

## ИЗ ИСТОРИИ СЕЙСМОПРОГНОЗА И В ИСТОРИЮ СЕЙСМОЗАЩИТЫ

**Клячко М.А.**

АНО «РАДАР», Санкт-Петербург, Россия, [marfazhirkina@vandex.ru](mailto:marfazhirkina@vandex.ru)

***Аннотация:** Описывается история несбывшегося краткосрочного сейсмического прогноза разрушительного для Петропавловска-Камчатского и Вилучинска землетрясения с эпицентром в акватории Авачинского залива и пятнадцатилетняя работа по оценке прогнозируемого бедствия, планировочной, конструктивной и функциональной уязвимости жилых домов, объектов жизнеобеспечения населения, потенциально опасных объектов и зданий управления ЧС. Разработанная программа превентивной безопасности предусматривает, прежде всего, сейсмоусиление зданий, определяющих безопасность населения при ночном сценарии землетрясения. Описываются разработанные и внедренные технологии сейсмоусиления зданий без заметных снижений их работоспособности. Мониторинг и контроль эффективности сейсмоусиления осуществляется с помощью специально-разработанного инструментария, что излагается в статье. Описываются также негативные психофизические факторы последствий землетрясений и вопросы подготовки людей к землетрясению.*

## FROM THE HISTORY OF EQ-FORECASTING AND INTO THE HISTORY OF SEISMIC PROTECTION

**Klyachko M.A.**

“RADAR” NPO, St. Petersburg, Russia, [marfazhirkina@vandex.ru](mailto:marfazhirkina@vandex.ru)

***Abstract:** The article describes the history of an unrealized short-term seismic forecast of a destructive earthquake for Petropavlovsk-Kamchatsky-City and Vilyuchinsk-City with an epicenter under of the Avacha Gulf and fifteen years of work to assess the probable disaster, the planning, structural and functional vulnerability of residential buildings, of life facilities, of potentially dangerous facilities and of buildings for emergency management. The developed preventive safety program provides, first of all, seismic reinforcement of buildings to provide the safety of the population during the night earthquake scenario. The developed and implemented technologies of seismic reinforcement without noticeable serviceability reducing of buildings are described. Monitoring and control of the effectiveness of seismic reinforcement is carried out with the help of specially developed tool-box. Negative psychophysical factors of earthquake consequences and issues of preparing people for an earthquake are also described.*

### 1. Предисловие

В начале 70-х Мао Цзедун объявил: «Товарищи сейсмологи! Предсказывайте – мы вас за это наказывать не будем.» и весь китайский народ стал помогать сейсмологам, наблюдая над различными предвестниками землетрясения и сообщая об этом сейсмологической службе страны. И действительно благодаря прогнозу землетрясения  $M=7.5$  4 февраля 1975 года, полностью разрушившим город Хайчэн, большинство его жителей удалось заблаговременно вывести из города. Погибло чуть более 2 тысяч человек вместо ожидаемых 150 тысяч, и этот столь эффективный прогноз поднял китайскую сейсмологическую науку на новый высочайший уровень –

появилась надежда, что разрушительные землетрясения можно предсказать. Однако Таншаньское землетрясение 28 июля 1976 года, погубившее 240 тысяч человек по официальным данным и более 800 тысяч по неофициальным подсчетам, окончательно разрушило мечту о возможности предсказать время, место и интенсивность катастрофических землетрясений одновременно.

## **2. Для советских сейсмологов невозможного нет**

Однако в 1985-1986 годах директор Института вулканологии Дальневосточного отделения Российской академии наук С.А. Федотов, объявил о землетрясении с  $M \sim 7.5$ , прогнозируемом в Авачинском заливе в ближайшие пять лет, которое будет разрушительным для Петропавловска-Камчатского, и добился официального признания этого прогноза. Соответствующее распоряжение Совета Министров Российской Федерации №2359 «О повышении сейсмостойкости объектов народного хозяйства Камчатской области» было подписано 21 ноября 1986 года.

Действительно, сейсмичность территории Петропавловска-Камчатского для средних грунтовых условий на 1 июля 1970 года была повышена с VIII до IX баллов, причем землетрясения высокой повторяемости (особенно землетрясения интенсивности  $I=VII-VIII$  в 1952, 1959 и 1971 годах) снизили сейсмостойкость существующих зданий. Для выполнения правительственного Постановления в области был создан Координационно-методический Совет (КМС). Для научного обеспечения и успешного решения комплексной задачи по повышению сейсмостойкости зданий и подготовке к прогнозируемому землетрясению Госстрой СССР создал Камчатский филиал ДальНИИС (КамЦентр), который с 1992 года стал Федеральным научно-исследовательским центром по сейсмостойкому строительству и инженерной защите от стихийных бедствий (ФГУП НТЦСС). КамЦентр запросил Институт Физики Земли РАН уточнить сценарии ожидаемого землетрясения. Группа сейсмологов под руководством А.В.Николаева разработала 6 сценариев вероятного сейсмического события. Кроме того, в институте ВостокСибТИСИЗ (Иркутск) была разработана и утверждена карта сейсмомикрорайонирования (СМР) Петропавловска-Камчатского.

В соответствие со СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах» и макросейсмической шкалой MSK-64 расчетная сейсмичность района и строительных площадок (карты ОСР и СМР) представлялась детерминистическим путем через понятие интенсивности (силы) землетрясения, вызывающей соответствующую реакцию людей, предметов быта, зданий и природного окружения.

## **3. Первый блин комом**

Выполняя поручение Правительства, более 40 министерств и ведомств страны, владеющих жилыми и офисными зданиями в Петропавловске, разработали проекты

сейсмоусиления своих зданий. Однако, все эти проекты были признаны непригодными к реализации, поскольку основывались на опыте реконструкции Ташкента после землетрясения 1966 года [1], где применялись два способа усиления несущих стен: двустороннее торкрет-бетонирование по арматурной сетке или поэтажное обжатие зданий по их периметру поясами из стальных швеллеров. Первый способ был трудоемким и дорогостоящим, второй – малоэффективным и, самое главное, оба метода требовали полного прекращения эксплуатации здания на длительное время. В Петропавловске не было маневренного фонда для переселения такого большого количества людей, не было возможности быстро нарастить объемы заводского производства и строительства новых крупнопанельных домов. Тем временем более года было потеряно, землетрясения не произошло, что, по мнению С.А.Федотова, увеличило вероятность разрушительного сейсмического события в ближайшие годы.

#### **4. Организация работ по подготовке к землетрясению**

Полтора года были потеряны и в 1988 году Государственный комитет по науке и технике дал постановление о разработке проектных решений по повышению сейсмостойкости существующих жилых зданий, школ и больниц в зоне ожидаемого землетрясения без остановки их эксплуатации. Одновременно был объявлен международный конкурс на поиск лучших зарубежных методов и технологий для достижения этой цели. Этот конкурс выиграла Югославия. Рассмотрев предложения нескольких строительных югославских организаций, партнером КамЦентра стала компания «Adriacoop» (Белград), а научным компаньоном известный профессор Бошко Петрович. В 1990 году было создано российско-югославское совместное предприятие «Adriakampacific».

В 1993-1994 гг. ФГУП НТЦСС разработал ФЦКП «Сейсмозащита» для обеспечения устойчивой безопасности наиболее сейсмоактивных урбанизированных районов страны, которая была утверждена Постановлением Правительства РФ 26.06.1995г. № 606 и успешно реализована до 2002 года.

#### **5. Программный подход и исходная база данных**

Работы по сейсмоусилению зданий начались не с нуля, им предшествовали целевые НИОКР с внедрением их в практику. В 1986 году в КамЦентре была разработана программа превентивной сейсмической безопасности (PRESS) [2, 3]. PRESS состоял из двух подпрограмм: Программы анализа рисков (PRANA) и Программы управления рисками (PRIMA). В рамках PRANA, используя разработанное «Методическое пособие по паспортизации существующих зданий» (КФ ДальНИИС, Петропавловск-Камчатский, 1987), паспортизация и сертификация по конструктивным типам и сейсмической уязвимости жилых и ответственных гражданских зданий были

проведены к концу 1988 года. Методика и результаты этой работы были доложены и одобрены на Всесоюзной конференции «Сейсмостойкость эксплуатируемых сооружений» (СЭС-90) и представлены на 9-ой Европейской конференции по сейсмостойкому строительству (Москва, 1990) [4], запрошены и переданы для использования администрации других сейсмоопасных районов СССР и затем широко использованы в проекте ЮНЕСКО «RADIUS» для диагностики городов от землетрясений, где Петропавловск принимал участие в качестве города-донора. Некоторые результаты и локальные особенности застройки Петропавловска перечислены ниже:

- по результатам паспортизации определены конструктивные типы гражданских зданий города; для каждого типа зданий определен класс конструктивной уязвимости [5]; базовые объекты для анализа безопасности (БАОБАБы) выбраны по следующему правилу – «одни и те же типы зданий в разных грунтовых условиях и разные типы зданий в одинаковых грунтовых условиях» [6]; на большинстве БАОБАБОВ установлены станции инженерно-сейсмометрической службы;

- результаты комплексного обследования жилого фонда, зданий управления, ключевых объектов жизнеобеспечения и потенциально-опасных объектов, а также анализ планировки города позволили оценить планировочную уязвимость застройки и классифицировать эти здания по уровню сейсмостойкости «усс/ler, erl», установив таким образом четкую связь «интенсивность – повреждаемость зданий»; при этом единственно определяющим эту взаимосвязь является планировочная и конструктивная уязвимость, 10-ти разрядная классификация которой предложена автором после землетрясения 24.11.1971 года;

- здания, возведенные с нарушением строительных норм, не отвечающие требованиям регулярности и склонные к прогрессирующему обрушению были отобраны в специальный список;

- в каменных зданиях со стенами из шлакобетонных камней выявлена низкая адгезия кладочного раствора из-за отсутствия пластификаторов (извести); кладка каменных зданий повсеместно отнесена в 3-ей категории;

- кладка пустотелых камней не подлежит сверлению;

- наиболее уязвимыми признаны кирпичные здания, а затем крупноблочные, возведенные по сейсмическим нормам до 1970 года;

- по результатам исследования последствий землетрясения 24.11.1971, M=7.2 в Петропавловске:

- крупнопанельные жилые дома (КПД) признаны достаточно сейсмостойкими, не требующими дополнительного сейсмоусиления; это землетрясение выявило высокую

сейсмостойкости КПД, что не мог правильно предсказать С.В. Медведев, который в шкале MSK-64 записал, что сейсмостойкости КПД ниже, чем у каркасных зданий;

- отмечены и статистически изучены важные психофизические факторы последствий землетрясения, среди которых паника даже среди молодых людей (на примере курсантов мореходного училища, выпрыгивающих из окон с 4 этажа), а также многочисленные случаи беспричинного травматизма, самопроизвольного прерывания беременности и обострения хронических заболеваний после землетрясения на фоне тревожного ожидания афтершоков, что было названо «сейсмофобией» (военный врач Константин Раев и автор);

- здания центральной областной больницы, основного объекта медицины катастроф расположены на подверженных динамическому разжижению тиксотропных грунтах в самом сейсмоопасном месте города;

- составлен адресный список наиболее уязвимых жилых домов, детских и медицинских зданий и объектов жизнеобеспечения, подлежащих укреплению в приоритетном порядке;

- конструктивным материалом для всех строительных сооружений города являлся бетон на основе вулканического шлака Козельского месторождения ( $\gamma=1600-1800$  кг/м<sup>3</sup>, В20÷В5), исследованного академиком Б.Г.Скрамтаевым [7] и дополнительно изучены Дальневосточным институтом строительства;

- по инициативе и под руководством проф. С.В.Полякова [8] в Петропавловске был создан полигон для натурных исследований зданий, оснащенных различными системами сейсмоизоляции, в том числе устройством так называемые «скользящий пояс» (Л.Ш.Килимник), «выключающиеся связи» (Я.М.Айзенберг) и «кинематические фундаменты» (Ю.Д.Черепинский), которые также рассматривались для сейсмозащиты существующих зданий;

- на основе анализа сценариев сейсмической опасности, установленных сейсмологами, был сделан вывод о том, что прогнозируемое сейсмическое воздействие главного толчка будет, вероятно, низкочастотным с большой длительностью (до 60-80 сек) с несколькими афтершоками, поэтому в качестве основного направления сейсмического усиления было выбрано повышение жесткости зданий.

## **6. Сценарный подход для оценки последствий землетрясений**

КамЦентр в 1986 году разработал компьютерную информационно-поисковую систему управления рисками «КИПСУР» [9] и несколько соответствующих вероятных сценариев катастроф (DISC), используя шесть возможных сценариев сейсмической опасности, полученных от сейсмологов. Позже усовершенствованный DISC «ОНЕГА» был разработан совместно с Ю. Шевченко из НИЦ-26. DISC «ОНЕГА» использовался

для оценки сейсмического бедствия на территории центральной части Петропавловска и для города Вилючинска. В DISC «ОНЕГА» учтены последствия повреждения, находящегося в морском порту, здания центрального холодильника с последующим распространением аммиака, от которого население никак не защищено. Здесь же проанализирован весьма вероятный вариант совпадения землетрясения и снежной пурги, то есть условий, в которых практически не функционирует городской транспорт. Одним из важных результатов этого сценария явилось также существенное улучшение совместной работы гражданских и военных органов в случае ЧС и в том числе строительство специального центра управления вероятной ЧС. Сценарий бедствия, построенный на сейсмическом событии «АВА» с эпицентром в Авачинской бухте повторяемостью 1 раз в 20000 лет оказался столь катастрофичным, что, учитывая его маловероятность, был исключен из дальнейшего рассмотрения в качестве рабочего DISC. DISC «ОНЕГА» дал хорошую возможность для численного моделирования потенциальных последствий при сейсмическом воздействии различной интенсивности, и мы смогли проанализировать эффективность предполагаемого усиления в случае ночного сценария, который оказался наихудшим с точки зрения социальных потерь и был принят в качестве основного рабочего сценария бедствия. В последующие годы исходная база и методы сценарного подхода непрерывно улучшались рисунок 1, в следствие чего повышалось качество разрабатываемых сценариев сейсмических бедствий [10 - 14].

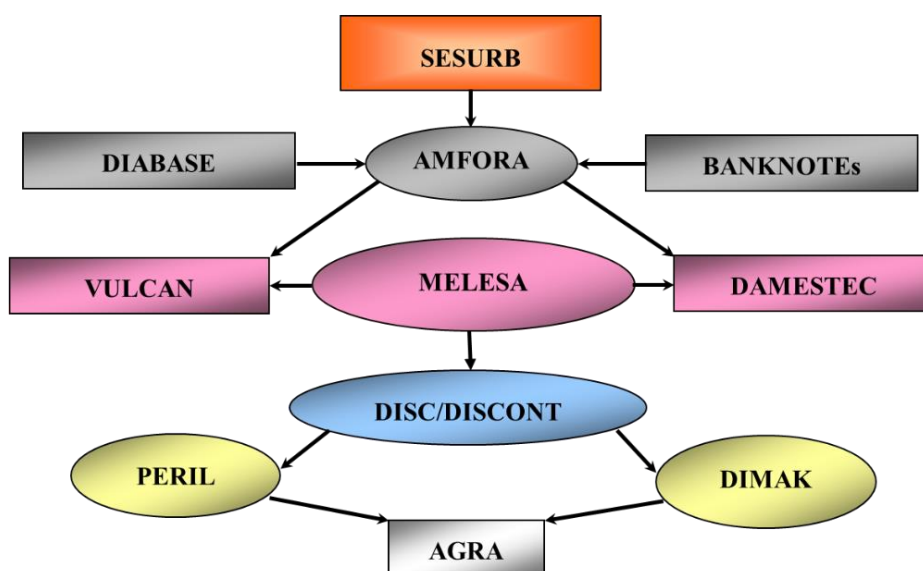


Рисунок 1. Схема анализа и контроля риска бедствий и устойчивого развития.

## **7. Методы и технологии сейсмоусиления**

Под руководством М.А.Клячко и Б. Петровича в СП «Adriakampacific» были предложены и внедрены в практику следующие методы сейсмоусиления.

### **7.1. Метод вертикального сверления и обжатия стен (ВСОС)**

*Тип строительства и назначение зданий:* типовые многоквартирные крупноблочные жилые дома серии 1-306с и 1-307с, жилые и гражданские (детские сады, школы и больницы) здания с несущими стенами из сплошных шлакобетонных камней; эффективное использование ВСОС возможно также для исторических зданий, фасады которых должны быть сохранены в первоначальном виде.

*Основная идея.* Повышение устойчивости несущих стен по периметру здания и его общей сейсмостойкости; предотвращение трещинообразования в кладке.

*Особые требования:* не превышение предельной прочности бетонных камней / кладки при расчетном сейсмическом нагружении с учетом вертикального обжатия стен.

*Описание и последовательность операций:*

- вертикальное сверление стен осуществляется сверху вниз длиной не более 15 м (включая заделку в ленточном фундаменте) с помощью специального оборудования при строгом геодезическом контроле; шаг скважин определяется расчетом с условием не менее одной скважины в каждом простенке;

- стальные тросы протягиваются сверху вниз и закрепляются в нише фундамента из подвала или с наружной стороны здания;

- тросы натягиваются до проектно-расчетного уровня;

- каналы заполняются под давлением снизу-вверх защитным цементным составом и затем закрепляются наверху стен.

### **7.2. Метод аппликаций**

*Тип строительства и назначение зданий:* жилые, общественные и производственные здания со стенами из шлакобетонных щелевых и сплошных камней, требующие улучшения фасадов и/или при невозможности использования метода ВСОС, в том числе большинство жилых домов серии 1-307с.

*Основная идея.* Такое увеличение жесткости и прочности наружных продольных несущих стен с тем, чтобы они стали достаточно сейсмостойкими, чтобы противостоять повышенной сейсмической нагрузке; при этом внутренняя продольная несущая стена не требует дополнительного сейсмического усиления, что обеспечивается за счет эффекта перераспределения горизонтальной сейсмической нагрузки между стенами в зданиях с достаточно жесткими перекрытиями.

*Особые требования:* монолитные плиты перекрытия предпочтительнее сборных.

*Описание.* Благодаря монолитным бетонным работам создается непрерывная или прерывистая жесткая железобетонная диафрагма / оболочка, хорошо соединяемая с существующей стеной стальными анкерами и бетонными шпонками.

### **7.3. Усиление с помощью контрфорсов**

*Цель и описание.* Система сборных или монолитных железобетонных контрфорсов возводится по оси поперечных стен здания с двух его сторон (попарно). В обязательном порядке парные контрфорсы устанавливаются по оси стен лестничных клеток, ослабленных дымовентиляционными каналами, что повышает безопасность эвакуации людей при землетрясении. Этот метод успешно применялся для повышения сейсмостойкости многоподъездных, длинных в плане жилых домов серии 1-306с и 1-307с, а также в зданиях с поперечными несущими стенами, сейсмостойкость которых была недостаточной. Благодаря надежному соединению контрфорсов со стеной (шпонки с анкером) на каждом этаже дополнительного соединения парных контрфорсов между собой не требовалось, но во избежание эффекта одиночного консольного биения парные контрфорсы соединялись над крышей тросом, натянутым с усилием 2500 кН. В большинстве случаев устройство контрфорсов применялось дополнительно при сейсмоусилении зданий методом ВСОС и методом аппликаций.

### **7.4. Специальные методы динамического демпфирования и сейсмоизоляции**

Для повышения выполнения ФЦКП «Сейсмозащита» были исследованы и разработаны проекты сейсмоусиления зданий массовой застройки нижеследующими методами.

**74.1.** Сейсмоусиление 4-5-этажных жилых домов из сплошных шлакобетонных камней и из бетонных блоков запроектировано с помощью динамического демпфирования сейсмического воздействия в двух вариантах:

- надстройка демпфирующего нежилого этажа («холодный» чердак), установленная на сейсмоизолирующих опорах системы Ю.И. Безрукова (для здания с плоской крышей);

- то же, но с жилым этажом (при гарантировано ограниченных сейсмических перемещениях этажа);

- посредством установки 4-х гидравлических демпферов типа МГД 215кН с маятниковыми опорами SIP (производства Maurer Söhne), которые устанавливаются на стальную горизонтальную раму, жестко соединенную со сборными плитами перекрытия, усиленного железобетонной стяжкой (для здания с чердаком и двухскатной крышей).



Подчеркивается, что, усиливаемое здание должно находиться в работоспособном состоянии, а подбор характеристик демпфера должен выполняться с использованием надежных параметров ожидаемого сейсмического воздействия.

Указанные методы и технологии сейсмоусиления (кроме последнего) были рассмотрены и утверждены на Ученом совете Госстроя России под председательством проф. С.В.Полякова в 1991 году [2, 15-18].

**7.4.2.** Пассивные сейсмоизоляционные системы, разработанные Л.Ш. Килимником и Я.М.Айзенбергом, не были рекомендованы для сейсмоусиления зданий на Камчатке, прежде всего из-за большого количества афтершоков, характерных для зоны субдукции; кинематические фундаменты Ю.Д.Черепинского были допущены к ограниченному использованию с добавлением элементов сухого трения, за исключением площадок с сейсмичностью более 9 баллов и для зданий, возведенных на основаниях, сложенных мягкими грунтами.

## 8. Результаты и эффективность сейсмоусиления

Для оценки эффективности выполненного сейсмоусиления использовали усовершенствованный инструментарий [10-14], в том числе математический метод логических оценок и системного анализа (MELOSA), методику оценки потерь, шкалу величины бедствия (ДИМАК) [19, 20] и сценарий контроля бедствий (DISCONT).

Количество сейсмоусиленных на первых этапах жилых и гражданских зданий и показатели их вместимости приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сейсмоусиления

	Количество	Показатели
Жилые дома	71	173 м <sup>2</sup>
Школы и детские сады	15	3 300 детей
Учреждения здравоохранения	7	1000 коек

Среднее население Петропавловска с 1987 по 2002 годы составляло около 260 000 человек. Жилья не хватало, но строительство новых сейсмостойких крупнопанельных домов серии 1-138с год за годом компенсировало этот недостаток. Надо отметить, что на первом этапе сейсмоусиления дополнительное внимание было уделено объектам обеспечения населения, прежде всего теплом и электроэнергией. Поэтому второй этап сейсмоусиления был очень важен для ускорения повышения сейсмостойкости жилых зданий, поскольку наихудшим сценарием землетрясения был ночной.

На 2-м этапе сейсмоусиления (1996-1999) объем выполненных работ превысил предыдущий объем на 10%, при этом около 60% этого объема пришлось на сейсмоусиление многоквартирных жилых домов. Метод аппликации применялся более широко, поскольку его использование не только значительно повышало жесткость зданий, но и улучшало их теплозащиту и отделку фасадов.

Оценки эффективности усиления приведены в таблице 2. Здесь был реализован ночной DISC в Петропавловске с макросейсмической интенсивностью  $I = IX$ .

Обращаем внимание, что в процессе увеличения объема и уровня сейсмического усиления его эффективность снижается и наступает момент «насыщения», то есть параметры устойчивости города не улучшаются. Это связано с особенностью методики

Таблица 2 – Эффективность сейсмоусиления зданий для уменьшения вероятного бедствия

Период	Последствия землетрясения				Оценка бедствия по шкале DIMAK		
	Убито	Ранено	Без крова	Мат. ущерб (\$, млн)	$M_d$	Термины оценки бедствия	Оценка допустимости бедствия
До PRESS, 1990	3 000	14 000	100 000	8 000	5.63	Большое бедствие национального масштаба	Недопустимое
PRESS, 1-й этап, 1995	2 000	6 000	65 000	4 200	5.29	Большое бедствие национального масштаба	Недопустимое
PRESS, 2-ой этап, 1999	200	1 500	9 000	1 200	4.29	Бедствие территориального масштаба	Частично допустимое
PRESS, 3-й этап, 2005	50	200	5 000	1 000	3.95	Бедствие местного масштаба	Допустимое

оценки потерь, которая базируется на реальных последствиях разрушительных землетрясений, когда потенциальное число жертв напрямую не связано с уровнем конструктивного повреждения зданий.

В сейсмоопасных районах, не имеющих опыта повреждающих землетрясений, в рамках MELOSA вместо или в дополнение к БАОБАБам следует использовать аналогичные по конструкции здания (SIB), обследованные после повреждающих землетрясений в других районах мира. Для поиска SIB может быть использована Всемирная энциклопедия жилища в сейсмических районах (WHE), но предпочтительнее в каждой стране составить целевой национальный каталог SIB в дополнение к БАОБАБам, назначенным для каждой сейсмоопасной урбанизированной

территории со специфической застройкой. Новые методы и технологии сейсмического усиления и промежуточные результаты готовности Петропавловска к прогнозируемому землетрясению были представлены на выставке 10ECEE (Вена, 1994) [21]. Помимо проекта «RADIUS», вышеупомянутый инструментарий был реализован для анализа рисков в рамках межправительственной программы «СейсмоПолис» по обеспечению сейсмической безопасности столиц и крупных городов стран СНГ. В 1996 году Ассоциация «Надежность и безопасность» совместно с «Центром изучения экстремальных ситуаций» разработала на базе ГИС «Экстремум», усовершенствованный DISC для Петропавловска и соответствующий сценарий реагирования, включающий расчет необходимых сил и средств для ликвидации чрезвычайной ситуации [22]. Недостатком большинства разработанных сценариев бедствия было и до сих пор остается отсутствие бедственных последствий, вызываемых вторичными и/или сопутствующими вредоносными воздействиями (цунами, пожары, технические аварии, эпидемиологические заболевания и др.).

#### **9. Мониторинг и контроль качества и эффективности сейсмоусиления**

Проверка сейсмоусиления проводилась, прежде всего, путем постоянного мониторинга качества на всех этапах строительных работ. Особое внимание уделялось, например, геодезическому контролю при реализации метода ВСОС и при приготовлении и укладке бетонной смеси в опалубку «MEVA» при усилении методом аппликаций. Качество сцепления армированных бетонных аппликаций с усиливаемыми стенами неоднократно проверялось органами госэкспертизы опытным путем. Эффективность усиления каждого здания контролировалась путем измерения динамических параметров собственных колебаний до и после усиления. Учитывая сложные погодные условия Петропавловска-Камчатского, особое внимание уделялось качеству сейсмоусиления объектов жизнеобеспечения населения, зданиям медицины катастроф, а также актовым и спортивным залам в школах, которые были назначены для временной эвакуации населения. При этом указывалось на многочисленные конструктивные ошибки в типовых проектах школ, выявленные при обследовании Нефтегорского землетрясения. Лучшим доказательством эффективности сейсмоусиления были последствия землетрясений 1993 года, и в основном Кроноцкого землетрясения  $M=7.9$  05.12.1997 года, обследование которых показало отсутствие повреждений абсолютного большинства усиленных зданий ( $d=0$ ) и снижение их конструктивной уязвимости на 1-2 класса. Реакция БАОБАБов на эти землетрясения фиксировалась установленными на них инженерно-сейсмометрическими станциями, при этом характеристики их собственных колебаний в результате воздействия этих нескольких землетрясений не изменились.

## **10. Обучение населения и подготовка ответственных лиц к бедственному землетрясению**

Понимая после уроков многочисленных камчатских землетрясений и, особенно, землетрясения 24.11.1971 года, важность готовности населения и ответственных лиц к вероятному бедствию КамЦентр/ФГУП НТЦСС уделяли этому важному вопросу большое внимание [23]. Прежде всего был переработан опросный лист населения, распространяемый после каждого ощутимого сейсмического события, поскольку предыдущие листы, разработанные сейсмологами в недостаточной степени или, даже неправильно давали варианты реакции строительных конструкций. Были разработаны и распространены целевые рекомендации по обеспечению безопасности Вашего дома (месторасположение и конструктивная надежность Вашего дома, сейсмобезопасность внутри жилища), по составлению «семейного плана» подготовки к землетрясению, по обеспечению безопасности недееспособных и инвалидов, по обеспечению безопасности матерей и грудных детей, по планированию и преодолению экономических последствий землетрясения, по обеспечению безопасности детей в дошкольных и школьных учреждениях, по обеспечению безопасности на предприятиях и в организациях, а также «Рекомендации для тех, кто думает о страховании от землетрясения, и всем остальным также». На областном телевидении еженедельно велась программа «Сейсобудильник», а энтузиасты организовали очень популярную ассоциацию «Спасемся своими руками», усилиями которой во многих квартирах закреплены шаткие, неустойчивые предметы (телевизоры, вазы, посуда, шкафы) быта. Для сейсмобезопасности школ рекомендован их перевод на односменное обучение и назначен ответственный за управление детьми в условиях ЧС. Как правило, таким ответственным назначался мужчина – физрук, поскольку, как показал практический опыт и учения, женский персонал, представляющий большинство детских и лечебных учреждений, в случае ЧС в рабочее время бежит к месту нахождения своих детей. Важным аспектом подготовки к землетрясению явилось обучение медицинского персонала Центра медицины катастроф, что стало особо важным после уроков Спитакского землетрясения, когда врачи не были готовы к, например, к «синдрому сдавливания», возникающего у пострадавших извлеченных из завала.

## **11. Заключение**

1. Прошедшие десятилетия показали, что Институт Вулканологии ДВО РАН и, в частности, С.А. Федотов допустили профессиональную ошибку – разрушительное или даже сильно повреждающее землетрясение в акватории Авачинского залива не произошло и, действительно, краткосрочный прогноз места, времени и интенсивности

землетрясения одновременно пока невозможен, но благодаря этой ошибке инженеры-строители впервые смогли подготовить крупный город к разрушительному землетрясению путем эффективного превентивного сейсмоусиления ключевых уязвимых зданий.

2. Описанные в статье хорошо апробированные методы и технологии сейсмоусиления гражданских зданий, осуществляемые без остановки их нормальной эксплуатации, позволяют предотвратить нежелательные последствия (человеческие и денежные потери) вероятных землетрясений и обеспечить устойчивую сейсдобезопасность урбанизированных территорий.

3. Сейсмоусилению должна предшествовать разработка местной и национальной программы смягчения стихийных бедствий, такой как PRESS, которая содержит обобщенный междисциплинарный подход к повышению устойчивости сообщества к прогнозируемым землетрясениям.

4. Первоначальным мероприятием является обследование, паспортизация и сертификация застройки, рассматриваемой сейсмоопасной урбанизированной территории, на которой анализируется планировочная уязвимость, классифицируется по конструктивным типам жилья, общественная и производственная застройка, разрабатывается карта СМР и развивается инженерно-сейсмометрическая служба, назначаются БАОБАБы с указанием класса их конструктивной уязвимости и при необходимости, подбираются соответствующие объекты аналоги, имеющие опыт повреждающих землетрясений, а затем составляется список уязвимых зданий, которые должны быть усилены в приоритетном порядке, включая объекты жизнеобеспечения, ответственные и потенциально опасные объекты, для которых оценивается их функциональная уязвимость.

5. Основным инструментом анализа, мониторинга и контроля эффективности сейсмоусиления являются многочисленные сценарии бедствия (DISC), построенные на исходной базе данных (DIABASE), имеющихся на рассматриваемой территории, а при недостаточности исходных данных дополнительно привлекаются сторонние обобщенные знания и опыт (ОБОЗ/BANKNOTES). Приемлемое бедствие выбирается с помощью шкалы DIMAK, предварительно зная о страховой оценке одного пострадавшего в рассматриваемой стране. При этом важно правильно понимать суть макросейсмической шкалы, построенной на взаимозависимости «интенсивность – уязвимость - повреждаемость», а также запасы сейсмостойкости, предусмотренные в этой детерминистической шкале.

6. В сейсмоопасных районах без опыта сильных и разрушительных землетрясений в рамках MELOSA вместо или в дополнение к БАОБАБам должны

использоваться аналогичные по конструкции здания (SIB), исследованные после разрушительных землетрясений в других регионах мира.

7. При нормальных условиях долгосрочного сейсмического прогноза строительство нового современного жилого фонда взамен старых изношенных домов является наилучшим решением, но этот способ повышения устойчивости городов к землетрясениям очень сильно зависит от экономического потенциала государства и населения; поэтому баланс между объемом нового благоустроенного жилищного фонда и современных общественных зданий, с одной стороны, и количеством сейсмоустойчивых существующих зданий, с другой стороны, определяется технико-экономическим обоснованием и становится одним из основных положений национальной стратегии и программы типа PRESS/ФЦКП «Сейсмозащита».

8. В большинстве случаев для сейсмоусиления существующих зданий-памятников, объектов историко-культурного наследия рекомендуется использовать современные методы сейсмоизоляции и демпфирования (пассивные или даже активные); при этом мягкие грунты в основании здания являются, как правило, единственным ограничением для применения сейсмоизоляции.

9. Необходимо обращать специальное внимание (медицинское и статистический учет) на психофизические факторы, объединенные в настоящей статье термином «сейсмофобия», влияющие на рост негативных последствий землетрясений.

10. Вследствие различий в подготовленности к землетрясению, опыта перенесенных землетрясений, ментальных и/или культурных особенностей населения, в макросейсмической шкале предлагается игнорировать оценки последствий землетрясений, основанные на человеческом восприятии; также предлагается игнорировать индикаторы интенсивности землетрясения, основанные на реакции предметов быта, расположенных на первых этажах зданий, что объясняется распространением современных способов закрепления этих неустойчивых предметов (исключение составляют такие подвесные предметы, как люстры и др.).

11. Образование и подготовка населения, персонала детских и медицинских учреждений к вероятному бедствию является важным и неотъемлемым аспектом стратегии устойчивой безопасности; при этом образовательный процесс обязательно состоит из трех этапов: непосредственного обучения, показательных тренировок и многократного натаскивания (дриллинг).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мартемьянов А. И.** Способы восстановления зданий и сооружений, поврежденных землетрясением [Текст]. - Москва: Стройиздат, 1978. - 204 с.
2. **Клячко М.А.** Снижение ущерба от вероятных землетрясений и сейсмические нормы. Сб.тезисов ДВ сессии МСССС, Владивосток, 1989
3. **Клячко М.А.** (1993): Концепция уменьшения последствий стихийных бедствий на урбанизированных территориях и эталонная программа подготовки к землетрясениям. ЭИ «Сейсмостойкое строительство» выпуск 5, 1993, М., ВНИИТПИ, стр. 5-10
4. **Klyachko M.** Certification of buildings in seismically hazardous areas of Kamchatka region, 9ECEE, Moscow, Russia, 1990
5. **Klyachko M.** (1993): New lines of approach to the vulnerability assessment, seismic risk analysis management on the urban areas, International Conference "Continental Collision zone Earthquakes & EQ Hazard Reduction", Yerevan, Armenia, p.50
6. **Klyachko M., Uzdin A., Minchenko O., Dolgaya A.** (1993): Soil Conditions Effect on the Earthquake Vulnerability of the Civil Building, 2st Conference "Growth & Environment Challenging Extreme Frontiers", Montreal, Canada, p. 247
7. **Скрамтаев Б.Г.** Камчатский вулканический пепел. - Петропавловск-Камчатский: кн. ред. «Камчат. Правды», 1959
8. **Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В.** Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: «Стройиздат», 1989, - 320с.,
9. **Klyachko M., Gromov A., Polovinchik I. Shevchenko Y.** (1993): Computer information retrieval system for seismic risk and EQ-emergency situation management, International Conference on Continental Collision Zone Earthquakes and Hazard Reduction, Yerevan, Armenia, p. 29
10. **Клячко М.А.** Развитие экспертных методов для анализа и прогноза надежности и безопасности конструктивно-градостроительных систем. ЭИ «Сейсмостойкое строительство» выпуск 5, 1993, М., ВНИИТПИ, стр. 18-24
11. **Клячко М.А., Уздин А.М.** Проблемы повышения сейсмической надежности и безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений. ЭИ «Сейсмостойкое строительство», выпуск 5, 1993, М., ВНИИТПИ, стр.47-55
12. **Klyachko M.** (1993): The problems of Natural and Man-Made Risk Analysis and management; GIS & EQ-scenarios, 8th International Seminar on Earthquake Prognostics, Tehran, Iran, p.11-12
13. **Klyachko M., Koff G., Polovinchik J.** (1993): Development of Earthquake Disaster Scenarios (EQ DISC) for Analysis and Management of Seismic Risk for Urbanized Areas, 1st Egyptian Conference on Earthquake Engineering, Cairo, Egypt, pp.505-514
14. **Klyachko M.** (1995): The development of GIS, EQ-DISC and DIMAK as the best tools for seismic risk analysis on the urban areas. 5th International Conference Seismic Zonation, Nice, Quest Editions, v.1, p. 158-165
15. **Клячко М.А.** 0 нетрадиционных методах повышения сейсмостойкости эксплуатируемых зданий. Сб.тезисов ДВ сессии МСССС, Владивосток, 1989
16. **Klyachko M., Petrovich B.** (1991): Preventive Seismic Strengthening of Civil Structures in Petropavlovsk-Kamchatsky, 1st. International Conference on Seismology & Earthquake Engineering, Tehran, Iran, p. 124
17. **Klyachko M.** Система превентивного антисейсмического усиления эксплуатируемых зданий и сооружений. ЭИ «Сейсмостойкое строительство», выпуск 5, 1993, М., ВНИИТПИ, стр.55-58
18. **Klyachko M., Uzdin A., Izrahmetova I.** (1993): Estimating the Seismic Resistance and Seismic Strengthening of the Bridges under Operation, 8th International Seminar on Earthquake Prognostics, Tehran, Iran, p.8

19. **Клячко М.А.** Основные положения и практика использования шкалы бедствий. Сб. «Специальное и подземное строительство», ЦНИИПромзд-й М., стр.56-64, 1994 1
20. **Klyachko M., Klyachko I.** (1996): *The DIMAK Scale for Disaster Magnitude Measuring in service. Proceedings of WC on NDR, ASCE, Washington, USA, pp.76-77*
21. **Klyachko M.** (1995): *Preventive aseismic strengthening of the structures: from problems and approaches to implementation. Proceedings of the 10th ECEE, Balkema, Rotterdam, Vol. 3 (ISBN 90 5410 531 3), pp.2287-2292*
22. **Klyachko, M., Larionov, V., Sutshev, S., et.al.** (2005): *Risk Mapping and Disaster Scenarios Development for Urban Seismo-Prone Areas of Russia. Proceedings of the 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisbon Portugal, p. 188-193*
23. **Клячко М.А.** Землетрясение и мы. С-Петербург, РИФ «Интеграф», 1999, стр. 224
24. **Мырзаев Т.К., Миталипов Т.Н.** Анализ последствий землетрясений, произошедших на юго-западной территории Кыргызской Республики. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 2 (10). – С.62-77.
25. **Тяпин А.Г., Антонов Н.А.** «Скрытый» параметр программы SASSI и его влияние на сейсмическую реакцию сооружений. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 2 (10). – С.46-54.
26. **Тяпин А.Г., Антонов Н.А.** Влияние податливости фундаментной плиты на сейсмическую реакцию сооружений. Часть I: Сооружение типа "матрешки". – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.32-46.
27. **Немчинов Ю.И., Фаренюк Г.Г.** Государственные нормы ДБН В.1.1-12:2014 «Строительство в сейсмических районах Украины» и опыт высотного строительства с учётом рекомендаций европейского кода (Еврокод 8). – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.29-31.
28. **Корчубай у. Э.** Разработка методики оценки сейсмического риска существующих школьных зданий. – Вестник Международной Ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – Б.: МАЭСС, 2020. – № 1 (9). – С.17-28.