

Бержинская Л. П., канд. техн. наук, вед. инж., доц.,
Ружич В. В., д-р геол.-минерал. наук, гл. науч. сотр.,
Саландаева О. И., вед. инж., доц.,
(ФГБУН ИЗК СО РАН, г. Иркутск),
Акбиев Р. Т., канд. техн. наук
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ

В статье отражены методические принципы, позволяющие прогнозировать уровень сейсмобезопасности на урбанизированной территории в зависимости от сейсмической ситуации и инфраструктурной уязвимости объектов и систем. Описаны основные факторы, влияющие на сейсмическую уязвимость населения, застройки и территории в целом. Введено понятие сейсмического износа сооружений и приведены методы оценки фактической сейсмостойкости зданий. На примере городов Иркутской области, расположенных в сейсмоопасной зоне, дана обобщенная оценка градостроительной уязвимости застройки. Предполагается, что реализация предложенной методики позволит получить научно-обоснованные показатели сейсмического риска на урбанизированной территории и способствует выработке практических решений по достижению приемлемого уровня сейсмобезопасности в регионе.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, комплексная оценка, градостроительная уязвимость, паспортизация застройки, сейсмический износ, фактический уровень сейсмостойкости, показатели сейсмического риска

Указом Президента Российской Федерации от 7 октября 2022 г. № Пр-1883 дано поручение Правительству представить предложения «...об определении критериев, на основании которых признаются аварийными и подлежащими сносу многоквартирные дома в случае, если их сейсмостойкость не отвечает установленным требованиям, ... исходя из необходимости соблюдения требований к безопасности зданий и сооружений». Следовательно, выработка основных критериев оценки уязвимости зданий, позволяющих характеризовать степень опасности или безопасности строений, в том числе в сейсмических районах, способствует снижению социальной угрозы, обеспечению уровня приемлемого сейсмического риска, минимизации возможных потерь при чрезвычайных ситуациях на урбанизированных территориях.

Конечно, рассматривая с градостроительных позиций устойчивое функционирование и дальнейшее развитие городских территорий, необходим более всесторонний, комплексный подход к проблеме, который складывается, как в изучении и прогнозировании вероятных проявлений сейсмической актив-

ности, определении различных аспектов территориальной уязвимости, так и в выработке превентивных мероприятий, позволяющих управлять этой уязвимостью через отдельные объекты риска.

Таким образом, результатом разработки комплексной методики прогностической оценки региональной сейсмобезопасности является получение показателей сейсмического риска на конкретных урбанизированных территориях с определением для них социально-экономической составляющей вероятностных ущербов от возможных землетрясений в заданном интервале времени [1], [2].

Структурно-логическая модель анализа комплексной прогностической оценки региональной сейсмобезопасности территории и правовых градостроительных мероприятий по снижению сейсмического риска представлена на рисунке 1.

Сеймотектоническая опасность региона

Уровень потенциальной сейсмической опасности территорий в значительной степени зависит от близости расположения градостроительных объектов к зонам активных разломов (зонам возникнове-

ния очагов землетрясений (зонам ВОЗ)), в которых, в обозримом будущем, специалистами прогнозируется повышенная вероятность проявления сейсмической активности. Важно знать, насколько деструктивное влияние разломов может оказать воздействие на состояние объектов и инфраструктуру близко расположенных населенных пунктов. Как правило, уровень сейсмобезопасности территорий оценивают в сочетании с его социально-экономическими условиями. Любой сеймотектонический процесс не представляет серьезной опасности, если происходит на территории, где отсутствуют постоянные поселения и объекты хозяйственной деятельности. Нельзя также исключать вероятности воздействия на населенные пункты нескольких зон ВОЗ, с землетрясениями различной повторяемости и интенсивности, сопоставимыми с картами общего сейсмического районирования (карты ОСР). Такая сейсмологическая ситуация учитывается при расчетах сейсмического риска, так как величины социально-экономического ущерба в этом случае существенно возрастают.

Южная часть территории Иркутской



Рисунок 1-Структурно-логическая модель анализа комплексной прогностической оценки региональной сейсмобезопасности территории

области относится к высокосейсмичным районам Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), где весьма значимо негативное влияние разломов на проявление сейсмической активности и инфраструктурную уязвимость населенных пунктов. Исходная сейсмическая опасность территорий в диапазоне 6-9 баллов по картам ОСР-2015. За период цифровой регистрации в пределах БРЗ количество зафиксированных землетрясений в год приближается к 10 тыс., в том числе с относительно сильными событиями $M \geq 5$ [3], [1].

Современную тектонофизическую обстановку региона принято увязывать с активностью зон древних глубинных разломов, таких как: Главный Саянский, Приморский, Тункинский, Черского, Обручева, а также разломов сопредельной территории Северной и Центральной Монголии. Причем, максимальный энергетический потенциал таких разломов, как Главный Саянский и Тункинский, оценивается равным $M = 8,0$ и $7,5$ соответственно.

Несколько меньшая опасность исходит с северо-восточного фланга БРЗ. И хотя он также обладает высокой сейсмической активностью и сейсмическим потенциалом, но эпицентральное расстояние до крупных населенных пунктов Прибайкалья довольно значительное [1]. Конечно, величина интенсивности землетрясений за последние десятилетия была в основном ниже значений, отраженных на картах ОСР, хотя в отдельных населенных пунктах на юге области достигала 7 и 8 баллов по сейсмической шкале. Но с учетом того, что глубины очагов в пределах Байкальской рифтовой зоны составляют в среднем порядка 15-20 км, а эпицентральное расстояние от южных очагов до населенных пунктов и транспортных магистралей относительно небольшое – следует учитывать возможность негативных последствий даже от землетрясений с магнитудой $M \geq 5,0$.

Расширение и усиление хозяйственно-го освоения сейсмоактивных территорий ведет к пропорциональному увеличению

антропогенной нагрузки на среду и способствует нарастанию сейсмической опасности территорий. Резкое повышение сейсмического риска отдельных территорий связано также с размещением в сейсмоактивных регионах экологически опасных и критически важных объектов (КВО), поскольку даже землетрясения умеренной интенсивности могут создать проблемы их нормального функционирования.

Среднесрочный прогноз землетрясений

В Прибайкалье, где многочисленные промышленные зоны, крупные железнодорожные узлы, транспортные магистрали и т.п. расположены вблизи городов – сейсмический риск территорий остается стабильно высоким. Полностью исключить угрозу возникновения сильных землетрясений интенсивностью до 8-9 баллов, согласно картам ОСР, со стороны Главного Саянского и Приморского разломов, особенно опасных на небольших

удалениях в 100-120 км, нельзя [4].

Разработка методов среднесрочно-го прогноза землетрясений, возможных на территории БРЗ, более трех десятилетий проводятся специалистами ИЗК на основе обработки оперативных каталогов, составленных Байкальским филиалом Единой геофизической службы РАН (БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск) [5].

Изучение сейсмического режима направлено на: определение признаков подготовки умеренных и сильных землетрясений с $M \geq 5$; уточнение оценок параметров наиболее вероятного местоположения очагов прогнозируемых сценарных событий; на их возможные энергетические характеристики в магнитудных значениях и временной интервал ожидания. Для анализа сейсмического режима на стадиях подготовки опасных землетрясений ($M \geq 5$) применяется разработанная геоинформационная система «Prediction», основанная на известном методе распознавания образов. Примечательно, что для улучшения показателей среднесрочного прогноза привлекались экспериментальные и сейсмогеологические материалы, собранные в последние два десятилетия российскими и зарубежными специалистами. В итоге, расширены представления о геомеханических условиях подготовки очагов палеоземлетрясений, происходивших в недрах земной коры в прошлые эпохи сеймотектонической активизации и в современный период [6], [7].

На основании анализа совокупности собранных данных для исследуемого региона рассматривается возможность их использования с целью выяснения параметров сейсмического режима, происходящих в земной коре в период 1-11 лет, соответствующий рамкам среднесрочного прогноза. Использование геолого-геофизических данных и физического моделирования способствует обоснованию выводов о таких ответственных критериях, как выявление мест подготовки очагов землетрясений, особенно опасных на небольшом удалении от объектов инфраструктуры городов, и параметрах энергии и периода ожидания моментов возникновения опасных землетрясений [8], [9]. Результаты исследований о готовящихся опасных землетрясениях в ближайшие 1-11 лет, в пределах территории БРЗ, уже сейчас используются для оценок сейсмической опасности и сейсмического риска [9], [10]. В качестве обоснования результатов среднесрочно-

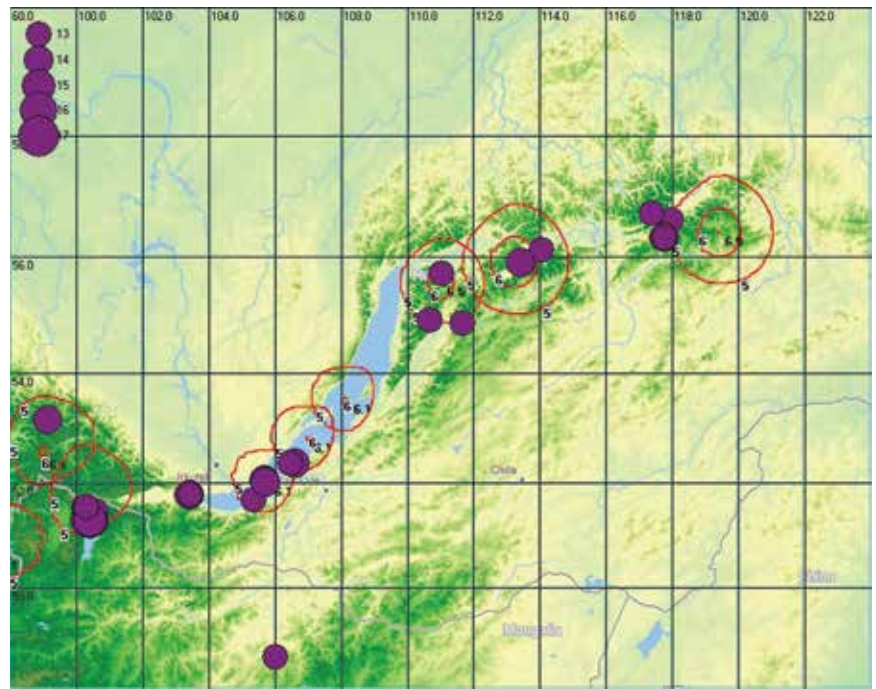


Рисунок 2 – Карта среднесрочного прогноза с указанием мест предполагаемых очагов землетрясений, представленная в органы МЧС Иркутской области три года назад. Места ожидания прогнозируемых землетрясений $K \geq 13$ или $M \geq 5,0$ указаны в виде изосейст красного цвета, рассчитанных с учетом энергии будущих толчков. В центре территорий изосейст от 5 баллов и выше; приведены значения прогнозируемой максимальной балльности. Кружками показаны эпицентры землетрясений, произошедших в БРЗ за период наблюдений 18.09.2019-20.01.2022. Энергетическая шкала эпицентров землетрясений дана в левом верхнем углу

го прогноза отметим, что за временной интервал 2019-2022 гг., процент совпадения эпицентров произошедших землетрясений с указанной энергией в места их ожидания, представленных на сеймопрогностической карте, составил 76% (рисунок 2).

Конечно, с позиций сейсмогеологических представлений, любые виды прогноза землетрясений, возникающих в нелинейной геологической среде, всегда остаются вероятностными. Однако они являются значимыми и востребованными, позволяющими выработать стратегии для принятия решений по избранию превентивных мер, направленных на снижение сейсмической опасности и сейсмического риска урбанизированных территорий. Аналогичные подходы к исследованиям в области среднесрочного прогноза в разных странах описаны в работах [11], [10].

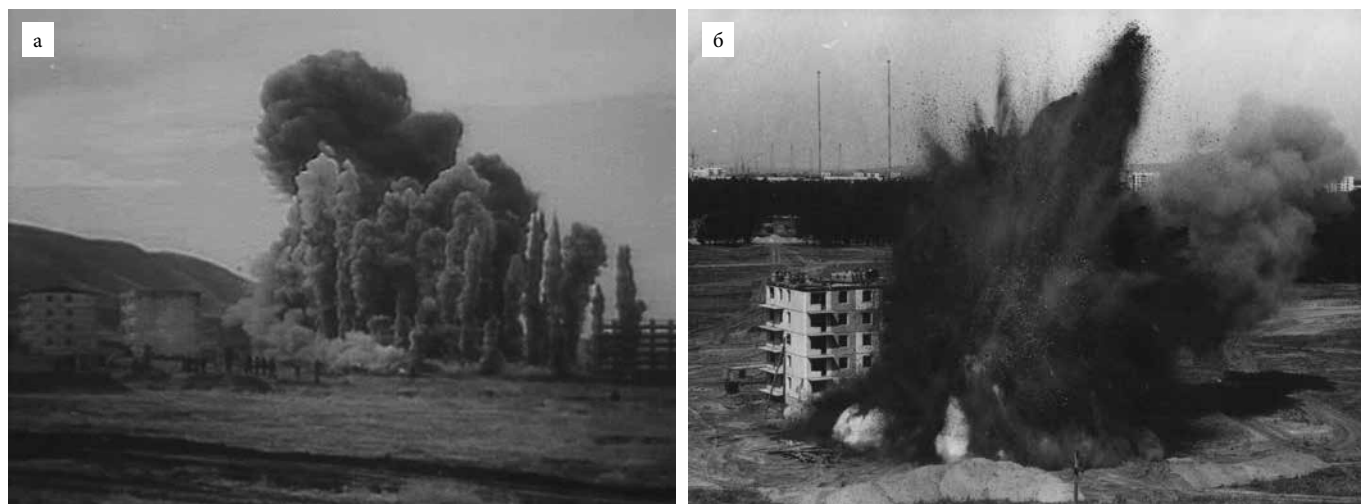
Сейсмическая уязвимость объектов риска на урбанизированной территории

По существу – это многофакторная оценка, объединяющая большое число различных исследований, касающихся

всех объектов риска – зданий и сооружений, инженерной инфраструктуры, населения, а также обобщенные градостроительные оценки территориальной уязвимости [1], [12].

Сейсмическая паспортизация и мониторинг технического состояния зданий. Сейсмическая надежность строительных объектов не является постоянной, по мере нарастания физического и сейсмического износов она закономерно снижается, а воздействие опасных природно-техногенных процессов способствуют ускоренному нарастанию уязвимости.

Основной целью паспортизации зданий и сооружений в сейсмических районах является создание надежной базы данных, позволяющих оценить общий уровень уязвимости городских сооружений на основании анализа текущего состояния застройки – параметров прочности, динамических характеристик, дефицита сейсмостойкости зданий, а также дать прогноз их повреждаемости при землетрясениях различной интенсивности. Паспортизация позволяет выявлять наиболее уязвимые и опасные объекты,



а – на полигоне Ляур (Таджикистан); б – в г. Ангарске Иркутской области (1991 г.)

Рисунок 3 – Сейсмозрывные испытания опытных объектов

требующие принятия соответствующих решений – поддержание их эксплуатационной способности, усиления или сноса строений, тем самым обеспечивая необходимый и экономически целесообразный уровень сейсмической надежности застройки на урбанизированной территории [13] – [15].

Однако, единичного обследования зданий в рамках паспортизации недостаточно, необходим последующий периодический мониторинг за их техническим состоянием, с отражением основных параметров в инженерно-сейсмическом паспорте каждого объекта.

Результаты паспортизации используются в расчетах сейсмического риска, для которых необходима полная информация о состоянии строительного фонда и величине фактической сейсмостойкости зданий и сооружений.

Экспериментальные исследования зданий. Цель испытаний – оценка фактической сейсмостойкости сооружений, имеющих различный срок эксплуатации [14], [16]. Еще 30-40 лет назад экспериментальные методы оценки сейсмостойкости относились к приоритетным. Проводились статические и динамические испытания на моделях, полномасштабных фрагментах и натурных объектах с применением гидродомкратов, вибрационных машин инерционного типа (В-2, В-3, Вид 12, Вид 50), сейсмо и виброплатформ, сейсмозрывные исследования с закладкой зарядов в траншеях и в водной среде (рисунок 3) и т.д. Отличительная черта испытаний – высокий уровень динамического или статического нагружения, ко-

торый будет сопоставимым по величине с инерционными нагрузками при реальных сейсмических воздействиях, когда проявляется конструкционная и физическая нелинейность системы [14].

Задача специалистов на современном этапе – восстановление и развитие экспериментальных исследований сейсмостойкости сооружений.

Результаты инженерной паспортизации позволят зонировать территорию города по степени сейсмической уязвимости застройки [13], [15], а также проводить не спонтанную, а технически обоснованную и экономически оправданную реновацию, когда под снос идут строения, ресурс которых поддерживать невыгодно и нецелесообразно.

Сейсмическая уязвимость застройки. Сейсмическая уязвимость отдельных зданий и застройки в целом – это способность, разрушаться или снижать свои показатели, прежде всего, надежности и сейсмостойкости, в результате землетрясения. Различают конструктивную и планировочную уязвимости зданий и застройки, причем обе уязвимости дают возможность управлять величиной сейсмического риска на территории.

Конструктивная уязвимость – это показатель уровня сейсмобезопасности конструктивной системы зданий и сооружений, его способность реагировать и сопротивляться внешнему опасному воздействию или, в противном случае, разрушаясь, наносить ущерб жизни и здоровью людей и имуществу, находящихся внутри или в некоторой близости от строений. Разные типы зданий характеризуют-

ся разной конструктивной уязвимостью, на которую влияет: конструктивная схема и уровень фактической сейсмостойкости зданий; качество монтажа и долговечность строительных материалов; возраст и плотность застройки; уровень физического и сейсмического износов несущих конструкций. Кроме того, дополнительными факторами, которые серьезно сказываются на пространственной жесткости и надежности сооружений, являются и незаконные перепланировки в квартирах, и переустройство нижних этажей под незапланированные офисные и торговые помещения и т.п. [17].

Планировочная уязвимость отражается, в первую очередь, на повреждаемости зданий при землетрясении. При создании сверхнормативных больших внутренних помещений, сложных внешних пространственных форм при несимметричной конфигурации в плане – происходят перенапряжения в конструктивных элементах, снижается пространственная жесткость всего сооружения, что отрицательно сказывается на сейсмостойкости.

Сейсмический износ. Надо учитывать, что в процессе жизненного цикла капитальные здания подвергаются воздействию несколько десятков или сотен умеренных и многих сотен слабых землетрясений. Сейсмические события даже умеренной интенсивности, но многократно повторяющиеся за жизненный цикл зданий, накладываются на процесс физического износа, снижая прочностные и жесткостные характеристики конструкций, что отражается на сейсмической надежности и безопасности зданий [16], [17].

Шкала сейсмической интенсивности [18] при установлении класса сейсмостойкости зданий рекомендует учитывать снижение динамических и прочностных характеристик во времени и вводит поправки, учитывающие:

а) физический износ конструкций зданий:

- за первые 50 лет – минус 0,2;
- за каждые следующие 10 лет – минус 0.1 от уровня сейсмостойкости.

б) перенесенные зданием землетрясения проектной интенсивности, даже если никаких заметных повреждений не обнаружено (сейсмический износ):

- за одно сейсмическое событие – минус 0,2;
- за два сейсмических события – минус 0,5;
- за три сейсмических события – минус 0,9.

Сейсмическая уязвимость населения.

Уязвимость населения непосредственно зависит от размеров населенного пункта. Чем больше город и чем быстрее он развивается, тем более плотной и многоэтажной становится жилая застройка, усложняется инфраструктура и транспортная система, развивается пригородная застройка. Уязвимость городского населения в случае сильного землетрясения напрямую зависит от сейсмической надежности тех зданий, в которых могут оказаться люди в момент землетрясения. Повреждения зданий или элементов городской инфраструктуры способны оказать на людей негативные воздействия, как непосредственно при повреждении или разрушении зданий (прямой эффект), так и в долгосрочной перспективе (вторичные последствия). Считается, что объем разрушенных зданий, а также человеческие потери определяются двумя основными факторами – интенсивностью землетрясения и сейсмостойкостью зданий [17], [19].

Градостроительная уязвимость территорий. Градостроительные особенности урбанизированных территорий в сейсмоопасных районах, должны учитываться, начиная от генерального плана застройки, где для ответственных сооружений должны отводиться площадки с наиболее устойчивыми в сейсмическом отношении грунтами. Конечно, благоприятные участки городских территорий давно застроены, идет освоение неблагоприятных: склоновых с различным уровнем наклона, подтопляемых, заболочиваемых, участков с наличием ополз-

невых процессов или оврагов, карстовых провалов и т.д. Освоение таких площадок требует не только большой объем предварительных инженерно-организационных и планировочных мероприятий, но и является более экономически затратным. Сейсмическая уязвимость, а, следовательно, и сейсмический риск в таких случаях имеет более высокие показатели [1], [2], [12], [16], [17], [19].

На примере городов Иркутской области, расположенных на сейсмоопасных территориях, приведем обобщенную оценку градостроительной уязвимости застройки. Графики ввода в эксплуатацию многоэтажного жилья показали, что массовое строительство в городах совпало с периодом их промышленного развития, с 1950-60-х гг., а у более молодых городов с 70-х гг. прошлого века, который сопровождался притоком большого числа людей для работы в индустриальном секторе. Резкий спад строительства отмечен в конце 1990-х – начале 2000-х годов (рисунок 4). Исключение составил г. Байкальск, у которого период массового строительства закончился в начале 1990-х гг. с закрытием БЦБК [20].

Таким образом, возраст массовой многоэтажной застройки городов на сегодня составляет от 50 до 70 лет. Здания в городах были запроектированы и возведены с разным уровнем сейсмического усиления, согласно требованиям норм сейсмостойкого строительства разных лет. Положительным моментом можно считать, что до начала сложных 90-х гг. прошлого века, большая часть этих многоэтажных зданий успела пройти один или два капитальных ремонта, которые в некоторой степени снизили их уязвимость. Поэтому, обобщенный физический износ застройки городов оценивается в среднем около 40% (таблица 1). Исключение составляют города Тулун и Нижнеудинск, территории которых в 2019 г. подверглись наводнению, что отразилось на несущей способности и зданий, и грунтовых оснований под ними. А также города – Зима, Тайшет и Усть-Кут, где, по всей видимости, капитальные ремонты не проводились – о чем свидетельствует очень высокий процент аварийного фонда застройки в городе [20].

Таким образом, наибольшая градостроительная уязвимость многоквартирного жилищного фонда в Иркутской области приходится на города Усть-Кут, Черемхово, Зима, Нижнеудинск и Свирск. В следующей группе по уязвимости горо-

да Слюдянка, Тайшет и Тулун. Надо отметить, что на уязвимость застройки в г. Слюдянке большое влияние оказывает высокая сейсмичность территорий и частота проявлений сейсмических событий; на градостроительную уязвимость Тулуна – периодическая вероятность наводнений и административные возможности бюджета по реализации превентивных мероприятий.

Результатом предложенной комплексной оценки является возможность надежного и качественного получения научно-обоснованных показателей градостроительной сейсмической уязвимости урбанизированных территорий и принятия практических решений по повышению сейсмобезопасности в регионе [1], [2], [12] – [14].

Заключение

1. Методика прогностической оценки региональной сейсмобезопасности урбанизированных территорий включает в себя комплекс поэтапных исследований, направленных на осуществление в пределах административно-территориальных границ городов, поселений и агломераций, оценку градостроительной ситуации в зависимости от уровня природной опасности и инфраструктурной уязвимости городских объектов.

2. Результаты комплексной оценки по населенным территориям будут отражены на:

- карте фоновой сейсмической опасности, выполненной в пределах административной территории города с учетом комплекта карт инженерно-геологических условий и комплекта карт ОСР, а также результатов инженерно-геологических изысканий отдельных площадок по уточнению грунтовых условий и исходного сейсмического балла [2], [10], [16];

- карте застройки, совмещенной с картой сейсмического микрорайонирования (СМР) или картой детального сейсмического районирования (ДСР). При отсутствии карт СМР и ДСР на карте застройки следует отразить участки, неблагоприятные в сейсмическом отношении (наличие оврагов, склонов, подтоплений и т.п.), повышающих фоновую балльность по картам ОСР [2];

- карты социально-экономических показателей сейсмического риска, базирующихся на результатах исследований по среднесрочному прогнозу с определением характеристик ожидаемых сценарных землетрясений, наиболее опасных

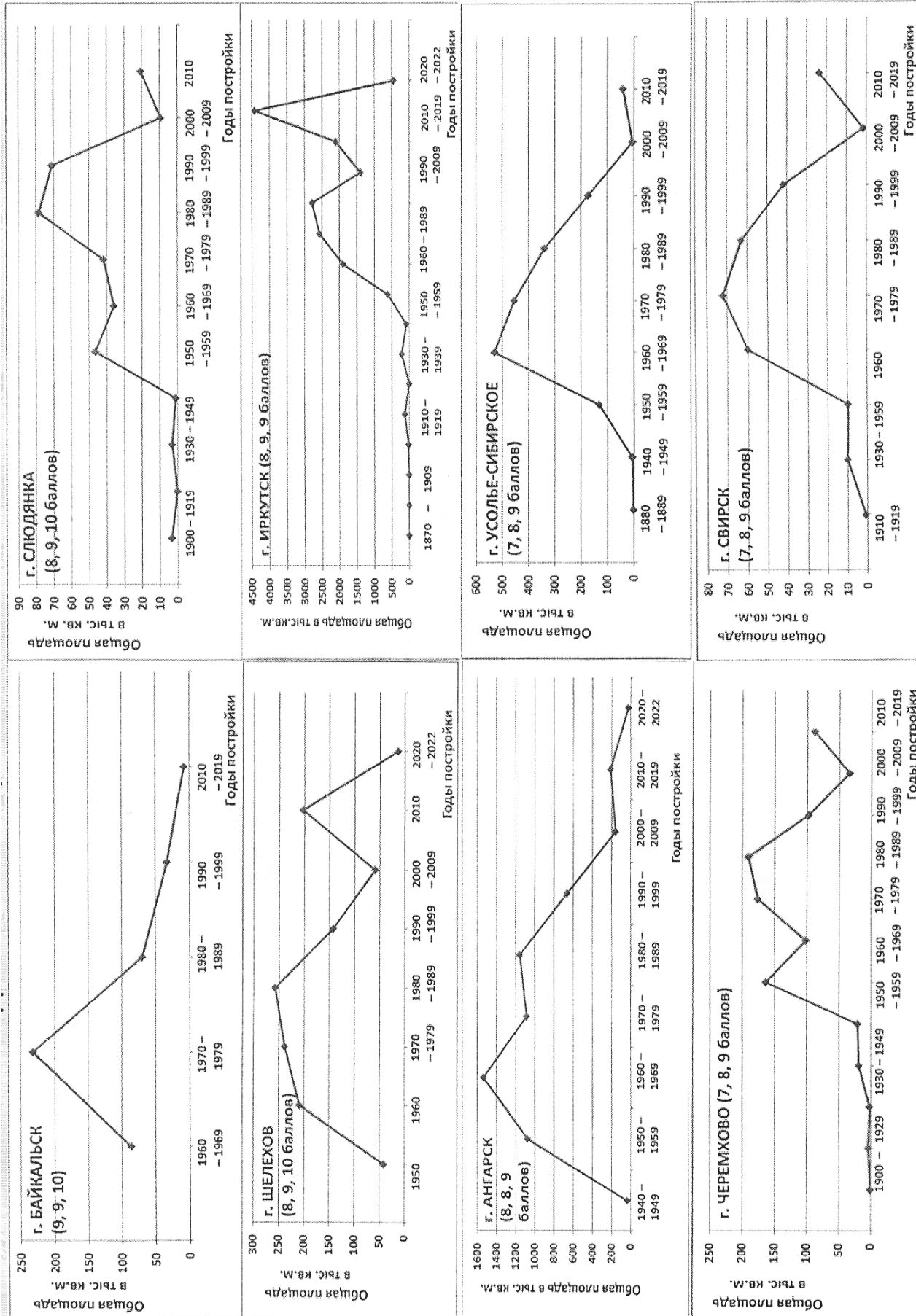


Рисунок 4 – Графики, отражающие периоды массового строительства многоэтажного жилья в городах Иркутской области [21]

Таблица 1 – Уязвимость городов Иркутской области, расположенных в сейсмически опасных районах

Город	Балльность по картам ОСР 2015 (А, В, С)	Число жителей на 2020 г., тыс. чел.	Общая площадь многоквартирных застройкой в млн м ²	Физический износ застройки (обобщенный по площади), %	Возможное снижение несущей способности зданий, на %	Коэффициент повреждений зданий (по методике Маргемьянова А.И.)	Аварийный фонд многоэтажных домов от общего числа зданий, %	Сейсмическая уязвимость зданий (по общей площади застройки)															
Байкальск	9, 9, 10	12,53	0,465	30 %–35 %	20	0,28 (необходимо проведение текущих и капитальных ремонтов)	9	0,017															
Слюдянка	8, 9, 10	18,21	0,314	до 40 %	25		10	0,027															
Шелехов	8, 9, 10	48,42	1,188				30 %	15–20	5	0,006													
Иркутск	8, 9, 9	623,56	17,374						40 %	25	8	0,011											
Ангарск	8, 8, 9	224,63	6,23								45 % – 50 %	25	7	0,006									
Усолье-Сибирское	7, 8, 9	76,05	1,758										45 % – 50 %	30–35	10	0,021							
Черемхово	7, 8, 9	50,15	0,925												до 50 %	–	14	0,062					
Свирск	7, 8, 9	12,75	0,353														40 % – 45 %	30–35	10	0,036			
Саянск	7, 7, 8	38,82	0,959																40 % – 45 %	30–35	–	–	
Зима	7, 7, 8	30,52	0,407																		0,57 (необходимо усиление, или замена несущих конструкций)	31	31
Нижнеудинск	7, 7, 8	33,62	0,424			40 % – 45 %																	37
Тулун	7, 7, 8	39,67	0,484	40 % – 45 %	37																		
Тайшет	6, 6, 7	32,67	0,441				40 % – 45 %	37															
Усть-Кут	–, 6, 6	40,78	0,428						40 % – 45 %	37													

для данного населенного пункта, и уязвимости объектов риска в различных административно-территориальных округах города.

3. Результатом предложенной комплексной оценки является возможность надежного и качественного получения научно-обоснованных показателей градостроительной сейсмической уязвимости урбанизированных территорий и принятия практических решений по повышению сейсмобезопасности в регионе.

Библиография

- Бержинская Л.П., Радзиминович Я.Б., Саландаева О.И., Новопашина А.В., Лухнева О.Ф., Иванова Н.В. Комплексная оценка сейсмической опасности и уязвимости объектов как перспектива дальнейшего градостроительного развития территорий. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2022. Т. 49. №1. С. 18-33. <https://doi.org/10.21455/VIS2022.1-2>
- Акбиев Р.Т. Перспективы комплексной оценки территории городов и агломераций с позиций сейсмического риска. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. №1 (1). С. 55-64.
- Radziminovich N.A., Gileva N.A., Melnikova V.I., Ochkovskaya M.G. Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations // J. Asian Earth Sci. 2013. V. 62. P. 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.029>
- Ружич В.В., Левина Е.А. О разработке сейсмогеологического подхода к среднесрочному прогнозу землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. // Динамические процессы в геосферах. 2022. №1. С. 17-28. http://doi.org/10.26006/22228535_2022_14_1_17
- Ружич В.В., Левина Е.А., Бержинская Л.П., Пономарева Е.И. О роли среднесрочного прогноза землетрясений в обеспечении сейсмобезопасности Прибайкалья./Мат-лы науч. конф. «Геодинамическая эволюция литосферы центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». – Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН. 2022. Вып. 20. С. 244-245.
- Чипизубов А.В., Смекалин О.П. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. №6. С. 936-947.
- Саньков В.А., Чипизубов А.В., Лухнев А.В., Смекалин О.П., Мирошниченко А.И., Кале Э., Девершер Ж. Подход к оценке опасности сильного землетря-

сения в зоне Главного Саянского разлома по данным GPS- геодезии и палеосейсмологии. //Геология и геофизика. 2004. Т. 45. №11. С. 1369-1376.

8. Ружич В.В. Сейсмоструктурная деструкция земной коры Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск. Издательство Сибирского отделения Российской академии наук. 1997. 144 с.

9. Ружич В.В., Левина Е.А. Особенности распределения сейсмической активности в различных регионах Земли по фазам 11-летнего солнечного цикла. // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. №1. С. 30-35. DOI: 10.12737/szf-54201901

10. Фролова Н.И., Малаева Н.С., Ружич В.В., Бержинская Л.П., Левина Е.А., Суцев С.П., Ларионов В.И., Угаров А.Н. Оценка социальных и экономических показателей сейсмического риска на примере г. Ангарск. // Геофизические процессы и биосфера. 2022. Т. 21. №2. С. 86-113. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.2-58>

11. Davis C., P. E.; Keilis-Borok V., Molchan G., Shebalin P., Lahr P., P. E., M. ASCE; and Plumb C. Earthquake Prediction and Disaster Preparedness Interactive Analysis: in Natural Hazards Review. November 2010. P. 173-183. DOI: 10.1061/_ASCE_NH.1527-6996.0000020

12. Акбиев Р.Т. Методика выявления и оценки территорий повышенного сейсмического риска в генеральном плане города. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010. №4. С. 54-63.

13. Акбиев Р.Т., Храмов В.И. Задачи и методология паспортизации объектов промышленной застройки. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. №6. С. 29-31.

14. Бержинская Л.П., Бержинский Ю.А. Методы паспортизации зданий в сейсмических районах. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2009. Т. 36. №2. С. 57-69.

15. Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Иванкина Л.И., Саландаева О.И. Инженерно-сейсмический паспорт здания – базовый документ о техническом состоянии и безопасности жилищного фонда. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2019. №6 (43). С. 29-34.

16. Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Ордынская А.П. Оценка уязвимости зданий с учетом сейсмического износа конструкций для расчета сейсмического риска. //Тезисы докладов Всероссийского совещания «Разломообразование в литос-

фере: тектонофизический анализ». – Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, ИГУ. 2021. С. 171-172. <https://doi.org/10.26516/978-5-9624-1919-0.2021.1-233>

17. Бержинская Л.П. Сейсмический риск урбанизированных территорий. Учебное пособие. – Иркутск: ИрННТУ. 2020. 132 с.

18. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности

19. Акбиев, Р.Т., Заблоцкая Е.Н. Информационные ресурсы и управление развитием территорий. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. №1. С. 51-55.

20. Бержинская Л.П., Ружич В.В., Радзиминич Я.Б., Саландаева О.И. Градостроительные оценки сейсмической уязвимости территории при обеспечении сейсмобезопасности Прибайкалья. //Мат-лы науч. конф. «Геодинамическая эволюция литосферы центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» – Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН. 2022. Вып. 20. С. 24-26.

21. Сервис Дом. МинЖКХ. Жилой фонд в Иркутске. <https://dom.mingkh.ru/irkutskaya-oblast/irkutsk/>

eng

Berzhinskaia L. P., Ruzhich V. V., Salandaeva O. I. Akbiev R. T.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL PRINCIPLES FOR INTEGRATED PROGNOSTIC ASSESSMENT OF REGIONAL SEISMIC SAFETY

The article reflects the methodological principles that allow predicting the level of seismic safety in an urbanized area depending on the seismic situation and infrastructure vulnerability of objects and systems. The main factors influencing the seismic vulnerability of the population, buildings and the territory as a whole are described. The concept of seismic wear of structures is introduced and methods for assessing the actual seismic resistance of buildings are given. On the example of the cities of the Irkutsk region, located in a seismically hazardous zone, a generalized assessment of the urban development vulnerability of buildings is given. It is assumed that the implementation of the proposed methodology will make it possible to obtain evidence-based indicators of seismic risk in an urbanized area and contribute to the development of practical solutions to achieve an acceptable level of seismic safety in the region.

Keywords: seismic hazard, integrated assessment, urban planning vulnerability, building certification, seismic wear, actual level of seismic resistance, seismic risk indicators.

References

1. Berzhinskaya L. P., Radziminovich YA. B., Salandaeva O. I., Novopashina A. V., Luhneva O. F., Ivanova N. V. Kompleksnaya ocenka sejsmicheskoy opasnosti i uyazvimosti ob'ektov kak perspektiva dal'nejshego gradostroitel'nogo razvitiya territorij. // Voprosy inzhenernoj sejsmologii. 2022. Т. 49. №1. Pp. 18-33. <https://doi.org/10.21455/VIS2022.1-2> (in Russian)
2. Akbiev R. T. Perspektivy kompleksnoj ocen-

- ki territorii gorodov i aglomeracij s pozicij sejsmicheskogo riska. // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost» sooruzhenij. 2011. №1 (1). P. 55-64. (in Russian)
3. Radziminovich N. A., Gileva N. A., Melnikova V. I., Ochkovskaya M. G. Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations // J. Asian Earth Sci. 2013. V. 62. P. 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2012.10.029>

4. Ruzhich V. V., Levina E. A. O razrabotke sejsmogeologicheskogo podhoda k srednesrochnomu prognozu zemletryasenij v Bajkal'skoj riftovoj zone. // Dinamicheskie processy v geosferah. 2022. №1. Pp. 17-28. http://doi.org/10.26006/22228535_2022_14_1_17 (in Russian)
5. Ruzhich V. V., Levina E. A., Berzhinskaya L. P., Ponomareva E. I. O roli srednesrochnogo prognoza zemletryasenij v obespechenii sejsmobe-zopasnosti Pribajkal'ya. //Мат-лы науч. конф.

- «Geodinamicheskaya evolyuciya litosfery central'no-aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)». – Irkutsk: Izd-vo IZK SO RAN. 2022. Vyp. 20. Pp. 244-245. (in Russian)
6. CHipizubov A. V., Smekalin O.P. Paleosejsmodislোকacii i svyazannye s nimi paleozemletryaseniya po zone Glavnogo Sayanskogo razloma. // *Geologiya i geofizika*. 1999. T. 40. №6. Pp. 936-947. (in Russian)
7. San»kov V. A., CHipizubov A. V., Luhnёv A. V., Smekalin O.P., Miroshnichenko A. I., Kale E., Deversher ZH. Podhod k ocenke opasnosti sil»nogo zemletryaseniya v zone Glavnogo Sayanskogo razloma po dannym GPS- geodezii i paleosejsmologii. // *Geologiya i geofizika*. 2004. T. 45. №11. Pp. 1369-1376. (in Russian)
8. Ruzhich V.V. Sejsmotektonicheskaya destrukciya zemnoj kory Bajkal»skoj riftovoj zony. – Novosibirsk. Izdatel»stvo Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 1997. 144 p. (in Russian)
9. Ruzhich V.V., Levina E.A. Osobennosti raspredeleniya sejsmicheskoy aktivnosti v razlichnyh regionah Zemli po fazam 11-letnego solnechnogo cikla. // *Solnechno-zemnaya fizika*. 2020. T. 6. №1. Pp. 30-35. DOI: 10.12737/szf-54201901 (in Russian)
10. Frolova N.I., Malaeva N.S., Ruzhich V.V., Berzhinskaya L.P., Levina E.A., Sushchev S.P., Larionov V.I., Ugarov A.N. Ocenka social»nyh i ekonomicheskikh pokazatelej sejsmicheskogo riska na primere g. Angarsk. // *Geofizicheskie processy i biosfera*. 2022. T. 21. №2. Pp. 86-113. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.2-58> (in Russian)
11. Davis C., P. E.; Keilis-Borok V., Molchan G., Shebalin P., Lahr P., P. E., M. ASCE; and Plumb C. Earthquake Prediction and Disaster Preparedness Interactive Analysis: in *Natural Hazards Review*. November 2010. P. 173-183. DOI: 10.1061/_ASCE_NH.1527-6996.0000020
12. Akbiev R. T. Metodika vyyavleniya i ocenki territorij povyshennogo sejsmicheskogo riska v general»nom plane goroda. // *Sejsmostojkoe stroitel»stvo. Bezopasnost» sooruzhenij*. 2010. №4. Pp. 54-63. (in Russian)
13. Akbiev R.T., Hramcov V.I. Zadachi i metodologiya pasportizacii ob»ektov promyshlennoj zastrojki. // *Sejsmostojkoe stroitel»stvo. Bezopasnost» sooruzhenij*. 2006. №6. Pp. 29-31. (in Russian)
14. Berzhinskaya L.P., Berzhinskij YU. A. Metody pasportizacii zdanij v sejsmicheskikh rajonah. // *Voprosy inzhenernoj sejsmologii*. 2009. T. 36. №2. Pp. 57-69. (in Russian)
15. Berzhinskij YU. A., Berzhinskaya L.P., Ivan»kina L. I., Salandaeva O.I. Inzhenerno-sejsmicheskij pasport zdaniya – bazovyj dokument o tekhnicheskom sostoyanii i bezopasnosti zhilishchnogo fonda. // *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost» sooruzhenij*. 2019. №6 (43). Pp. 29-34. (in Russian)
16. Berzhinskij YU. A., Berzhinskaya L.P., Ordynskaya A. P. Ocenka uyazvimosti zdanij s uchetom sejsmicheskogo iznosa konstrukcij dlya rascheta sejsmicheskogo riska. // *Tezisy dokladov Vserossijskogo soveshchaniya «Razlomboobrazovanie v litosfere: tektonofizicheskij analiz»*. – Irkutsk: Izd-vo IZK SO RAN, IGU. 2021. Pp. 171-172. <https://doi.org/10.26516/978-5-9624-1919-0.2021.1-233> (in Russian)
17. Berzhinskaya L.P. Sejsmicheskij risk urbanizirovannyh territorij. Uchebnoe posobie. – Irkutsk: IrNITU. 2020. 132 p. (in Russian)
18. GOST R 57546-2017 Zemletryaseniya. SHkala sejsmicheskoy intensivnosti (in Russian)
19. Akbiev, R. T., Zabolockaya E.N. Informacionnye resursy i upravlenie razvitiem territorij. // *Sejsmostojkoe stroitel»stvo. Bezopasnost» sooruzhenij*. 2008. №1. Pp. 51-55. (in Russian)
20. Berzhinskaya L.P., Ruzhich V.V., Radziminovich YA. B., Salandaeva O.I. Gradostroitel»nye ocenki sejsmicheskoy uyazvimosti territorii pri obespechenii sejsmobeзопасnosti Pribajkal»ya. // *Mat-ly nauch. konf. «Geodinamicheskaya evolyuciya litosfery central'no-aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)»* – Irkutsk: Izd-vo IZK SO RAN. 2022. Vyp. 20. Pp. 24-26. (in Russian)
21. Servis Dom. MinZHKKH. ZHiloz fond v Irkutske. <https://dom.mingkh.ru/irkutskaya-oblast/irkutsk/> (in Russian)