперимент под кодом Кливаж», в *Атом без грифа «Секретно»: Точки зрения*, А. Емельяненко и В. Попов (ред.), Н&P Druck, Berlin, (1992).
149. *Известия*, 28 июня 1992 года.
150. Paper CCD/388 (August 24, 1972), in *Documents on Disarmament 1972*, pp. 590 – 615.
151. *Progress and Problems in Seismic Verification Research*, Defense Advanced Research Projects Agency, (TIO-73-3), (1973), p. 79.
152. *Независимая газета*, (5 марта 1992 года), стр. 6.
153. Black, S., and B. Morel, "Rational Disposal of Chemical Weapons", *Nature*, No. 360, (December 17, 1992), pp. 621 – 622.
154. Klimenko, V., "A New Look at the Problems of Weapons of Mass Destruction in Russia and the Newly Independent States", in *Nuclear Control*, No. 4, (April 1995), p. 21.
155. Teletype message from H. Brown, LRL, to Stairbird, AEC, *Ideas for PNE Devices under a Moratorium*, COPD 58-73, (September 25, 1958).
156. Teletype message from Stairbird, AEC, to E. Teller, LRL, L-2347-58, (November 7, 1958).
157. Conference on the Discontinuance of Nuclear Weapon Tests, GEN/DNT PV.25, (December 15, 1958), p. 11.
158. Conference on the Discontinuance of Nuclear Weapon Tests, GEN/DNT PV.26, (December 16, 1958), p. 23.
159. Jacobson and Stein, p. 156; *Правда*, (26 декабря 1958 года), стр. 9 – 10.
160. "Control and Reduction", Testimony of Edward Teller in Hearings before a Subcommittee of the Senate Committee of Foreign Relations, (March 16, 1958).
161. Conference on the Discontinuance of Nuclear Weapon Tests, GEN/DNT PV.46, (January 30, 1959), p. 7.
162. Там же, стр. 8 – 10.
163. Conference on the Discontinuance of Nuclear Weapon Tests, GEN/DNT PV.60, (February 23, 1959), p. 30.
164. Там же, стр. 33 – 34.
165. Statement of the United States Representative, Henry Cabot Lodge, to the First Committee of the General Assembly, (October 14, 1959), in DOD, 1945-59, p. 1493.
166. Conference on the Discontinuance of Nuclear Weapon Tests, GEN/DNT PV.274, (March 21, 1961), p. 16-27.
167. Seaborg, Glenn T., *Kennedy, Khrushchev, and Test Ban*, Univ. of Calif. Press, (1981), p. 244.
168. Там же, стр. 268.
169. M.D. Nordyke, *Technical Summary of the Third Stage of the Soviet-American Talks on the Peaceful Uses of Nuclear Purposes*, UCRL-51113, (August 23, 1971).
170. План создания канала в Южном Таиланде, соединяющего Сиамский залив с Малаккским проливом, при помощи ядерных взрывов совместно изучался Соединенными Штатами и Таиландом в 1973-75 годах (см. ниже работу МАГАТЭ от января 1975 года). Аналогично, в середине 70-х годов США, ФРГ и Египет совместно изучали план применения ядерных взрывов для создания канала, соединяющего Катарскую впадину и Средиземное море ("Development of the Quattara Project, Egypt", in *Peaceful Nuclear Explosions V*, IAEA-TC-81-5/6, November 22-24, 1976).
171. См. *Peaceful Nuclear Explosions, Phenomenology and Status Report*, 1970, труды совещания в МАГАТЭ (2 – 6 марта 1970 года); *Peaceful Nuclear Explosions II, Their Practical Applications*, труды совещания в МАГАТЭ (18 – 22 января 1971 года); *Peaceful Nuclear Explosions III, Applications, Characteristics and Effects*, труды совещания в МАГАТЭ (27 ноября – 1 декабря 1972 года); *Peaceful Nuclear Explosions IV*, труды совещания в МАГАТЭ (20 – 24 января 1975 года); и *Peaceful Nuclear Explosions V*, труды совещания в МАГАТЭ (22 – 24 ноября 1976 года).
172. Там же.
173. Smith, R., "Possible Nuclear Arms Test by India Concern", *Washington Post*, (December 16, 1995), p. A17.
174. Gupta, V., and F. Fabian, "Investigating the Allegations of Indian Nuclear Test Preparations in the Rajasthan Desert", *Science Global Security*, Vol. 6(20< (1997), pp. 101-188.
175. Hoff, R.W., and E.K. Hullet, "The Recovery and Study of Heavy Nuclides in a Nuclear Explosion – The HUTCH Event", in *Engineering with Nuclear Explosives*, Proc. ANS Symp., Las Vegas, (January 1970).
176. Michailov, *Nuclear Explosions in the U.S.S.R.*, p. 44, (полную ссылку смотри в п. 15).

Приложение А
Мирные ядерные взрывы в Советском Союзе (по датам проведения)*

№ п/п	Название МАЭ	Дата	Время (по Гринвичу)	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Сейсмич. Величина	Географическое положение
1	Чаган	15.1.65	05:59:59	49.89 49.9350	78.97 79.0094	6.0	Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
2	Бутан	30.3.65	08:00	- 53.10	- 55.87		15 км к северо-западу от Мелейза, Башкирская АССР ^б
3	Бутан	10.6.65	07:00	- 53.10	- 55.87		15 км к северо-западу от Мелейза, Башкирская АССР ^б
4	Сары-Узень	14.10.65	04:00	- 49.9906	- 33.6357		Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
5	Галит А-1	22.4.66	02:58:04	47.86	47.72	4.7	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^а
6	Урта-Булак	30.9.66	05:59:53	47.8292 38.80	47.9347 64.50	5.1	80 км к югу от Бухары, Бухарская область
7	Тавда	6.10.67	07:00:03	57.69	65.27	4.7	70 км к северо-востоку от Тюмени, Тюменская область
8	Памук	21.5.68	03:59:12	38.916	65.159	5.4	70 км к западу от Карши, Кашкадарьинская обл.
9	Галит А-2	1.7.68	04:02:02	47.922	47.950	5.5	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^а
10	Телькем-1	21.10.68	04:02 03:52	47.9086	47.9119		Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
11	Телькем-1	12.11.68	07:30	- 49.7279	- 78.4863		Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
12	Грифон	2.9.69	04:59:57	49.7124 57.415	78.4613 54.860	4.9	Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
13	Грифон	8.9.69	04:59:56	57.365	55.108	4.9	10 км к югу от Осы, Пермская область
14	Ставрополь	26.9.69	06:59:56	45.890	42.472	5.6	10 км к югу от Осы, Пермская область
15	Скважина 2Т	6.12.69	07:02:57	43.832	54.783	5.8	100 км к северо-северо-востоку от Ставрополя, Ставропольский край
16	Магистраль	25.6.70	04:59:52	52.201	55.692	4.9	100 – 115 км к юго-юго-востоку от Саи-Утеса, Мангышлакская обл.
17	Скважина 5Т	12.12.70	07:00:57	43.851	54.774	6.1	70 км к северо-востоку от Оренбурга, Оренбургская область
18	Скважина 1Т	23.12.70	07:00:57	43.827	54.846	6.1	100 – 115 км к юго-юго-востоку от Саи-Утеса, Мангышлакская обл.
19	Тайга	23.3.71	06:59:56	61.287	56.466	5.6	100 км к северо-северо-западу от Красновишер-ска, Пермская обл.
20	Глобус-4	2.7.71	17:00:02	67.66	62.00	4.7	30 км к юго-западу от Воркуты, Коми АССР
21	Глобус-3	10.7.71	16:59:59	64.168	55.183	5.3	140 км к юго-западу от Печоры, Коми АССР
22	Глобус-1	19.9.71	11:00:07	57.777	41.098	4.5	30 км к востоку-северо-востоку от Кинешмы, Ивановская обл.
23	Глобус-2	4.10.71	10:00:03	61.613	47.116	5.1	80 км к востоку-северо-востоку от Котласа, Архангельская область
24	Сапфир	22.10.71	05:00:00	51.575	54.536	5.3	40 км к западу-юго-западу от Оренбурга, Оренбургская обл.
25	Галит А-3	22.12.71	06:59:56	47.872 47.8967	48.222 48.1333	6.0	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^а
26	Кратер	11.4.72	06:00:05	37.367	61.996	4.9	30 км к юго-востоку от Мары, Марыйская область, Туркмения
27	Факел	9.7.72	06:59:58	49.78	35.42	4.8	20 км к северу от Краснограда, Харьковская область
28	Регион-3	20.8.72	02:59:49	49.462	48.179	5.7	310 км к юго-западу от Уральска, Уральская область
29	Днепр-1	4.9.72	07:00:04	67.689	33.445	4.5	20 км к северу от Кировска, Мурманская область
30	Регион-1	21.9.72	09:00:01	52.127	51.994	5.1	80 км к юго-юго-западу от Бузулука, Оренбургская область
31	Регион-4	3.10.72	08:59:58	46.848	45.010	5.8	80 км к северу от Элисты, Калмыцкая АССР

* Сейсмические величины и верхние наборы времен и географических координат основаны на сейсмических данных, предоставленных Национальной службой информации о землетрясениях или Международным сейсмическим центром, если не указано противное. Если имеется нижний набор времен и географических координат, то они представляют реальные данные, взятые из указанного источника.

№ п/п	Название МАЭ	Дата	Время (по Гринвичу)	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Сейсмич. Величина	Географическое положение
32	Регион-2	24.11.72	09:00:08	52.779	51.067	4.7	80 км к юго-юго-западу от Бузулука, Оренбургская область
33	Регион-5	24.11.72	09:59:58	51.843	64.152	5.2	160 км к юго-юго-востоку от Кустаная, Кустанайская область
34	Меридиан-3	15.8.73	01:59:58	50.580	68.395	5.3	90 км к юго-западу от Туркестана, Чимкентская область
35	Меридиан-2	19.9.73	02:59:57	45.635	67.850	5.2	100 км к востоку от Аркалыка, Тургайская область
36	Меридиан-2	19.9.73	02:59:57	45.635	67.850	5.2	230 км к югу от Дзезказгана, Чимкентская область
37	Сапфир	30.9.73	04:59:57	51.608	54.582	5.2	40 км к западу от Оренбурга, Оренбургская область
38	Кама-2	26.10.73	05:59:58	53.656	55.375	4.8	30 км к западу от Стерлитамака, Башкирская АССР
39	Кама-1	8.7.74	06:00:02	53.80	55.2	4.6	30 км к западу от Стерлитамака, Башкирская АССР
40	Горизонт-2	14.8.74	15:59:58	68.913	75.899	5.5	190 км к северо-западу от Тазовского, Тюменская область
41	Горизонт-1	29.8.74	15:00:00	67.233	62.119	5.2	70 км к юго-западу от Воркуты, Коми АССР
42	Хрусталь	2.10.74	00:59:56	66.1	112.65	4.6	70 км к северу от Айхала, Якутская АССР
43	Лазурит	7.12.74	06:00:00	49.92	77.65	4.7	Семипалатинский испытательный полигон, Казахская ССР ^а
44	Галит А-2-1	25.4.75	04:59:57	47.50	47.50	4.9	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
45	Горизонт-4	12.8.75	15:00:00	47.9083	47.9119	5.2	120 км к юго-западу от Тикси, Якутская АССР
46	Горизонт-3	29.9.75	10:59:58	69.592	90.396	4.9	90 км к востоку-юго-востоку от Норильска, Таймырский АО
47	Галит А-3-1	29.3.76	07:00:29	49.6	45.0	4.4	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
48	Галит А-4	29.7.76	04:59:58	47.8967	48.1333	HFS	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
49	Ока (Нева)	26.7.77	05:00	47.782	48.120	5.9	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
50	Метеорит-2	26.7.77	16:59:58	69.532	90.583	4.9	90 -- 120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская АССР
51	Метеорит-5	10.8.77	21:59:59	50.923	110.761	5.2	90 км к востоку-северо-востоку от Норильска, Таймырский АО
52	Метеорит-3	20.8.77	22:00:00.1	50.9558	110.9833	5.0	80 км к юго-востоку от Хилка, Читинская обл.
53	Метеорит-4	10.9.77	21:59:59	64.233	99.577	5.0	40 км к юго-востоку от Туры, Эвенкийский АО
54	Галит А-5	30.9.77	16:00:03	57.294	106.240	4.8	70 км к юго-востоку от Усть-Кута, Иркутская область
55	Галит А-2-2	14.10.77	06:59:58.4	48.145	47.850	5.1	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
56	Галит А-2-3	30.10.77	07:00:00	-	-	3.42	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
57	Кратон-4	9.8.78	17:59:58	47.9086	47.9119	5.6	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
58	Кратон-3	24.8.78	17:59:57	63.706	125.321	5.1	100 км к западу-юго-западу от Сангара, Якутская АССР
59	Галит А-2-4	12.9.78	05:00:00	-	-	3.02	50 км к востоку от Айхала, Якутская АССР
60	Кратон-2	21.9.78	14:59:58	47.9086	47.9119	5.2	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
61	Вятка (Нева)	7.10.78	23:59:57	66.541	86.252	5.2	100 км к югу от Игарки, Красноярский край
62	Галит А-7	17.10.78	04:59:58	61.541	112.883	5.8	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская ССР
63	Кратон-1	17.10.78	13:59:58	47.818	48.114	5.5	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
64	Галит А-2-5	30.11.78	08:00:00	63.143	63.392	3.07	400 км к юго-юго-западу от Салехарда, Тюменская область
65	Галит А-9	18.12.78	07:59:56	47.9086	47.9119	6.0	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
66	Галит А-2-6	10.1.79	08:00:00	47.787	48.192	4.36	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
				-	-		180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
				47.9086	47.9119		

№ п/п	Название МАЭ	Дата	Время (по Гринвичу)	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Сейсмич. величина	Географическое положение
67	Галит А-8	17.1.79	07:59:57	47.985	48.212	6.0	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
68	Галит А-11	14.7.79	04:59:56	47.835	48.249	5.6	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область ^б
69	Кимберлит-4	12.8.79	17:59:59	61.909	122.087	4.9	390 км к западу от Якутска, Якутская АССР
70	Кимберлит-3	6.9.79	17:59:59	64.126	99.554	4.9	40 км к юго-западу от Туры, Эвенкийский АО
71	Кливаж	16.9.79	08:00:00	-	-	-	5 км к востоку от Енакиево, Донецкая область, Украина ^б
72	Кимберлит-1	4.10.79	15:59:58	60.650	71.525	5.4	150 км к юго-востоку от Ханты-Мансийска, Ханты-Мансийский АО
73	Шексна (Нева)	7.10.79	20:59:57	61.839	113.059	4.9	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская СССР
74	Галит А-10	24.10.79	05:59:56	47.769	48.177	5.8	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область
75	Бутан	16.6.80	06:00	-	-	-	15 км к северо-западу от Мелеуза, Башкирская АССР ^б
76	Бутан	25.6.80	06:00	-	-	-	15 км к северо-западу от Мелеуза, Башкирская АССР ^б
77	Вега-1Т	8.10.80	05:59:57 06:00:00.3	46.748	48.288	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
78	Батолит-1	1.11.80	12:59:58	60.826	97.537	5.2	120 км к юго-востоку от Байкита, Эвенкийский АО
79	Ангара	10.12.80	06:59:57	61.713	67.018	4.6	140 км к северо-западу от Ханты-Мансийска, Ханты-Мансийский АО
80	Пирит	25.5.81	04:59:57	68.182	53.689	5.5	50 км к северо-востоку от Нарьян-Мара, Архангельская область
81	Гелий-1	2.9.81	04:00:04	60.622	55.589	4.5	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская обл.
82	Вега-4Т	26.9.81	04:59:57 05:00:00.3	46.778	48.242	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
83	Вега-2Т	26.9.81	05:03:50 05:03:59.9	46.714	48.240	5.3	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
84	Шпат-2	22.10.81	13:59:57	63.755	97.570	4.9	140 км к западу-юго-западу от Туры, Эвенкийский АО
85	Риф-3	30.7.82	21:00:02.3	53.813	104.132	5.1	160 км к северу от Иркутска, Бурятская АО
86	Риф-1	4.9.82	17:59:58.4	69.206	81.647	5.2	190 км к западу от Дудинки, Таймырский АО
87	Риф-4	25.9.82	17:59:57.1	64.313	91.834	5.1	30 км к юго-востоку от Норильска, Красноярский край
88	Нева-1	10.10.82	04:59:57.8	61.555	112.833	5.3	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская СССР
89	Вега-7Т	16.10.82	05:59:57.2 06:00:00.1	46.730	48.197	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
90	Вега-6Т	16.10.82	06:04:57.3 06:05:00.1	46.748	48.215	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
91	Вега-5Т	16.10.82	06:09:57.10 06:10:00.1	46.754	48.270	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
92	Вега-3Т	16.10.82	06:14:57.40 06:15:00.2	46.743	48.213	5.4	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
93	Лира-1Т	10.7.83	03:59:57.1 04:00:00.0	51.327 51.3625	53.301 53.3061	5.3	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^г
94	Лира-2Т	10.7.83	04:04:57.2 04:04:59.9	51.336 51.3667	53.290 53.3272	5.3	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^г
95	Лира-3Т	10.7.83	04:09:57.1 04:09:59.9	51.357 51.3800	53.301 53.3397	5.2	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^г
96	Вега-8Т	24.9.83	04:59:56.9 05:00:00	46.773 46.7831	48.300 48.3152	5.1	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
97	Вега-9Т	24.9.83	05:04:56.8 05:05:00.0	46.763 46.7878	48.281 48.2972	5.0	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
98	Вега-11Т	24.9.83	05:09:57.7 05:10:00.1	46.872 46.7672	48.214 48.3106	4.9	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
99	Вега-13Т	24.9.83	05:14:56.9 05:14:00.1	46.748 46.7494	48.299 48.3025	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
100	Вега-10Т	24.9.83	05:19:57.0 05:19:59.9	46.772 46.7539	48.267 48.2894	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б
101	Вега-12Т	24.9.83	05:24:56.8 05:25:00.0	46.758 46.7658	48.257 48.2744	5.2	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^б

№ п/п	Название МАЭ	Дата	Время (по Гринвичу)	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Сейсмич. величина	Географическое положение
102	Лири-4Т	21.7.84	02:59:57.1 02:59:59.8	51.366 51.3683	53.253 53.3194	5.4	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^а
103	Лири-6Т	21.7.84	03:04:57.0 03:04:59.7	51.384 51.3905	53.271 53.3514	5.2	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^а
104	Лири-5Т	21.7.84	03:09:57.1 03:09:59.8	51.366 51.3714	53.276 53.3369	5.3	140 км к востоку от Уральска, Уральская область ^а
105	Кварц-2	11.8.84	18:59:57.4	65.079	55.287	5.3	100 км к западу от Печоры, Коми АССР
106	Кварц-3	25.8.84	18:59:58.5	61.876	71.092	5.4	100 км к западу от Сургута, Ханты-Мансийский АО
107	Днепр-2	27.8.84	05:59:57.0	66.770	33.680	4.5	20 км к северу от Кировска, Мурманская область
108	Гелий-2	28.8.84	02:59:55.5	60.826	57.472	4.4	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская обл.
109	Гелий-2	28.8.84	03:04:59	60.791	57.544	4.3	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская обл.
110	Кварц-4	17.9.84	20:59:57.4	55.835 55.8342	87.408 87.5261	4.9	50 км к юго-юго-западу от Мариинска, Кемеровская область ^г
111	Вега-14	27.10.84	05:59:58.6	47.044	47.919	5.0	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^в
112	Вега-15	27.10.84	06:04:57.1	46.843	48.023	5.0	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область ^в
113	Бензол	18.6.85	03:59:58.3	60.17	72.50		60 км к югу от Нефтеюганска, Ханты-Мансийский АО ^г
114	Агат (Кварц-1)	18.7.85	21:14:57.5 21:15:00.3	65.965 65.9939	40.754 41.0381	5.0	150 км к западу от Мезени, Архангельская область ^г
115	Гелий-3	19.4.87	03:59:57.2	60.250	57.083	4.5	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская обл.
116	Гелий-3	19.4.87	04:05:55.7	60.813	57.548	4.4	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская обл.
117	Нева-2	6.7.87	23:59:56.7	61.501	112.803	5.1	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская СССР
118	Нева-3	24.7.87	01:59:56.8	61.478	112.753	5.1	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская СССР
119	Нева-4	12.8.87	01:29:56.8	61.455	112.760	5.0	90-120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская СССР
120	Батолит-2	3.10.87	15:14:57.4	47.605	56.227	5.2	320 км к юго-юго-западу от Актюбинска, Актюбинская область
121	Рубин-2	22.8.88	16:19:58.2	66.316	78.548	5.3	40 км к северо-востоку от Уренгоя, Ямало-Ненецкий АО
122	Рубин-1	6.9.88	16:19:58.6	61.331	47.955	4.8	80 км к востоку-северо-востоку от Котласа, Архангельская область

^а Фактические времена и положения основаны на статье В.С. Бочарова, С.А. Зеленцова, и Б.И. Михайлова «Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском экспериментальном испытательном полигоне», Атомная энергия, т. 67, № 3, сентябрь 1989 г.

^б Фактическое положение основано на географическом описании площадки.

^в Фактические времена и положения основаны на статье V.V. Adushkin et al., "Characteristics of Seismic Waves from Soviet Peaceful Nuclear Explosions in Salt", Institute of the Dynamics of the Geosphere, Russian Academy of Sciences, UCRL-CR-120929, April 1995.

^г Фактические времена и положения основаны на статье D.D. Sultanov, «Investigation of Seismic Efficiency of Soviet Peaceful Nuclear Explosions Conducted in Various Geological Conditions», Institute of the Dynamics of the Geosphere, Russian Academy of Sciences, July 28, 1993.

Приложение Б
 Мирные ядерные взрывы в Советском Союзе (по назначению)

№ п/п	Код МАЭ	Дата	Географич. положение	Мощность (кт)	Глубина (м)	Геология	Название (примечание)	Заказ-Чик ^а
А. Разработка методов выемки грунта при помощи ядерных взрывов								
А.1. Создание водохранилищ								
1	Чаган	15.1.65	Семипалатинский испытательный полигон, Казах. ССР	140	178	Песчаник	Кратер на ложе реки Шаган	МСМ
4	Сары-Узень	14.10.65	Там же.	1.1	48	Алевролит Сланец	Также назывался '1003'	МСМ
15	Скваж. 2Т	12.6.69	100 – 115 км к юго-юго-востоку от Сай-Утеса, Мангышлакская обл.	31	407	Мел	Возможно, новый испытательный полигон ^б	МСМ
17	Скваж. 5Т	12.12.70	Там же.	84	497	Мел	То же.	МСМ
18	Скваж. 1Т	23.12.70	Там же.	75	740	Мел	То же.	МСМ
А.2. Экспериментальные разработки по созданию каналов								
10	Телькем -1	21.10.68	Семипалатинский испытательный полигон, Казах. ССР	0.24	30.5	Сланец Песчаник	Также назывался 'Т-1', в скважине 2308	МСМ
11	Телькем -2	12.11.68	Там же.	3 x 0.2 .4	30.5	Сланец Песчаник	Также назывался 'Т-2', в скважинах 2305, 2306, 2307	МСМ
19	Тайга	23.3.71	Там же.	3 x 15	128	Аллювий Песчаник	Взрыв на канале Кама-Печора ^в	ММВР
А.3. Экспериментальные разработки по строительству плотин при помощи глубоких кратерообразующих взрывов								
42	Хрусталь	2.10.74	15 км к северо-западу от Айхала, Якутия	1.7	98	Известняк	Также назывался «Трубка»	МЦМ
43	Лазурит	7.12.74	Семипалатинский испытательный полигон, Казах. ССР	1.7	76	Кварцит Сланец	Скважина Р-1	МСМ
Б. Камуфлетные приложения								
Б.1. Стимуляция добычи нефти и увеличение эффективности извлечения нефти								
2	Бутан	30.3.65	15 км к северо-западу от Мелейза, Башкирская АССР	2 x 2.3	1341 1375	Известняк	«Грачевка-1», скважины 617, 618	МНП
3	Бутан	10.6.65	Там же.	7.6	1350	Известняк	«Грачевка-2», скважина 622	МНП
12	Грифон	2.9.69	10 км к югу от Осы, Пермская область	7.6	1212	Известняк	Оское нефтяное месторождение, скважина 1001	МНП
13	Грифон	8.9.69	Там же.	7.6	1208	Известняк	Оское нефтяное месторождение, скважина 1002	МНП
14	Ставрополь	26.9.69	100 км к северо-северо-востоку от Ставрополя, Ставроп. край	10	712	Глина	Газовое месторождение Тахта-Кагулта	МГП
49	Ока (Нева)	5.11.76	90 – 120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская АССР	15	1522	Доломит	В статье Бенца ^д указывался как ДСС	МГ
61	Вятка (Нева)	7.10.78	Там же.	13	1530	Доломит		МГ
73	Шексна (Нева)	7.10.79	Там же.	15	1545	Доломит	Скважина 47	МГ
75	Бутан	16.6.80	15 км к северо-западу от Мелейза, Башкирская АССР	3.0	1400	Известняк		МНП
76	Бутан	25.6.80	Там же.	3.0	1390	Известняк		МНП
79	Ангара	10.12.80	140 км от Ханты-Мансийска, Ханты-Ман.АО	15	2485	Песчаник		МГ
81	Гелий-1	2.9.81	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская область	3.2	2088	Известняк	Скважина 401	МНП
88	Нева-1	10.10.82	90 – 120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская АССР	16	1502	Доломит	Скважина 66	МГ
108	Гелий-2	28.8.84	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская область	3.2	2065	Известняк	Скважина 402	МНП

№ п/п	Код МАЭ	Дата	Географич. положение	Мощность (кТ)	Глубина (м)	Геология	Название (примечание)	Заказчик*
109	Гелий-2	28.8.84	Там же.	3.2	2075	Известняк	Скважина 403	МНП
113	Бензол	18.6.85	60 км к югу от Нефтеюганска, Хант.-Ман.АО	2.5	2859	Аргилит		МНП
115	Гелий-3	19.4.87	20 км к юго-востоку от Красновишерска, Пермская область	3.2	2015	Известняк	Скважина 404	МНП
116	Гелий-3	19.4.87	Там же.	3.2	2056	Известняк	Скважина 405	МНП
117	Нева-2	6.7.87	90 – 120 км к юго-юго-западу от Мирного, Якутская АССР	13	1527	Доломит	Скважина 61	МГ
118	Нева-3	24.7.87	Там же.	13	1515	Доломит	Скважина 68	МГ
119	Нева-4	12.8.87	Там же.	3.2	815	Соль	Скважина 101	МГ
Б.2. Опытные-промышленные исследования для разработки создания подземных емкостей в соляных пластах								
5	Галит А-1	22.4.66	180 км к северу от Астрахани, Гурьевская область	1.1	161	Соль		МСМ
9	Галит А-2	1.7.68	Там же.	27	597	Соль		МСМ
25	Галит А-3	22.12.71	Там же.	64	986	Соль		МСМ
Б.3. Остановка газовых фонтанов								
6	Урта-Булак	30.9.66	80 км к югу от Бухары, Бухарская область	30	1532	Глина	Урта-Булакское газовое месторождение	МГ
8	Памук	21.5.68	70 км к западу от Карши, Кашкадарьинская область	47	2440	Соль	Памукское газовое месторождение	МГ
26	Кратер	11.4.72	30 км к юго-востоку от Мары, Марыйская область, Туркмения	14	120	Аргилит	Марыйское газовое месторождение	МГ
27	Факел	9.7.72	20 км к северу от Краснограда, Харьковская область	3.8	2483	Соль	Крестищевское газовое месторождение	МГ
80	Пирит	25.5.81	50 км к северо-востоку от Нарьян-Мара, Архангельская область	37.6	1511	Глина	Кумжинское газовое месторождение	МГ
Б.4. Опытные-промышленные работы по созданию подземных емкостей								
7	Тавда	6.10.67	70 км к северо-северо-востоку от Тюмени, Тюменская область	0.3	172		Сейсмический источник*	МГП
16	Магистраль	6.25.70	70 км к северо-востоку от Оренбурга, Оренбургская область	2.3	702			МГП
24	Сапфир	22.10.71	40 км к западу-юго-западу от Оренбурга, Оренбургская область	15	1142	Соль	Скважина Е-2, или Дедуровка-1	МГП
37	Сапфир	30.9.73	Там же.	10	1145	Соль	Скважина Е-3, или Дедуровка-2	МГП
77	Вега-1Т	8.10.80	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область	8.5	1050	Соляной купол		МГП
82	Вега-4Т	26.9.81	Там же	8.5	1050	Соляной купол		МГП
83	Вега-2Т	26.9.81	Там же	8.5	1050	Соляной купол		МГП
89	Вега-7Т	16.10.82	Там же	8.5	974	Соляной купол		МГП
90	Вега-6Т	16.10.82	Там же	8.5	991	Соляной купол		МГП
91	Вега-5Т	16.10.82	Там же	8.5	1100	Соляной купол		МГП
92	Вега-3Т	16.10.82	Там же	13.5	1057	Соляной купол		МГП
93	Лири-1Т	10.7.83	140 км к востоку от Уральска, Уральская область	13.5	917	Соляной купол		МГП
94	Лири-2Т	10.7.83	Там же.	13.5	917	Соляной купол		МГП
95	Лири-3Т	10.7.83	Там же.	13.5	841	Соляной купол		МГП
96	Вега-8Т	24.9.83	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область	8.5	1050	Соляной купол		МГП

№ п/п	Код МАЭ	Дата	Географич. положение	Мощность (кт)	Глубина (м)	Геология	Название (примечание)	Заказчик ^а
97	Вега-9Т	24.9.83	Там же.	8.5	1050	Соляной купол		МГП
98	Вега-11Т	24.9.83	Там же.	8.5	920	Соляной купол		МГП
99	Вега-13Т	24.9.83	Там же.	8.5	1100	Соляной купол		МГП
100	Вега-10Т	24.9.83	Там же.	8.5	950	Соляной купол		МГП
101	Вега-12Т	24.9.83	Там же.	8.5	1100	Соляной купол		МГП
102	Лири-4Т	21.7.84	140 км к востоку от Уральска, Уральская область	13.5	846	Соляной купол		МГП
103	Лири-6Т	21.7.84	Там же.	13.5	955	Соляной купол		МГП
104	Лири-5Т	21.7.84	Там же.	13.5	1000	Соляной купол		МГП
111	Вега-14Т	27.10.84	40 км к северо-северо-востоку от Астрахани, Астраханская область	8.5	1000	Соляной купол		МГП
112	Вега-15Т	27.10.84	Там же.	8.5	1000	Соляной купол		МГП
Б.5. Глубокое сейсмическое зондирование структуры земной коры для разведки природных ресурсов								
20	Глобус-4	2.7.71	30 км к юго-западу от Воркуты, Коми АССР	2.3	542	Песчаник	Линия 1, Кинешма-Воркута	МГ
21	Глобус-3	10.7.71	140 км к юго-западу от Печоры, Коми АССР	2.3	465	Глина	То же.	МГ
22	Глобус-1	19.9.71	30 км к востоку-северо-востоку от Кинешмы, Ивановская обл.	2.3	610	Известняк	То же.	МГ
23	Глобус-2	4.10.71	80 км к востоку-северо-востоку от Котласа, Архангельская область	2.3	595	Алеврит	То же.	МГ
28	Регион-3	20.8.72	310 км к юго-западу от Уральска, Уральская область	6.6	489	Глина	Линия 2, Элиста-Бузулук	МГ
30	Регион-1	21.9.72	80 км к юго-юго-западу от Бузулука, Оренбургская область	2.3	485	(Соль)?	То же.	МГ
31	Регион-4	3.10.72	80 км к северу от Элисты, Калм. АССР	6.6	485	Глина	То же.	МГ
32	Регион-2	24.11.72	90 км к юго-юго-западу от Бузулука, Оренбургская область	2.3	675	(Соль)?	То же.	МГ
33	Регион-5	24.11.72	160 км к юго-юго-востоку от Кустаная, Кустанайская область	6.6	489	Известняк	То же.	МГ
34	Меридиан-3	15.8.73	90 км к юго-западу от Туркестана, Чимкентская область	6.3	600	Глина	Линия 4, Каратау-Тенгиз	МГ
35	Меридиан-1	28.8.73	100 км к востоку от Аркалыка, Тургайская область	6.3	395	Аргилит Алеврит	То же.	МГ
36	Меридиан-2	19.9.73	230 км к югу от Джекказгана, Чимкентская область	6.3	600	Аргилит Алеврит	То же.	МГ
40	Горизонт-2	14.8.74	190 км к северо-западу от Тазовского, Тюменская область	7.6	534	Глина	Линия 5, Воркута-Тикси	МГ
41	Горизонт-1	29.8.74	70 км к юго-западу от Воркуты, Коми АССР	7.6	583	Песчаник	То же.	МГ
45	Горизонт-4	12.8.75	120 км к юго-западу от Тикси, Якутская АССР	7.6	496		То же.	МГ
46	Горизонт-3	29.9.75	90 км к востоку-юго-востоку от Норильска, Таймырский АО	7.6	834	Соль	То же.	МГ
50	Метеорит-2	26.7.77	90 км к востоку-северо-востоку от Норильска, Таймырский АО	13	850	Соль	Линия 6, Диксон-Хилок	МГ
51	Метеорит-5	10.8.77	80 км к юго-востоку от Хилка, Читинская обл.	8.5	494	Гранит	То же.	МГ

№ п/п	Код МАЭ	Дата	Географич. положение	Мощность (кт)	Глубина (м)	Геология	Название (примечание)	Заказчик ^а
52	Метеорит-3	20.8.77	40 км к юго-востоку от Туры, Эвенкийский АО	8.5	600	Туф	То же.	МГ
53	Метеорит-4	10.9.77	70 км к юго-востоку от Усть-Кута, Иркутская область	7.0	550	Алеврит	То же.	МГ
57	Кратон-4	9.8.78	100 км к западу-юго-западу от Сангара, Якутская АССР	22	567	Аргилит Алеврит Песчаник	Линия 7, Березово-Усть-Мая	МГ
58	Кратон-3	24.8.78	50 км к востоку от Айхала, Якутская АССР	19	577	Известняк	То же.	МГ
60	Кратон-2	21.9.78	100 км к югу от Игарки, Красноярский край	16	886	Алеврит Песчаник	То же.	МГ
63	Кратон-1	17.10.78	400 км к юго-юго-западу от Салехарда, Тюменская область	2.3	593	Алеврит Песчаник	То же.	МГ
69	Кимберлит-4	12.8.79	390 км к западу от Якутска, Якут. АССР	6.5	962	(Соль)?	Линия 8, Ханты-Мансийск-Лена	МГ
70	Кимберлит-3	6.9.79	40 км к юго-западу от Туры, Эвенкийский АО	6.5	5	Туф	То же.	МГ
72	Кимберлит-1	4.10.79	150 км к юго-востоку от Ханты-Мансийска, Ханты-Мансийский АО	21	837	Глина	То же.	МГ
78	Батолит-1	1.11.80	120 км к юго-востоку от Байкита, Эвенк. АО	8	720	Доломит	Линия 9, р.Эмба-Колпачев-Олекминск	МГ
84	Шпат-2	22.10.81	140 км к западу-юго-западу от Туры, Эвенкийский АО	8.5	581	Доломит	Линия 10, р.Кыет-Тикси	МГ
85	Риф-3	30.7.82	180 км к северу от Иркутска, Бурятск. АО	8.5	854	Доломит	Линия 11, п-ов Ямал-Кяхта	МГ
86	Риф-1	4.9.82	190 км к западу от Дудинки, Таймыр. АО	16	960	Песчаник	То же.	МГ
87	Риф-4	25.9.82	30 км к юго-востоку от Норильска, Красноярский край	8.5	554	Габбро Доломит	То же.	МГ
105	Кварц-2	11.8.84	100 км к западу от Печоры, Коми АССР	9.5	759	Глина	Линия 12, Мурманск-Кизил	МГ
106	Кварц-3	25.8.84	100 км к западу от Сургута, Ханты-Мансийский АО	8.5	726	Глина	То же.	МГ
110	Кварц-4	17.9.84	50 км к юго-юго-западу от Мариинска, Кемеровская область	10	557	Гранит	То же.	МГ
114	Агат	18.7.85	150 км к западу от Мезени, Арханг. обл.	8.5	772	Гранит	То же.	МГ
120	Батолит-2	3.10.87	320 км к юго-юго-западу от Актюбинска, Актюбинская область	8.5	1002	Соляной купол	Линия 9, р.Эмба-Колпачев-Олекминск	МГ
121	Рубин-2	22.8.88	40 км к северо-востоку от Уренгоя, Ямало-Ненецкий АО	16	829	Глина	Линия 13, Костомукша-Уренгой	МГ
122	Рубин-1	6.9.88	80 км к востоку-северо-востоку от Котласа, Архангельская область	7.5	820	Ангидрид Доломит	Линии 14 и 13, Костомукша-Семипалатинск	МГ
Б.6. Опытные-промышленные работы по дроблению руды								
29	Днепр-1	4.9.72	20 км к северу от Кировска, Мурманская обл.	2.1	131	Апатитовая руда	«Апатиты-1»	ММУ
107	Днепр-2	27.8.84	Там же.	2 x 1.8	175	Апатитовая руда	«Апатиты-2»	ММУ
Б.7. Захоронение биологически опасных отходов нефтяных месторождений в глубоких геологических формациях								
38	Кама-2	26.10.73	30 км к западу от Стерлитамака, Башк. АССР	10	2026	Доломит		МНПП
39	Кама-1	8.7.74	Там же.	10	2123	Доломит		МНПП
Б.8. Производство трансураниевых элементов								
44	Галит А-2-1	25.4.75	180 км к северу от Астрахани, Гурьев. обл.	0.35	583	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
48	Галит А-4	29.7.76	Там же.	58	1000	Соль		МСМ
54	Галит А-5	30.9.77	Там же.	9.3	1503	Соль		МСМ

№ п/п	Код МАЭ	Дата	Географич. положение	Мощность (кт)	Глубина (м)	Геология	Название (примечание)	Заказчик ^а
55	Галит А-2-2	14.10.77	Там же.	0.10	582	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
56	Галит А-2-3	30.10.77	Там же.	0.01	582	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
59	Галит А-2-4	12.9.78	Там же.	0.08	584	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
62	Галит А-7	17.10.78	Там же.	73	971	Соляной купол	Два взрыва в одной скважине ^х	МСМ
64	Галит А-2-5	30.11.78	Там же.	0.06	585	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
65	Галит А-9	18.12.78	Там же.	103	630	Соляной купол		МСМ
66	Галит А-2-6	10.1.79	Там же.	0.5	581	Соляная пещера	Эксперимент в заполненной водой полости А-2	МСМ
67	Галит А-8	17.1.79	Там же.	65	995	Соляной купол	Два взрыва в одной скважине ^х	МСМ
68	Галит А-11	14.7.79	Там же.	21	982	Соляной купол	Три взрыва в одной скважине ^х	МСМ
74	Галит А-10	24.10.79	Там же.	33	982	Соляной купол	Два взрыва в одной скважине ^х	МСМ
Б.9. Эксперимент по декаплингу								
47	Галит А-3-1	29.3.76	180 км к северу от Астрахани, Гурьев. обл.	10	990	Соляная пещера	«Развязанный» взрыв в полости А-3	МСМ
Б.10. Опытно-промышленные работы по предотвращению внезапных взрывов угольной пыли и метана								
71	Кливаж	16.9.79	5 км к востоку от Енакиева, Донецкая обл.	0.3	903	Песчаник	В ссылке 1 указано, что время взрыва по Гринвичу 9:00	МУП
^а В этом столбце используются следующие сокращения: МСМ – Министерство среднего машиностроения (союзное министерство, ответственное за программу ядерного оружия и предшественник Минатома); ММВР – Министерство мелиорации и водных ресурсов; МЦМ – Министерство цветной металлургии; МНП – Министерство нефтедобывающей промышленности; МГП – Министерство газодобывающей промышленности; МГ – Министерство геологии; МНПП – Министерство нефтеперерабатывающей промышленности; ММУ – Министерство минеральных удобрений; МУП – Министерство угольной промышленности. ^б Олег Бухарин, «Неизвестный новый испытательный полигон», Известия, 23 января 1991 г. ^в V.V. Kireev, et al., "Group Excavation by Nuclear Explosions in Alluvial Media", IAEA-TC-1-4/14, in "Peaceful Nuclear Explosions IV", IAEA Panel, pp. 399-419, 1995. ^г D.D. Sultanov et al., "Instigation of Seismic Efficiency of Soviet Peaceful Nuclear Explosions Conducted in Various Geological Conditions", Institute of the Dynamics of the Geosphere, Russian Academy of Sciences, July 28, 1993. ^д Benz H.M., et al., "Deep Seismic Sounding in Northern Eurasia", EOS, vol. 7, No. 14, 1992, pp. 297 – 300. ^е Борис Литвинов, частное сообщение, май 1994 г. ^ж USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear Explosions, 1949 through 1990, RFCN-VNIIEF, Sarov, ISBN 5-851650-062-1, 1996.								

**ПРИЛОЖЕНИЕ В
СОВЕТСКАЯ ПРОГРАММА РАЗРАБОТКИ
ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ МИРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Недавно российское Министерство атомной энергии (Минатом) выпустило подробный перечень всех ядерных взрывов, проведенных Советским Союзом¹. В этом перечне приводятся даты, местоположение испытательной площадки, и обозначение скважины размещения или штольни для каждого взрыва. Кроме того, для каждого взрыва в перечне указаны общее назначение и мощность (или интервал мощностей) испытания. Если в испытаниях одновременно взрывались несколько устройств, то указывалось назначение и интервал мощностей для каждого устройства. Перечень подтверждает, что во время действия «Программы использования ядерных взрывов в народном хозяйстве» в СССР было проведено 40 испытаний на испытательных полигонах для разработки специальных ядерных взрывных устройств или методики их размещения для подобных применений. В таблице В.1 приводится перечень взрывов, проведенных для разработки таких взрывных устройств.

Все испытания для разработки устройств для мирных ядерных взрывов, кроме двух, проводились в районах Дегелен, Сары-Узень и Балапан Семипалатинского испытательного полигона. Два других были проведены на испытательном полигоне на Новой Земле. Как показано в таблице В.1, в трех этих испытаниях (28.05.67, 17.10.67, и 11.9.69) одновременно подрывалось по два устройства для МЯВ в одном комплексе штольни. Еще пять устройств для мирных ядерных взрывов подрывалось одновременно с одним или более устройствами для испытания ядерного оружия.

В таблице В.1 приводится также магнитуда сейсмической волны для 37 из этих взрывов по данным Международного сейсмического центра. По-видимому, у трех оставшихся взрывов мощность была слишком мала, чтобы они могли быть зарегистрированы и отождествлены как события Международного сейсмического центра.

Дополнительные данные о мощности и/или глубине проведения для некоторых из этих событий были опубликованы ранее в двух российских источниках^{2,3}, связанных с Минатомом. В работе² приводится перечень дат, местоположений и геологии 96 подземных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне в период с 1961 по 1972 год. Точные мощности указаны для 22 взрывов, для остальных указаны интервалы мощностей. Мощности для всех событий, за исключением одного, совпадают с указанными в перечне Минатома¹. В работе³ приводится подробный перечень всех подземных взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне в период с 1961 по 1989 год, включая 96 взрывов, перечисленных в работе². Для всех прочих событий указаны мощности или интервалы мощностей, которые также согласуются с данными работ^{1,2}, за некоторыми исключениями.

Используя значения мощностей для 19 взрывов из работы², все из которых, кроме четырех, были связаны с испытаниями ядерного оружия, и их сейсмические магнитуды по данным Международного сейсмического центра, Вержино⁶ вывел следующее общее соотношение между мощностью и магнитудой для взрывов в любой из трех областей Семипалатинского испытательного полигона:

$$M_b = 4.41 + 0.71 \log(W)$$

где M_b – сейсмическая магнитуда и W – мощность взрыва в кт, ошибка которого на уровне 2σ соответствует множителю 1,7 для мощности взрыва. Сейсмические мощности, приведенные в шестом столбце таблицы В.1 для 32 взрывов для разработки устройств мирного назначения на Семипалатинском испытательном полигоне, были рассчитаны по данным Международного сейсмического центра при помощи этого уравнения.

В работе² представлены глубины проведения многих испытаний для разработки устройств для мирных ядерных взрывов, перечисленных в таблице В.1, которые

показаны в седьмом столбце. Глубины проведения, масштабированные по кубическому корню, показанные в восьмом столбце, были рассчитаны по сейсмическим мощностям (или по реальным, если таковые известны), кроме исключений, отмеченных в таблице, известных из недавней публикации Адушкина и Спивака⁷ из российского Института динамики геосферы. В этом докладе представлены сведения по большому количеству ядерных взрывов в СССР, которые были проведены на глубинах, соответствующих образованию кратеров или других нарушений земной поверхности. В дополнение к тем МЯВ для изучения образования кратеров, которые рассматривались в разделе 3 основного текста статьи, Адушкин и Спивак привели данные о многих таких взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне, включая семь испытаний для разработки устройств для МЯВ, перечисленных в таблице В.1. В некоторых случаях их данные согласуются с приведенными в работах^{1,3}, но в других они существенно отличаются. Следует особенно отметить такие данные:

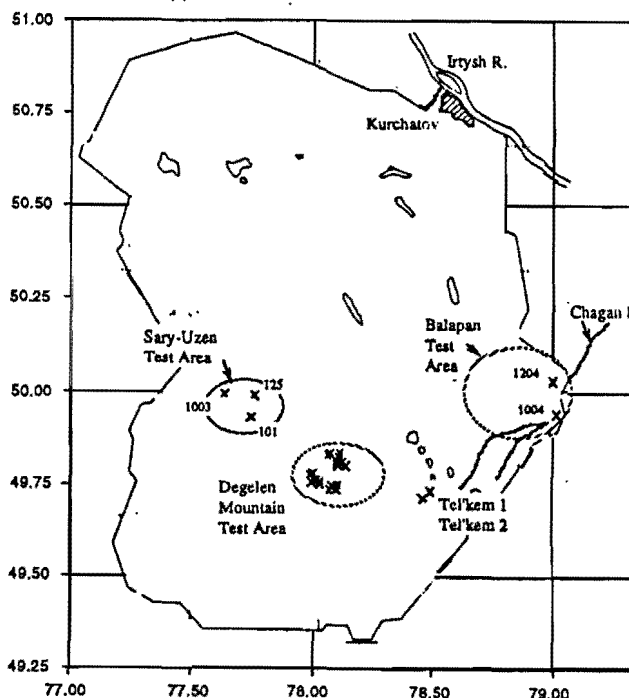


Рисунок В.1. Карта Семипалатинского испытательного полигона, показывающая три основных области и расположение испытаний для разработки устройств для мирных ядерных взрывов, а также взрывов для образования кратеров, проводившихся на Семипалатинском испытательном полигоне как части программы разработки ядерных взрывных земляных работ, описанных в основном тексте.

- ♦ Для события 18.12.66 в скважине 101 в Сары-Узеньской области Семипалатинского испытательного полигона Адушкин и Спивак приводят мощность около 80 кт, что согласуется с сейсмической мощностью, но они приводят глубину проведения в 228 м, значительно меньшую, чем 427 м в работе². Они описывают также геологию площадки как песчаник, покрытый слоем глины толщиной 40 м и супесью толщиной 7 м, а не порфиритом, как указано в работе². Данные Адушкина и Спивака соответствуют масштабированной глубине проведения только 59 м/кт^{1/3}, что согласуется с образованием кратера и выбросом газов при взрыве, описанными ими. В работе³ также указано, что при взрыве был динамический выброс. Диаметр кратера, образованного при взрыве, равнялся 145 м, а глубина – около 15 м, причем в центре кратера возник холм высотой 10 м.
- ♦ Для события 04.11.70 в скважине 125 в Сары-Узеньской области Семипалатинского испытательного полигона Адушкин и Спивак приводят мощность 19 кт,

что согласуется с сейсмической мощностью, но они приводят глубину проведения в 151,3 м, значительно меньшую, чем 249 м в работе². Они описывают также геологию площадки как порфириновый массив, покрытый гравием и песком, и отложениями супеси толщиной 10 – 27 м, что согласуется с данными работы². Данные Адушкина и Спивака соответствуют масштабированной глубине проведения только 57 м/кт^{1/3}, что согласуется с образованием кратера и выбросом газов при взрыве, описанными ими. В работе³ также указано, что при взрыве был выброс. При взрыве образовался кратер радиусом 95 – 105 м и глубиной около 17,5 м, с холмом высотой 8 м в центре. Как отмечалось в основном тексте, этот взрыв был окончательным испытанием взрывных устройств, использованных в эксперименте «Тайга» по образованию кратеров на трассе канала Кама-Печора.

- ♦ Для события 10.12.72 в скважине 1204 в Балапанской области Семипалатинского испытательного полигона Адушкин и Спивак приводят мощность «около 150 кт», что согласуется с мощностью 140 кт, приведенной в работе¹, но они приводят глубину проведения в 378 м, значительно меньшую, чем 478 м в работе². Геология описывается как песчано-туфовая формация, покрытая 20 м аллювиальных отложений. Взрыв образовал купол, который поднялся до высоты в 32 м, и затем разрушился, что привело к раннему динамическому выбросу радиоактивных газов и образованию осыпного кратера радиусом 72 м и глубиной 26 м.
- ♦ Для события 23.07.73 в скважине 1066 в Балапанской области Семипалатинского испытательного полигона Адушкин и Спивак приводят мощность 150 кт и глубину проведения 465 м. Взрыв производился в гранитном массиве, покрытом аллювиальной глиной и супесью толщиной 13 м. Взрыв в твердой породе образовал купол, который перед разрушением поднялся до высоты в 19 м, но мгновенного выброса не было. Он привел к образованию осыпного кратера радиусом 110 м и глубиной 14 м.
- ♦ Для события 31.05.74 в скважине 1207 в Балапанской области Семипалатинского испытательного полигона Адушкин и Спивак приводят только масштабированную глубину в 92 м/кт^{1/3} и указывают, что взрыв произведен в скальной породе типа сланца. В работе³ указывается, что взрыв был полностью удержан, как и в скважине 1066, но он также привел к образованию осыпного кратера радиусом 98 м и глубиной 4,5 м.

Важно отметить, что многие из испытаний для разработки устройств для МЯВ проводились на масштабированных глубинах, много меньших, чем это требуется для полного удержания динамических эффектов взрыва, и для предотвращения мгновенного выброса радиоактивных газов ядерного взрыва. Хотя у США не было никакого опыта проведения ядерных взрывов на масштабированных глубинах от 60 до 90 м/кт^{1/3}, ожидается, что ядерные взрывы этого диапазона должны приводить к образованию купола, мгновенному выбросу радиоактивных газов, и большим нарушениям земной поверхности, как это и было описано Адушкиным и Спиваком. Применение столь малых масштабированных глубин проведения с их высокой вероятностью

выброса радиоактивных газов ядерного взрыва позволяет предположить, что эти взрывы вполне могли быть связаны с разработкой нового семейства взрывных устройств для выброса с малым выходом деления.

Как было показано в основном тексте, в советской программе МЯВ были разработаны специальные ядерные взрывные устройства или методы размещения для четырех общих назначений: взрывные устройства с малым выходом деления для взрывов нв выброс; взрывные устройства малого диаметра, выдерживающие высокие температуры и давления для тушения газовых фонтанов; взрывные устройства малого диаметра с малым содержанием трития для стимуляции месторождений углеводородов; и методы выброса продуктов деления далеко от места взрыва.

В восьмом столбце таблицы В.1 приведены комментарии для некоторых испытаний для разработки устройств для МЯВ и рассуждения о их возможных задачах, с учетом приведенных выше замечаний и общего графика проектов МЯВ в основном тексте.

На рисунке В.1 представлена карта Семипалатинского испытательного полигона с указанием трех основных областей испытаний – гор Дегелен, Балапан и Сары-Узень, и положений большей части перечисленных в таблице В.1 испытаний для разработки устройств для МЯВ, взятых из работы¹. Кроме того, на рисунке В.1 показаны положения четырех ядерных взрывов с образованием кратеров на Семипалатинском испытательном полигоне, описанных в основном тексте; кратера Шаган «1004», кратера Сары-Узень «1003», кратеров «Телькем-1» и «Телькем-2».

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear Explosions, 1949 through 1990, RFCN-VNIIIEF, Sarov, ISBN 5-85165-062-1, 1996.
2. В.С. Бочаров, С.А. Зеленцов, и Б.И. Михайлов «Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском экспериментальном испытательном полигоне», Атомная энергия, т. 67, № 3, сентябрь 1989 г.
3. Gorin, V.V., et al., "Semipalatinsk Test Site: A Chronology of Underground Nuclear Explosions and Their Primary Radiation Effects (1961-1989)", *Bulletin of the Center for Public Information on Atomic Energy*, Moscow, No. 9, (1993), pp. 21-32.
4. В ссылке 1 дан интервал мощности испытания для МЯВ 28.03.72 от 0,001 до 20 кт. а в ссылках 2 и 3 мощность равна 6 кт. Может быть важно, что испытание мирного ядерного заряда проводилось вместе с двумя испытаниями, относящимися к оружию, и 6 кт представляют полную мощность.
5. В ссылке 3 дается только интервал мощности <20 кт для испытания мирного ядерного заряда 16.12.74, а в ссылке 1 приводится мощность 3,8 кт.
6. Vergino, E.S., "Soviet Test Yields", EOS, Vol. 70, No. 48, (November 28, 1989).
7. Adushkin, V.V., and A.A. Spivak, Geologic Characterization and Mechanics of Underground Nuclear Explosions, Defense Nuclear Agency Contract No. DNA-001-93-0026, (June 1994).

Таблица В.1. Взрывы для разработки ядерных взрывных устройств мирного назначения в Советском Союзе.

Дата	Полигон	Скважина (туннель)	misc	Мощн. (сс. 2)	Мощн. (сейсм.)	Глубина (сс.2)	Глубина (расч.) ^а	Примечание
25.10.64	Н. Земля	Б		.001-20	-			
16.11.64	Дегелен	3-5	5.6	20-150	30		69 ^б	Испытание устройства для кратера Чаган?
17.6.65	Дегелен	Ж-1	5.2	.001-20	8	152	76	Испытание устройства для экскавации?
24.12.65	Дегелен	3-3	5.0	.001-20	4	213	134	
13.2.66	Дегелен	Е-1	6.1	125	152	297	59 ^б	Испытание мощного устройства для экскавации?
21.4.66	Дегелен	А-4П	5.3	.001-20	11	178	80	
7.5.66	Дегелен	№ 25	4.8	4	2	274	173 ^б	
29.6.66	Дегелен	3-6	5.6	20-150	30			Испытание устройства для Уртабулака?
19.8.66	Дегелен	3-1П	5.1	.001-20	6	134	74	Испытание устройства для экскавации?
3.12.66	Дегелен	№ 14 ^г	4.8	.001-20	2	153	121	
18.12.66	Сары-Узень	Скв. 101	5.8	20-150	58	427	53 ^б	Испытание устройства для экскавации?
20.4.67	Дегелен	№ 25П	5.5	20-150	22	225	80	Испытание устройства для экскавации?
28.5.67	Дегелен	№ 11П ^д	5.4	.001-20	16	262	104	Испытание устройства для стимуляции скважин?
15.7.67	Дегелен	506	5.4	.001-20	16	161	64	Испытание устройства для стимуляции скважин?
17.10.67	Дегелен	Б ^а	5.6	.001-20	30	181	58	Испытание устройства для Памука?
7.1.68	Дегелен	810	5.1	.001-20	6	237	130	Испытание устройства для экскавации?
9.11.68	Дегелен	606	4.9	.001-20	3			
18.12.68	Дегелен	508	5.0	.001-20	4	194	122	
13.4.69	Дегелен	№ 24П		.001-20				
4.7.69	Дегелен	710 ^г	5.2	.001-20	8	219	110	
11.9.69	Дегелен	503 ^д	5.0	.001-20	4	190	120	
27.11.69	Дегелен	511		.001-20				
29.12.69	Дегелен	Ш-1	5.1	.001-20	6	86	47	Испытание устройства для экскавации?
27.3.70	Дегелен	610	5.0	.001-20	4	138	87	Испытание устройства для экскавации?
28.6.70	Дегелен	705	5.7	20-150	42	332	96	Испытание устройства для экскавации?
6.9.70	Дегелен	502	5.4	.001-20	16	212	84	Испытание устройства для экскавации?
4.11.70	Сары-Узень	Скв.125	5.4	.001-20	16	249	57 ^б	Испытание устройств для «Тайги»; образован обвальный кратер
22.3.71	Дегелен	510П	5.7	20-150	42	283	81	Испытание устройства для экскавации?
9.4.71	Дегелен	148/1		0.23				Методика выброса для «Днепра-1»
28.3.72	Дегелен	191 ^г	5.1	.001-20	6	124	68	Испытание устройства для экскавации?; образован обвальный кратер
10.12.72	Балапан	Скв.1204	6.0	140	110	478	72 ^б	Испытание мощного устройства для экскавации?; образован обвальный кратер
23.7.73	Балапан	Скв.1066	6.1	150-1500	152	465 ^б	84 ^б	То же самое.
31.5.74	Балапан	Скв.1207	5.9	20-150	80		92 ^б	Методика выброса для «Днепра-2»
16.12.74	Дегелен	148/5	4.8	3.8	2			
8.6.75	Дегелен	165	5.5	.001-20	22			
18.8.83	Н. Земля	А-40 ^г	5.9	.001-20				
28.12.84	Балапан	Скв.1353 ^г	6.0	.001-20	110			

^а Рассчитана по сейсмической мощности и глубине из ссылки 2, кроме тех случаев, когда были известны фактические мощности. Данные из ссылки 7 использовались тогда, когда они казались более предпочтительными.

^б Приведенная глубина из ссылки 7.

^в Приведенная глубина рассчитана по указанной мощности.

^г Это испытание в мирных целях было проведено одновременно с испытанием в военных целях, и в том же туннеле.

^д Одновременно и в одном туннеле было проведено два испытания в мирных целях.

^е Указанные глубина и мощность взяты из ссылки 7. Мощность в 150 кт хорошо согласуется с сейсмической мощностью 152 кт, но в ссылке 7 указана приведенная глубина в 83.9 м/кт^{1/3}, хотя расчеты дают 87.5 м/кт^{1/3}.