

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.427>

УДК 624.131.1:551.252

КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЭКСТРЕМУМ» ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Сушев С.П., Малаева Н.С.

Цель. Актуализация информационного наполнения автоматизированной информационной управляющей системы (АИУС) единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) МЧС России для повышения надежности оценок сейсмического риска и оперативных оценок потерь от землетрясений в целях обеспечения безопасности населения.

Методы. Исследование влияния особенностей затухания сейсмической интенсивности на оценки потерь от землетрясений на территории Восточной Прибалтики проведено путем калибровки параметров макросейсмического поля и имитационного моделирования с помощью системы «Экстремум».

Результаты. Приводятся примеры успешного использования результатов калибровки макросейсмического поля для ретроспективной оценки последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. и прогноза последствий в случае более сильного события с $M_{\max} = 5,0-5,5$ в Восточной Прибалтике. Получены приемлемые оценки погрешности моделирования на случай оперативной оценки потерь от сильных землетрясений. Показана эффективность периодической калибровки моделей системы «Экстремум» с использованием данных, собираемых средствами АИУС и полученных при исследованиях научных организаций Российской академии наук, в том числе Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН).

Область применения исследований. Полученные результаты имеют большое практическое значение и могут быть использованы при оценке сейсмического риска, а также при оперативной оценке последствий землетрясений для повышения надежности прогнозируемых параметров возможной обстановки, что влияет на скорость принятия решений и эффективность действий спасателей.

Ключевые слова: автоматизированная информационно-управляющая система, ГИС «Экстремум», надежность оперативных оценок потерь, Калининградское землетрясение, макросейсмическое поле.

(Поступила в редакцию 10 августа 2021 г.)

Введение

Для повышения эффективности управления Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России внедряет АИУС, обеспечивающую значительное повышение качества принимаемых решений за счет роста оперативности прогноза параметров, которые всесторонне характеризуют возможную обстановку. Для прогноза используются методы математического моделирования и разнообразные параметры обстановки, среди которых есть показатель риска.

Одна из важнейших составных частей АИУС – подсистема оперативно-аналитической работы. Оценка параметров обстановки включена в состав функций этой подсистемы как основная. Она призвана обеспечить повышение эффективности управления силами и средствами РСЧС в процессе проведения спасательных операций, а также при планировании превентивных мероприятий.

Важной особенностью АИУС стали включенные в ее состав средства информационной интеграции, объединенные в рамках подсистемы межведомственного взаимодействия, функционирующей на основе протоколов и соглашений об информационном обмене. Формализация обмена и соответствующие программные средства позволяют пользователям в критических ситуациях оперативно получать от ведомств необходимые данные по каналам

информационно-коммуникационной сети, для того чтобы использовать их для оценки параметров обстановки и риска.

При оценке обстановки в зоне влияния опасного сейсмического события межведомственное взаимодействие организуется со службой срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН, предоставляющей данные о параметрах землетрясений.

Ранее выполненные исследования [1–4] позволили выявить факторы, влияющие на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений, и пути минимизации негативного влияния этих факторов. К наиболее значимым факторам отнесены погрешности в определении параметров землетрясений, предоставляемых ССД ФИЦ ЕГС РАН и сейсмологическими агентствами мира: координат эпицентра, глубины очага, магнитуды и ее типа. Кроме того, на надежность влияет использование обобщенных для больших территорий коэффициентов закона затухания макросейсмической интенсивности, построенного относительно магнитуды по поверхностной волне, которая часто не определяется в оперативном режиме по инструментальным данным, а пересчитывается из значений других типов магнитуд.

Условность математических зависимостей, используемых при вычислении степени повреждений зданий и сооружений, а также ущерба здоровью людей, вносит дополнительные погрешности в оценку возможных последствий. Для минимизации влияния перечисленных факторов авторами ранее была выполнена калибровка моделей с использованием баз данных о последствиях прошлых событий [5].

В статье приводится краткое описание структуры и функций АИУС, результатов изучения особенностей распространения сейсмического эффекта в Восточной Прибалтике, процедуры калибровки макросейсмического поля и результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 2004 г. с магнитудой $M_s=4,3$ ($m_b = 5,4$) и возможного более сильного события согласно карте зон ВОЗ с $M_{max} = 5,0-5,5$ [6; 7]. Сравнение значений, полученных в результате наблюдения, и расчетных значений интенсивностей демонстрирует качество прогнозирования возможной обстановки в регионе на случай сильного землетрясения. Достигнутая точность прогноза обусловлена наличием и предоставлением ФИЦ ЕГС РАН калибровочной сейсмической информации. Калибровка сейсмической модели для этого района Восточной Прибалтики выполнена в рамках совместных исследований специалистами ФИЦ ЕГС РАН и лаборатории сейсмического риска Института геоэкологии РАН.

Основная часть

Краткое описание структуры АИУС и ее базы данных о событиях. Обобщенная схема АИУС представлена на рисунке 1, где выделены шесть укрупненных функциональных блоков, хранилище данных и пользовательский интерфейс. Название блоков отражает их функциональность, которая дополнена описанием входной и выходной информации. В структуре выделена группа из трех основных блоков АИУС, среди которых программные средства, объединенные рубриками «Паспортизация», «Аналитика», «Оперативное управление».

Блок «Паспортизация» предназначен для сбора и обработки данных, необходимых для создания комплекта документов, называемых паспорт территории. Паспорт содержит:

- наименование и принадлежность объектов (территории);
- местоположение объектов, подлежащих инвентаризации;
- параметры источников опасности;
- параметры уязвимости элементов риска;
- информацию о наличии, размещении, а также готовности сил и средств, предназначенных для проведения превентивных мероприятий и спасательных операций.

Для сбора данных в процессе паспортизации территории используются средства веб-интерфейса, доступного местным (максимально приближенным к источнику информации) сотрудникам территориальных подсистем РСЧС. Выходной информацией в блоке «Паспортизация» является «Паспорт территории», который содержит информацию, позволяющую судить о соответствии уровня опасности совокупности и свойствам принятых мер, обеспечивающих приемлемый уровень риска.

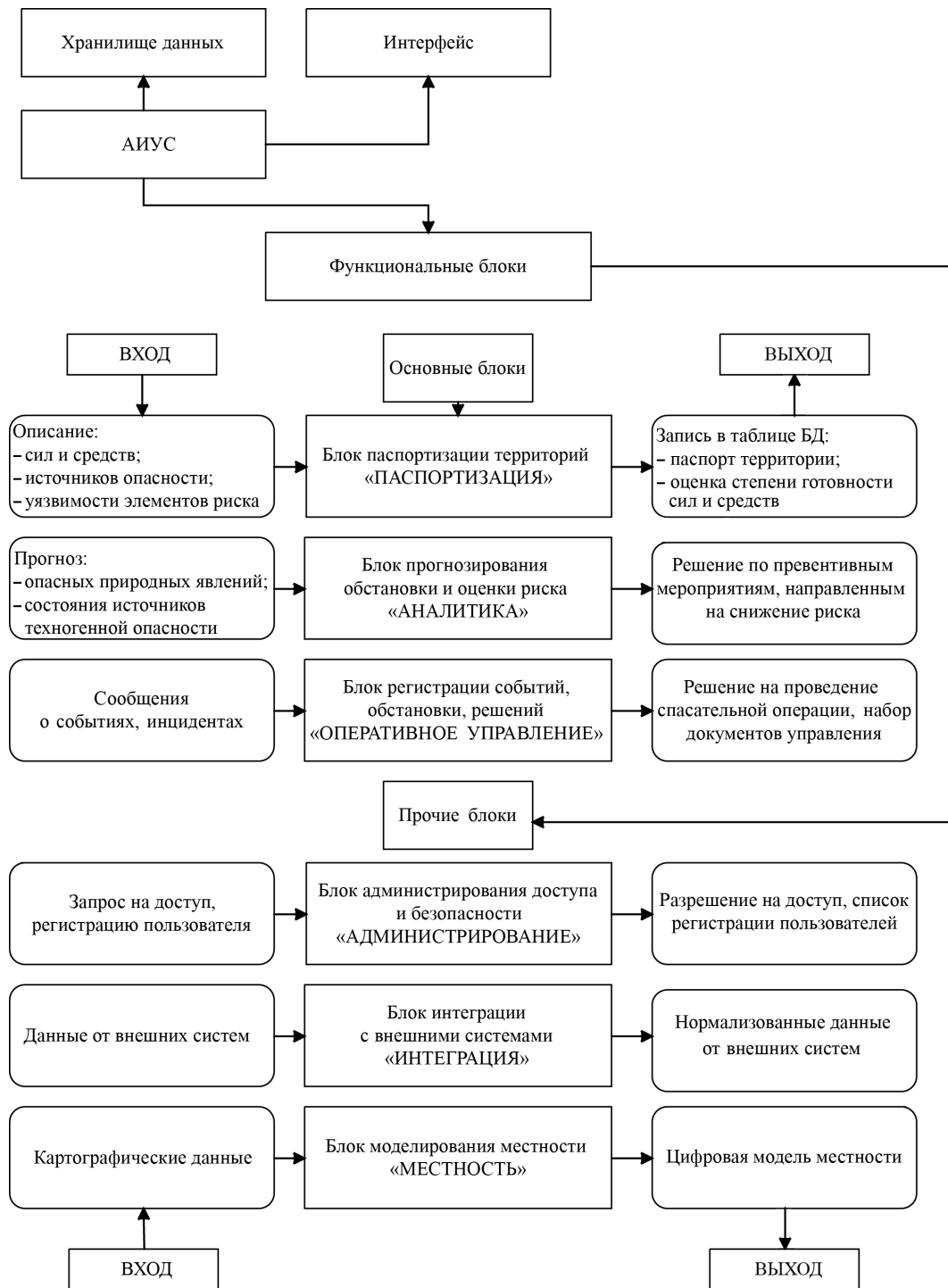


Рисунок 1. – Структура АИУС

Блок «Оперативное управление» предназначен для регистрации и квалификации событий, а также информационной поддержки процесса оперативного управления силами и средствами в рамках нормализации обстановки, возникающей по поводу событий, отнесенных к классу ЧС. На выходе этого блока формируется «Карточка события», включающая описание последствий ЧС, которая со временем может пополняться уточненными и новыми данными, и комплект документов, обеспечивающих управление силами и средствами во время проведения превентивных, спасательных и других неотложных мероприятий.

Блок «Аналитика» содержит математические модели основных видов опасных процессов, позволяющие прогнозировать возможную обстановку в зоне влияния события. Модели имеют специфику, обусловленную высокими требованиями к скорости реакции на

входные данные и обеспечению защиты результатов прогноза от возможных значительных погрешностей в исходных данных, возникающих при их оценке (измерении) и передаче.

Для обеспечения приемлемой точности результатов выполняется калибровка математических моделей блока «Аналитика», соответствующих месту землетрясения. На карте формируются области, для каждой из которых действует свой набор калибровочных параметров математических моделей. Калибровка в этом случае во многом повторяет процесс обучения систем искусственного интеллекта. После калибровки любая математическая модель, реализованная в виде расчетного программного модуля, на первом шаге определяет зону своей калибровки и считывает калибровочные значения параметров, привязанных к месту. После этого осуществляется расчет.

Все калибровочные параметры, привязанные к территориям и расчетным модулям, включены в состав хранилища АИУС. На рисунке 2 показана структура хранилища и место таблиц с калибровочными данными в этой структуре. Показаны три из четырех основных тематических разделов (раздел «Цифровая модель местности» не описывается) хранилища с описанием только сейсмических событий и зоны с устойчивыми значениями калибровочных параметров математических моделей. В полной версии хранилища представлены описания всех видов событий, квалифицированных как ЧС. Зоны формируются в процессе калибровки математических моделей на основе ранее собранных данных о событиях. Каждая зона отнесена к своей математической модели и характеризуется набором калибровочных параметров.



Рисунок 2. – Структура хранилища АИУС РСЧС

Следует отметить, что описание сейсмических событий имеет некоторые особенности, которые важны для понимания примеров применения результатов калибровки математической модели, используемой для вычисления возможных значений сейсмической интенсивности.

К структурированному описанию сейсмического события могут быть прикреплены различные материалы в виде карт, таблиц, фото и других документов. Непосредственно

в процессе калибровки математической модели, используемой для прогноза затухания сейсмической интенсивности, используются таблицы эпицентров и макросейсмических данных.

В случае сильных и ощутимых событий записи в разделе «Макросейсмические данные» могут быть дополнены следующими материалами полевых наблюдений и их анализа:

- картами наблюденного макросейсмического эффекта, где первые две изосейсты показывают территорию, подверженную сотрясениям $I \geq V-VI$ баллов по шкале ММСК-86;
- фотографиями повреждений застройки разного типа;
- сводными таблицами макросейсмического эффекта в населенных пунктах, определенного по разным признакам, включая поведение зданий, ощущения людей, состояние предметов быта.

Калибровка сейсмических моделей осуществляется сейсмологами. Полученные результаты калибровки размещаются в разделе хранилища, названном на схеме (рис. 2) «Зоны с устойчивыми значениями калибровочных параметров». Калибровка заключается в подборе усредненных параметров математической модели, предназначенной для формирования макросейсмического поля в пределах зоны, в которой усреднение допустимо и не приводит к существенным погрешностям в оценке сейсмической интенсивности. Приемлемая точность вычисления параметров обстановки должна обеспечиваться для всех попавших в зону событий.

В статье приводится пример использования макросейсмических данных Калининградских землетрясений 2004 г. для калибровки ГИС «Экстремум» для оперативной оценки потерь от землетрясений.

Сейсмичность и тектоническая позиция района Калининградского землетрясения 2004 г. Неоднократное возобновление работ по оценке сейсмической опасности района землетрясения связано с расположением вблизи этой территории особо важных объектов: теперь уже закрытой Игналинской АЭС на территории Литвы; строящейся Белорусской АЭС; строящейся в Неманском районе Калининградской области Калининградской АЭС; мощных газопроводов, среди которых действующий «Ямал-Европа», пересекающий территорию Беларуси, а также связанные с ним подземные хранилища газа [8].

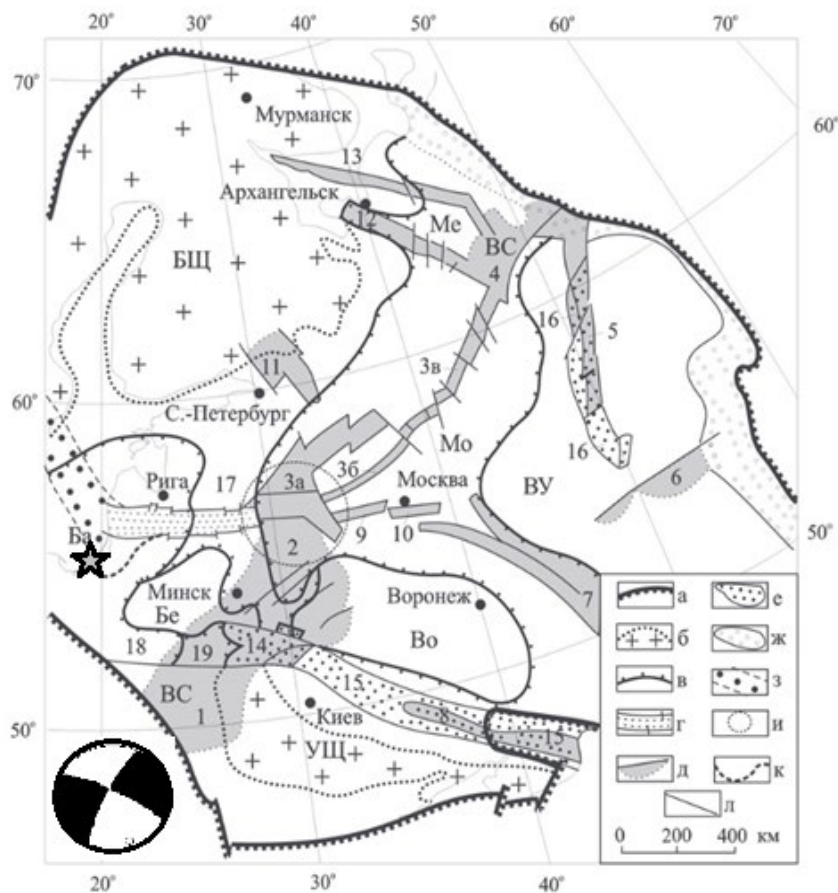
Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. является редким примером внутриплитовой сейсмичности в регионе, ранее считавшемся асейсмичным. С 2004 г. территория Калининградской области переведена в разряд регионов с умеренной сейсмичностью. Имеющиеся данные об исторических землетрясениях в целом на Восточно-Европейской платформе (ВЕП) недостаточны и часто ненадежны, как было показано в работе [9] на примере исторических землетрясений в Беларуси. Поэтому зарегистрированное инструментально большой сетью станций не только Европейских сетей, но и всего мира, Калининградское землетрясение, по которому собраны многочисленные свидетельства о макросейсмическом эффекте, предоставляет исследователям ценнейший материал для калибровки моделей, применяемых для расчета сейсмической опасности и оперативных оценок потерь.

В тектоническом плане Калининградское землетрясение произошло на западе территории ВЕП и приурочено к Балтийской синеклизе. По оценке потенциальной сейсмической опасности территории запада ВЕП, выполненной учеными Беларуси и Прибалтики, район землетрясения относится к Калининградско-Литовской потенциально сейсмогенной зоне. По данным комплексного сеймотектонического анализа [10] оценка потенциальной сейсмической опасности в этой зоне может достигать 7 баллов и отвечает $M_{max} = 4,0-4,9$ при минимальной глубине очага равной 5 км. А в непосредственной близости к Калининграду находится область с $M_{max} \leq 3,9$.

Известно [11], что *сейсмичность Фенноскандии теснейшим образом связана с постгляциологическими современными движениями земной коры и всей литосферы этого региона. Территория Калининградской области расположена в пределах длительно развивающейся Польско-Литовской синеклизы, продолжающейся прогибаться со скоростью 1 мм в год. Новейшие тектонические движения, охватившие отдельные участки платформен-*

ного чехла, расчлененного на блоки, привели к некоторому поднятию их на фоне общего прогибания. К таким блокам относится и Самбийский полуостров, особенно его западная часть, омываемая Балтийским морем и проявившая себя сейсмичностью в 2004 г.

Согласно работе [12] неоднородная сейсмичность литосферы определяется рядом факторов, главным из которых является, по-видимому, вертикальная и латеральная неоднородность самой литосферы, которая хорошо иллюстрируется схемой основных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы [13] (рис. 3).



a – границы платформы; *б* – щиты (БЩ – Балтийский, УЩ – Украинский); *в* – границы антеклиз и синеклиз (антеклизы: Бе – Белорусская, Во – Воронежская, ВУ – Волго-Уральская; синеклизы: Ба – Балтийская, Мо – Московская, Ме – Мезенская); *г* – Полоцко-Курземский пояс разломов; *д-е* – системы палеорифтов: *д* – ранних (ВС – Вольно-Среднерусская система прогибов: 1 – Волынский, 2 – Оршанский палеопргоибы; Среднерусский авлакоген: 3а – Крестовская (Валдайская), 3б – Тверская, 3в – Сухонская ветви; 4 – Яренская впадина; 5–8 – авлакогены: 5 – Кажимский (Вятский), 6 – Серноводско-Абдулинский, 7 – Пачелмский, 8 – Днепровско-Донецкий); 9–13 – грабены: 9 – Гжатский, 10 – Московский, 11 – Ладожский, 12 – Двинский, 13 – Лешуконский); *е* – поздних (14 – Припятский, 15 – Днепровско-Донецкий, 16 – Вятский прогибы); *ж* – зоны перикратонных опусканий, синхронных в развитии с ранними палеорифтами; *з* – Готланский пояс; *и* – контур Слободского позднепроторозового тектоно-геодинамического узла; *к* – условная южная граница Клайпедской тектонической сигмоиды; *л* – разломы; 17–19 – структуры: 17 – Латвийская седловина, 18 – Подляско-Брестская впадина, 19 – Полесская седловина. Звездой отмечена эпицентральная зона, внизу слева – диаграмма механизма очага Калининградского землетрясения 2004 г.

Рисунок 3. – Схема основных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы [13]

Тип фокального механизма очага Калининградского землетрясения указывает на реализацию горизонтального сжатия, ориентированного с северо-запада на юго-восток в соответствии с региональным полем напряжений. Источником напряжений сжатия в этом районе принято считать расширяющийся Срединно-Атлантический хребет, северный сегмент которого близко подходит к исследуемому району [14].

В статье рассматриваются особенности распространения сейсмического эффекта от Калининградского землетрясения в границах территории Восточной Прибалтики, исходя из ее геолого-тектонических особенностей и принятой регионализации в рамках комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2015)¹.

В одной из последних работ авторов из ФИЦ ЕГС РАН [15] проведено исследование коэффициентов уравнения макросейсмического поля для пяти зон ВЕП с использованием подхода суммирования данных нескольких землетрясений с известными интенсивностями в населенных пунктах. Зона Калининградской области была расширена до эпицентральной зоны ощутимости Осмуссаарского землетрясения 1976 г. с магнитудой $MLH = 4,3$ [16] и названа Восточной Прибалтикой (зона 5). В регионе Восточной Прибалтики известны землетрясения с $M_s = 4-5$, однако в Калининградской области два события 21 сентября 2004 г., в 11:05 и 13:32 с $M_s = 4,1$ и $4,3$ [17], – первые события подобной энергии. Их макросейсмические проявления отмечены на весьма обширной территории, включающей Калининградскую область, прилегающие районы Беларуси, государств Прибалтики, северных районов Польши и юга Финляндии. В Беларуси землетрясение ощущалось в Гродненской, Брестской, Витебской и Минской областях, пострадавших и разрушений не выявлено, макросейсмический эффект составил от 2 до 4 баллов [18]. В работе [18] получена модель распространения сейсмического эффекта

$$I = 1,5M - 2,48(\pm 0,16) \lg r + 3,69(\pm 0,31), \quad R = 0,90, \quad N = 232, \quad (1)$$

где I – интенсивность, баллов; M – магнитуда землетрясения; $r = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$ – гипоцентрального расстояние, км; здесь Δ – эпицентрального расстояние; h – глубина очага; R – коэффициент корреляции; N – число наблюдений.

Установлено более низкое затухание и высокий уровень сейсмических воздействий Осмуссаарского 1976 г. и двух толчков Калининградского землетрясения 2004 г. в населенных пунктах Восточной Прибалтики, которые более чем на полбалла превышают значения, рассчитанные с использованием уравнения макросейсмического поля с коэффициентами, рекомендуемыми ГОСТ Р 57546-2017² для Калининградской и Ленинградской областей. Данный эффект не связан с занижением инструментально определенных магнитуд для толчков Калининградского землетрясения, для уточнения которых проведено специальное исследование [15].

Модель распространения сейсмического эффекта в районе Восточной Прибалтики [15] вместе с ранее полученными уравнениями [19; 20] была использована для калибровки модели макросейсмического поля в регионе и расчета последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. с помощью ГИС «Экстремум».

Калибровка модели макросейсмического поля и ретроспективная оценка последствий Калининградского землетрясения 2004 г. средствами АИУС. Для калибровки параметров модели макросейсмического поля в районе Восточной Прибалтики использовалась ранее разработанная авторами процедура [4–5; 21], предусматривающая подбор приемлемых, устойчивых для рассматриваемой территории значений параметров математической модели затухания сейсмической интенсивности. В качестве таких параметров предложено использовать:

– коэффициенты уравнения b , ν , c макросейсмического поля [22]:

$$I = bM - \nu \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \quad (2)$$

¹ СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*. Сейсмическое районирование России. – М.: Стандартинформ, 2018. – С. 97–99.

² ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 19.07.17. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.

где Δ – эпицентральный расстояние, км; h – глубина очага, км; M – магнитуда землетрясения;
 – отношение большой и малой осей эллиптических изосейст высших баллов, названное коэффициентом сжатия k ;
 – угол, задающий ориентацию макросейсмического поля, в частности азимут большой оси эллипса.

Процедура калибровки предусматривает подбор перечисленных параметров, устойчивых для рассматриваемой территории. Поскольку калибровка является итерационным и довольно сложным циклическим процессом, включающим уточнение границ зон и вычисление для них приемлемых квазистабильных параметров, по мере накопления данных о новых событиях калибровочные действия должны повторяться.

Для исследования применимости рассматриваемых параметров поля [15; 19–20] для района Восточной Прибалтики выполнены расчеты последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. В таблице 1 приведены варианты исходных данных для расчета последствий с помощью системы «Экстремум». Расчеты выполнялись для параметров события и параметров макросейсмического поля, описываемого уравнением (2). В качестве коэффициента сжатия k использовалось значение 1,5. Рассматривались разные ориентации поля: вдоль разломов и под углом 279° в соответствии с решением механизма очага по данным Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project (<https://www.globalcmt.org>). Расчетные значения интенсивности сравнивались с наблюдаемыми значениями, уточненными ФИЦ ЕГС РАН. Расчеты последствий землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC выполнены с помощью ГИС «Экстремум» для параметров очага по данным сейсмологических служб:

- Российской службы ЕГС РАН (<http://mseism.gsras.ru>) – варианты 1–4.
- Европейской сейсмологической службы (European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC), <https://www.emsc-csem.org>) – варианты 5–8.
- Сейсмологической службы Финляндии (Institute of Seismology of the University of Helsinki, <https://www.seismo.helsinki.fi>) – варианты 9–12.
- Геологической службы США USGS Earthquake Hazards Program of the U.S. Geological Survey (USGS), <https://earthquake.usgs.gov>) – варианты 13–16.

Таблица 1. – Варианты исходных данных для расчета последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля (1)	Ориентация и коэффициент сжатия k	$I_{расч}$ в Калининграде и расстояние Δ
1	54.77°N; 20.29°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0$	Вдоль разломов $k = 1,5$	$I = 5,06$ (15,4 км)
2	$M_s = 4,3; (mb = 5,4);$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 5,17$ (15,4 км)
3	$h = 10$ км	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 5,9$ (15,4 км)
4	(ЕГС РАН)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 7,11$ (15,4 км)
5	54.77°N; 19.94°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0$		Вдоль разломов $k = 1,5$
6	$M_s = 4; mb = 5,0;$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,74$ (36,95 км)
7	$h = 10$ км	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,73$ (36,95 км)
8	(EMSC)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 5,96$ (36,95 км)
9	55°N; 19.97°E; $M_s = 4;$	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0;$		Вдоль разломов $k = 1,5$
10	$ML = 5,0; h = 10$ км	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,15$ (47,25 км)
11	(Institute of Seismology,	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,27$ (47,25 км)
12	Helsinki)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 5,55$ (47,25 км)
13	54.787°N; 20.026°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0;$		Вдоль разломов $k = 1,5$
14	$M_s = 4,0; mb = 5,0;$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,92$ (31,99 км)
15	$h = 10$ км (USGS)	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,87$ (31,99 км)
16		$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 6,09$ (31,99 км)

Разброс в определении параметров Калининградского землетрясения довольно большой (рис. 4) и не мог не сказаться на результатах моделирования последствий.

При использовании в расчетах параметров события, определенных Европейской сейсмологической службой и Сейсмологической службой Финляндии для Калининграда, получаются существенно заниженные значения расчетных интенсивностей по сравнению с наблюдаемыми. Наибольшие расхождения (табл. 1) наблюдаются при использовании коэффициентов уравнения поля (1) согласно работам [19; 20].



Рисунок 4. – Варианты положения эпицентра Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 по данным разных служб

При использовании параметров очага, определенных ФИЦ ЕГС РАН, Геологической службой США, и параметров поля по работе [15] получаем в ближней зоне незначительно завышенные оценки расчетной интенсивности $I_{расч.}$ по сравнению с наблюдаемой (рис. 5), а также хорошее согласие наблюдаемых и расчетных интенсивностей на больших расстояниях – вариант 16 (табл. 1). Использование параметров поля [20] в ближней зоне до 10–15 км дает хорошее согласие между наблюдаемыми и расчетными значениями I . На больших расстояниях от 200–250 км использование параметров поля [20] (табл. 1, варианты 3 и 15) дает заниженные оценки интенсивности, отличающиеся от наблюдаемых на 1,5–2 балла.

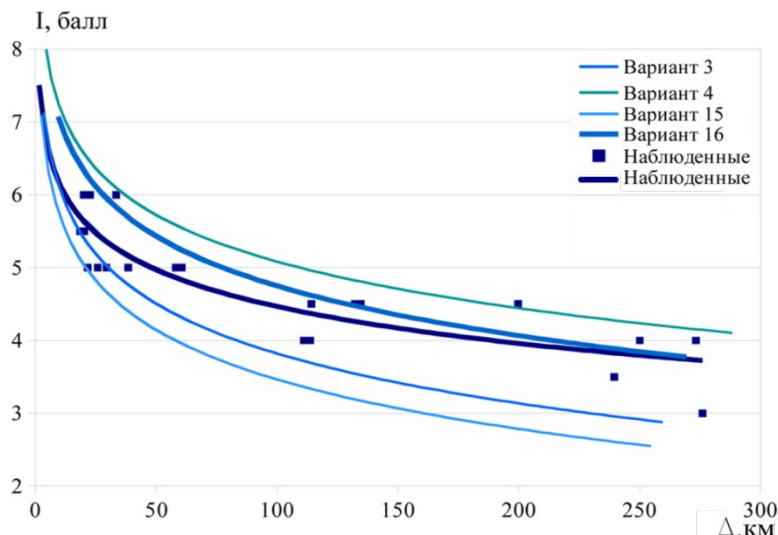


Рисунок 5. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC

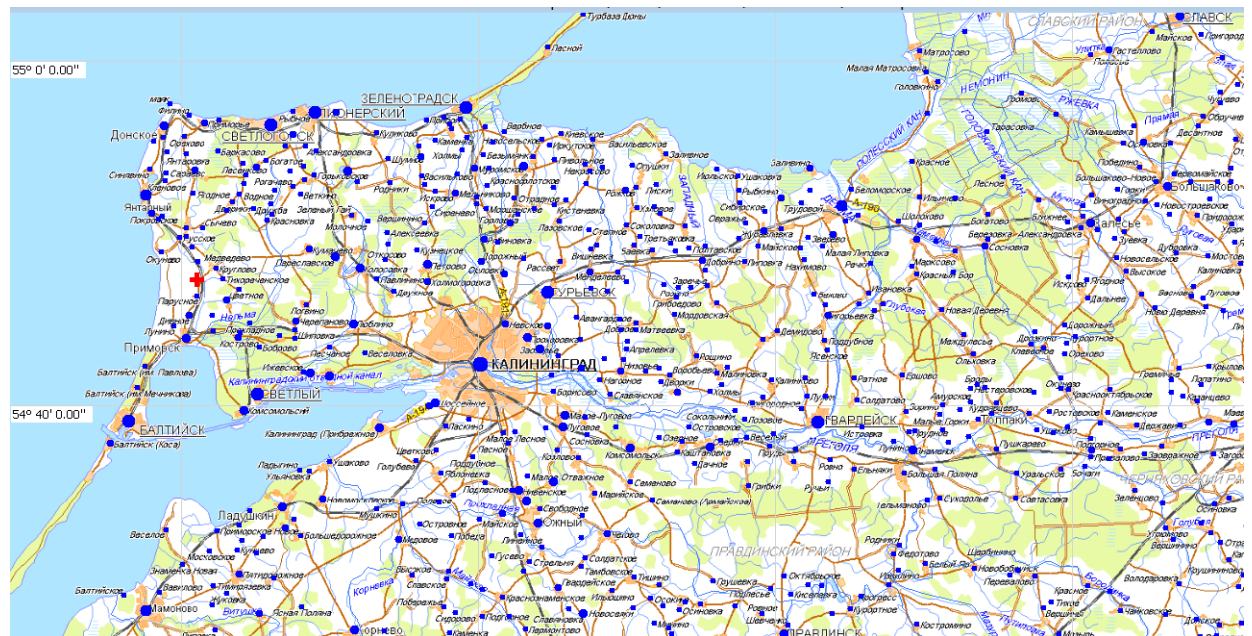
На рисунках 6–8 приведены примеры визуализации результатов расчета последствий с помощью ГИС «Экстремум» для вариантов 4, 15 и 16 при использовании параметров очага ФИЦ ЕГС РАН, Геологической службы США и разных коэффициентов уравнения (2) [15; 20]. Значками разного размера показаны города с разной численностью населения, цвет значка – средняя степень повреждения застройки (d).



Средняя степень повреждения застройки (d): зеленый $d = 1$; оранжевый $d = 2$; красный $d = 3$; бордовый $d = 4$; черный $d = 5$; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 6. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 4 (табл. 1)

На рисунке 6 (табл. 1, вариант 4) видно преобладание оранжевого цвета, т.е. $d = 2$, в том числе для Калининграда. Что, скорее всего, связано с оценкой магнитуды по данным ФИЦ ЕГС РАН в оперативном режиме.



Средняя степень повреждения застройки (d): зеленый $d = 1$; оранжевый $d = 2$; красный $d = 3$; бордовый $d = 4$; черный $d = 5$; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 7. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 15 (табл. 1)

При использовании параметров очага Геологической службы США для коэффициентов макросейсмического поля по [20] получаем заниженные оценки последствий землетрясения, почти для всех населенных пунктов преобладает синий цвет (рис. 7, табл. 1, вариант 15), для коэффициентов макросейсмического поля по работе [15] в ближней к эпицентру

зоне появляются населенные пункты зеленого цвета (рис. 8, табл. 1, вариант 16), что соответствует средней степени повреждения $d = 1$ и не исключает более сильных повреждений.



Средняя степень повреждения застройки (d): зеленый $d = 1$; оранжевый $d = 2$; красный $d = 3$; бордовый $d = 4$; черный $d = 5$; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 8. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 16 (табл. 1)

Распределение средних степеней повреждений d для отдельных городов в ближней зоне для вариантов 4 и 16 приведено на рисунке 9.

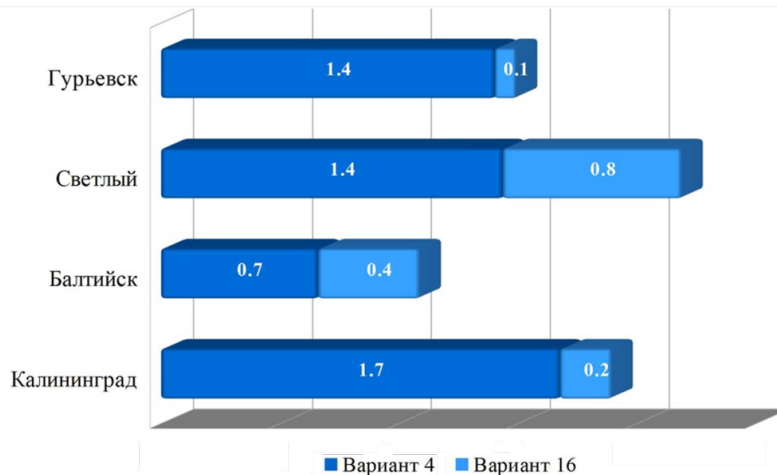
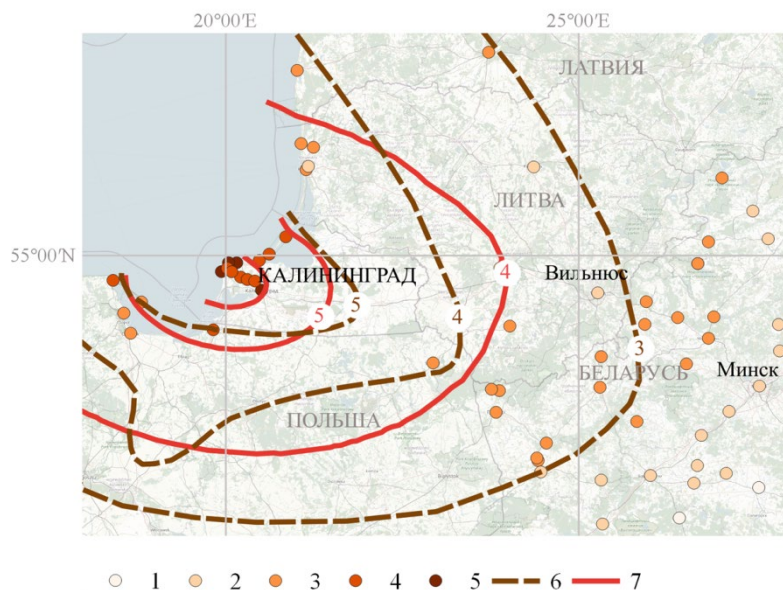


Рисунок 9. – Распределение средних степеней повреждений для вариантов 4 и 16 (табл. 1)

Обсуждение результатов

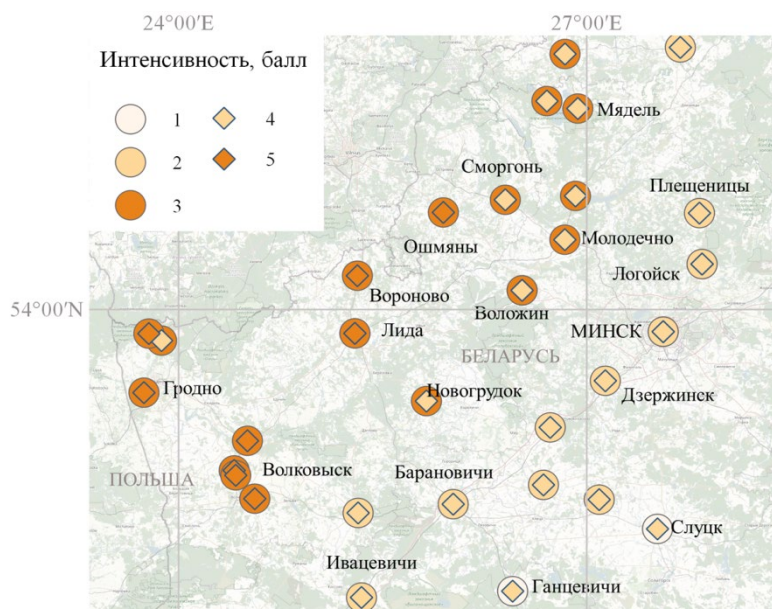
В настоящей работе показана возможность применения откалиброванных параметров макросейсмического поля ГИС «Экстремум» для ретроспективного прогнозирования последствий Калининградского землетрясения 2004 г. Получена хорошая сходимость расчетных значений интенсивности для варианта 16 (табл. 1) и наблюдаемых значений интенсивности I в соответствии с оценками коллектива авторов разных стран [23] (рис. 10).



Наблюдаемые интенсивности в населенных пунктах и изосейсты: 1 – $I=2$; 2 – $I=3$; 3 – $I=4$; 4 – $I=5$; 5 – $I=6$; 6 – наблюдаемые изосейсты по работе [23]; 7 – расчетные изосейсты, полученные с помощью ГИС «Экстремум» по варианту 16 (табл. 1)

Рисунок 10. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32

Сравнение наблюдаемых данных для Беларуси [18] с результатами расчета возможной интенсивности с применением откалиброванных моделей ГИС «Экстремум» (рис. 11) также свидетельствует о хорошей сходимости и целесообразности использования системы для прогнозирования последствий более сильных событий в регионе в соответствии с картами зон ВОЗ [6; 24; 25].



Наблюдаемые интенсивности в населенных пунктах по работе [18]: 1 – $I=2$; 2 – $I=3$; 3 – $I=4$; расчетные интенсивности, полученные с помощью ГИС «Экстремум» по варианту 16 (табл. 1): 4 – $I=2-3$; 5 – $I=3-4$

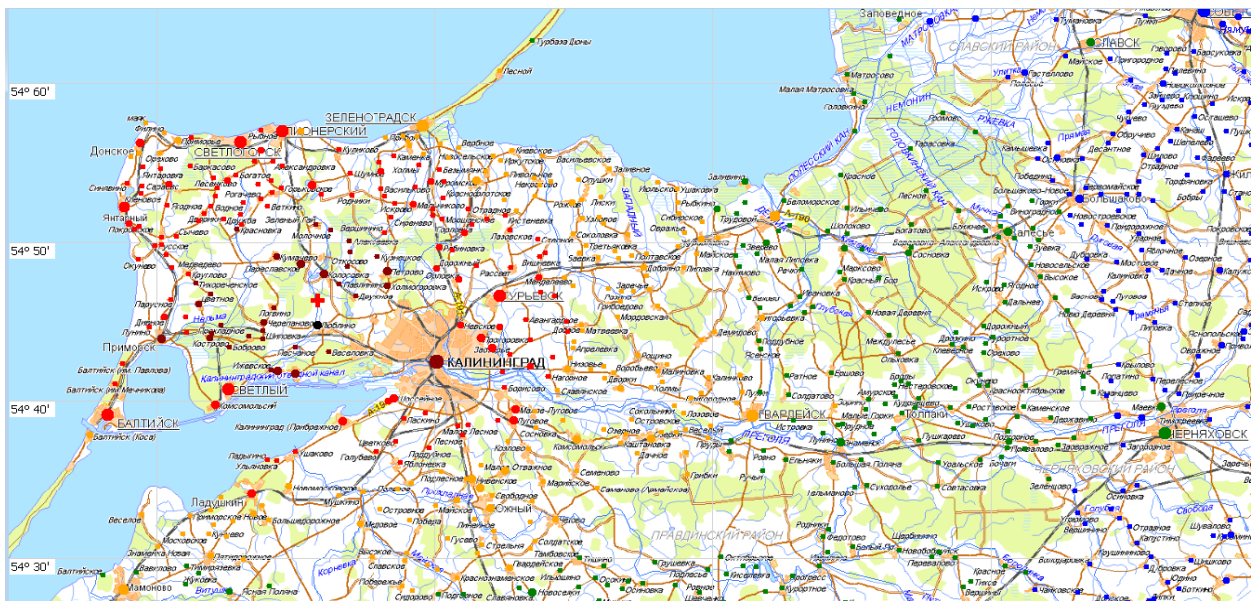
Рисунок 11. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 для территории Беларуси

Для оценки возможных последствий сценарийных землетрясений использовались параметры события 2014 г., полученные ФИЦ ЕГС РАН и Геологической службой США. Значение магнитуды $M_s = 5$ было выбрано в соответствии с публикациями [6; 24; 25].

Таблица 2. – Варианты исходных данных для расчета последствий сценарийных землетрясений

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля (1)	Ориентация и коэффициент сжатия k
1	54.77°N; 20.29°E; $M_s = 5,0$; $h = 10$ км (ЕГС РАН)	$b = 1,5$; $v = 2,48$; $c = 3,69$ [15]	279° (CMT Project) $k = 1,5$
2	54.77°N; 20.29°E; $M_s = 5,0$; $h = 6$ км (ЕГС РАН)		
3	54.787°N; 20.026°E; $M_s = 5,0$; $h = 10$ км (USGS)		
4	54.787°N; 20.026°E; $M_s = 5,0$; $h = 6$ км (USGS)		

На рисунках 12–13 приведены результаты расчета с помощью ГИС «Экстремум» для вариантов 1 и 3 (табл. 2) при разных координатах эпицентра и при одинаковой глубине очага $h = 10$ км. Преобладают красный ($d = 3$) и бордовый ($d = 4$) цвета, что связано с использованием значения магнитуды $M_s = 5$.



Средняя степень повреждения застройки (d): зеленый $d = 1$; оранжевый $d = 2$; красный $d = 3$; бордовый $d = 4$; черный $d = 5$; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 12. – Результаты моделирования последствий сценарийного землетрясения: вариант 1 (табл. 2)



Средняя степень повреждения застройки (d): зеленый $d = 1$; оранжевый $d = 2$; красный $d = 3$; бордовый $d = 4$; черный $d = 5$; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 13. – Результаты моделирования последствий сценарийного землетрясения: вариант 3 (табл. 2)

На рисунке 14 показано распределение населенных пунктов с разной средней степенью повреждений при изменении глубины очага сценарийного события.

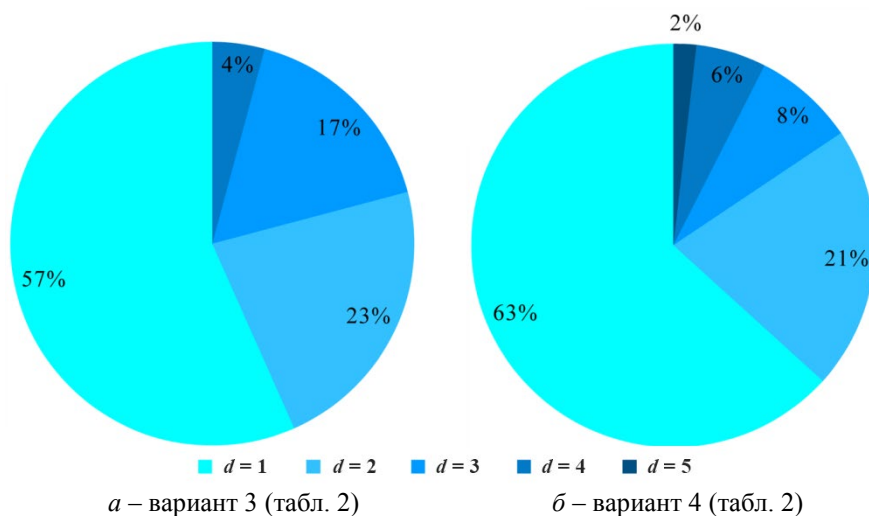


Рисунок 14. – Распределение населенных пунктов с разными средними степенями повреждений

В случае сценарийного события на глубине $h = 6$ км здания в отдельных населенных пунктах средняя степень повреждения может достигать $d = 5$.

Заключение

В статье кратко описана АИУС, обеспечивающая значительное повышение качества принимаемых решений при управлении силами и средствами РСЧС за счет роста оперативности прогноза возможной сейсмической обстановки и риска. Система нуждается в периодической калибровке своих моделей. Калибровка выполняется с использованием данных, собираемых средствами АИУС и полученных при исследованиях в профильных научных организациях. Представлена структура АИУС РСЧС, описаны задачи, выполняемые в рамках основных блоков системы, а также роль и место базы данных с описанием событий, в том числе с информацией о последствиях, используемой в процессе калибровки моделей. Использование базы данных о событиях для калибровки математических моделей, включенных в состав АИУС, позволяет в первую очередь повысить надежность прогнозов параметров возможной обстановки, что влияет на скорость принятия решений и эффективность действий спасателей.

Отмечается важная роль совместных усилий организаций РАН и учебных заведений Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Баумана) по определению зон со стабильными параметрами макросейсмического поля на территории России и сопредельных стран. Районы Русской платформы, включая территорию Восточной Прибалтики с умеренной сейсмичностью и высокой плотностью населения, заслуживают повышенного внимания исследователей.

Приводится пример успешного использования результатов калибровки макросейсмического поля для района Восточной Прибалтики. В примере дается описание ретроспективной оценки последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. и прогноз последствий в случае более сильного события с $M_{\max} = 5,0$.

Погрешности моделирования, оцененные как отношение площади дополнения, образованного пересечением областей, ограниченных одноименными изосейстами, и максимальной площади, ограниченной изосейстой, не превышают 30 %. Этот показатель является приемлемой характеристикой погрешности, обеспечивающей качественную работу при оперативном планировании спасательных операций.

Отмечается, что деятельность по регистрации, классификации и описанию событий, возникающих в случае проявления опасности, является ключевой для повышения эффективности деятельности государства по обеспечению безопасности населения в случае ЧС при-

родного и техногенного характера. Созданная для этих целей АИУС, поддерживаемая усилиями НЦУКС, нуждается в дальнейшем развитии и интеграции данной системы в среду международных систем, обслуживающих нужды других государств и научного сообщества по минимизации уровня риска. Интеграция предполагает решение множества проблем, направленных на стандартизацию описания событий, поиск путей обеспечения доступа к функциям внесения новой информации и редактирования существующей. В связи с этим важен положительный опыт национальных [26; 27] и международных организаций, включая CODATA [28], занимающейся решением проблем интеграции и анализа больших данных в целях уменьшения риска природных катастроф.

Результаты настоящего исследования могут лечь в основу дальнейшего взаимодействия структур Республики Беларусь и Российской Федерации по калибровке моделей расчета возможных потерь от прогнозируемых землетрясений.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Института геоэкологии РАН, ГР № АААА-А19-119021190077-6; государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00576-21; проектов МГТУ им. Баумана № 075-01304-20, № 075-11-2019-087.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларионов, В.И. Оценка сейсмического риска / В.И. Ларионов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2017. – № 2. – С. 22–37.
2. Sushchev S.P. Seismic Risk Assessment and Management with Extremum System Application / S.P. Sushchev, V.I. Larionov, N.I. Frolova // Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: матер. XV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 18–20 мая 2010 г. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. – С. 327–345. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15549580&pff=1>. – Дата доступа: 02.08.2021.
3. Фролова, Н.И. Анализ факторов, влияющих на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений / Н.И. Фролова [и др.] // Сб. тр. XVIII ежегодной конф. «Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи», Москва, 24–25 марта 2016 г. – М.: РУДН, 2016. – С. 230–234. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25885351&pff=1>. – Дата доступа: 02.08.2021.
4. Фролова, Н.И. База знаний о сильных землетрясениях как инструмент повышения надежности оперативных оценок потерь / Н.И. Фролова, А.Н. Угаров // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2018. – № 6. – С. 3–20. DOI: 10.1134/S0869780318060017.
5. Фролова, Н.И. Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений / Н.И. Фролова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 5. – С. 23–37. DOI: 10.31857/S0869-78092019523-37.
6. Рогожин, Е.А. Детальная оценка сейсмической опасности территории Калининграда и тектонический анализ землетрясений 2004 г. / Е.А. Рогожин [и др.] // Инженерные изыскания. – 2014. – № 12. – С. 26–38.
7. Аптикаев, Ф.Ф. Макросейсмические проявления Калининградского землетрясения 2004 г. / Ф.Ф. Аптикаев [и др.] // ГеоРиск. – 2019. – Т. XIII, № 3. – С. 40–59. DOI: 10.25296/1997-8669-2019-13-3-40-59.
8. Дробиз, М.В. Оценка геоэкологического риска сейсмоопасности строительства подземного хранилища газа / М.В. Дробиз // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2014. – № 1. – С. 65–72. – Режим доступа: <https://journals.kantiana.ru/vestnik/2921/8131/>. – Дата доступа: 02.08.2021.
9. Татевосян, Р.Э. О природе сейсмических явлений в платформенных областях на примере Белоруссии / Р.Э. Татевосян, Н.Г. Мокрушина // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 3. – С. 27–44. DOI: 10.21455/VIS2018.3-3.
10. Рейснер, Г.И. Современные эндогенные режимы Северной Евразии / Г.И. Рейснер, Л.И. Иогансон // Геоморфология. – 1996. – № 2. – С. 9–19.
11. Уломов, В.И. К оценке сейсмической опасности в Калининградской области / В.И. Уломов, К.Н. Акатова, Н.С. Медведева // Физика земли. – 2008. – №. 9. – С. 3–19. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11035796>. – Дата доступа: 02.08.2021.

12. Кофф, Г.Л. Факторы сейсмического риска при Калининградских землетрясениях / Г.Л. Кофф [и др.] // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2009. – С. 75–79.
13. Гарецкий, Р.Г. Особенности тектоники и геодинамики Восточно-Европейской платформы / Р.Г. Гарецкий // Літасфера. – 2007. – № 2 (27). – С. 3–13. – Режим доступа: <http://lithosphere.by/category/2007г-№27/page/6/>. – Дата доступа: 02.08.2021.
14. Ассиновская, Б.А. Сейсмотектоническая позиция Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года / Б.А. Ассиновская, М.К. Овсов // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 32–43. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11035798>. – Дата доступа: 02.08.2021.
15. Петрова, Н.В. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала / Н.В. Петрова, Р.А. Дягилев, И.П. Габсатарова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 5–25. DOI: 10.21455/VIS2020.4-1.
16. Никонов, А.А. Осмуссаарское землетрясение 25.10.1976 г.: макросейсмика, сейсмотектоника, механизм очага / А.А. Никонов // Физика Земли. – 2002. – № 8. – С. 74–88.
17. Габсатарова, И.П. Калининградские землетрясения 21 сентября 2004 г. с $M_w = 4.6$ и 4.8 , $I_0 = 6$ и $6-7$ (Запад России) / И.П. Габсатарова [и др.] // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН. – 2010. – С. 343–363.
18. Аронов, А.Г. Макросейсмические эффекты на территории Беларуси от Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 г. / А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2009. – С. 109–115.
19. Шебалин, Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля / Н.В. Шебалин // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука. – 1977. – С. 20–30.
20. Assinovskaya, B.A. Felt earthquakes of the XXth century in the Eastern Baltic shield / B.A. Assinovskaya, A.A. Nikonov // XVI General Assembly of the European Seismological Commission, Tel-Aviv, Israel, August 23–28, 1998: abstr. – P. 10.
21. Фролова, Н.И. Калибровка модели затухания сейсмической интенсивности на примере землетрясений в Албании / Н.И. Фролова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 5. – С. 62–77. DOI: 10.31857/S0869780920050033.
22. Шебалин, Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании / Н.В. Шебалин // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука. – 1968. – С. 95–121.
23. Gregersen, S. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004 / S. Gregersen [et al.] // Physics of The Earth and Planetary Interiors. – 2007. – Vol. 164, Iss. 1–2. – P. 63–74. DOI: 10.1016/j.pepi.2007.06.005.
24. Айзберг, Р.Е. Сейсмогенерирующие структуры и зоны ВОЗ // Сейсмотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения / Р.Е. Айзберг [и др.]; под ред. Р.Г. Гарецкого, С.А. Несмеянова. – М.: Книга и бизнес. – 2009. – Гл. 7. – С. 77–88.
25. Несмеянов, С.А. Сейсмичность северо-западной части Русской плиты и ее гляциоизостатическая природа / С.А. Несмеянов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 2. – С. 141–156. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16374423>. – Дата доступа: 02.08.2021.
26. Мурашко, Н.И. О совершенствовании системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Н.И. Мурашко, А.В. Андреев, В.М. Станкевич // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 90–96. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.90.
27. Юржиц, А.М. Применение геоинформационных систем в информационно-аналитической деятельности МЧС Республики Беларусь / Юржиц А.М., Чумила Е.А., Точеный Н.Н. // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 410–417. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.410.
28. Fakhruddin B. Next Generation Disaster Data Infrastructure. A study report of the CODATA Task Group on Linked Open Data for Global Disaster Risk Research, September 12, 2019, Paris / B. Fakhruddin et al. – Paris: CODATA, 2019. – 26 p. DOI: 10.5281/zenodo.3406127.

**Калибровка модели геоинформационной системы «Экстремум»
для оценки потерь от землетрясений**

**Calibration of the model of the geoinformation system «Extremum»
for estimating earthquake losses**

Фролова Нина Иосифовна

кандидат физико-математических наук
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт геоэкологии
им. Е.М. Сергеева» Российской академии
наук, ведущий научный сотрудник

Адрес: Уланский пер., д. 13, стр. 2,
101000, г. Москва, Россия
Email: frolovanina7@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5829-1603

Nina I. Frolova

PhD in Physical and Mathematical Sciences
Sergeev Institute of Environmental Geoscience
of the Russian Academy of Sciences,
Leading Researcher

Address: Ulanskiy lane, 13, bld. 2,
101000, Moscow, Russia,
Email: frolovanina7@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5829-1603

Габсатарова Ирина Петровна

кандидат физико-математических наук
Федеральный исследовательский центр
«Единая геофизическая служба Российской
академии наук», ведущий научный сотрудник

Адрес: пр. Ленина, 189
249035, г. Обнинск,
Калужская обл., Россия
Email: ira@gsras.ru
ORCID: 0000-0001-8998-340X

Irina P. Gabsatarova

PhD in Physical and Mathematical Sciences
Geophysical Survey
of the Russian Academy of Sciences,
Leading Researcher

Address: Lenin av., 189,
49035, Obninsk,
Kaluga Region, Russia
Email: ira@gsras.ru
ORCID: 0000-0001-8998-340X

Суцев Сергей Петрович

доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана,
кафедра экологии и промышленной
безопасности, профессор

Адрес: 2-я Бауманская ул., д. 5/1,
105005, г. Москва, Россия
Email: Sersan150@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3950-8405

Sergey P. Sushchev

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Bauman Moscow State Technical University,
Chair of Ecology and Industrial Safety,
Professor

Address: 2nd Baumanskaya str., 5/1,
105005, Moscow, Russia
Email: Sersan150@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3950-8405

Малаева Наталья Сергеевна

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт геоэкологии
им. Е.М. Сергеева» Российской академии
наук, инженер

Адрес: Уланский пер., д. 13, стр. 2,
101000, г. Москва, Россия
Email: natashamalaeva@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4469-1205

Natal'ya S. Malaeva

Sergeev Institute of Environmental Geoscience
of the Russian Academy of Sciences,
Engineer

Address: Ulanskiy lane, 13, bld. 2,
101000, Moscow, Russia,
Email: natashamalaeva@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4469-1205

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.427>

CALIBRATION OF THE MODEL OF THE GEOINFORMATION SYSTEM «EXTREMUM» FOR ESTIMATING EARTHQUAKE LOSSES

Frolova N.I., Gabsatarova B.P., Suchshev S.P., Malaeva N.S.

Purpose. Updating the information content of the automated information and control system (AICS) of the unified state system for the prevention and elimination of emergency situations (RSChS) of the Ministry of Emergency Situations of Russia to improve the reliability of seismic risk assessments and operational estimates of earthquake losses in order to ensure the safety of the population.

Methods. The study of the influence of the features of seismic intensity attenuation on the estimates of earthquake losses in the Eastern Baltic territories was carried out by calibrating the parameters of the macroseismic field and simulation modeling using the system «Extremum».

Findings. Examples of successful use of the results of the calibration of the macroseismic field for a retrospective assessment of the consequences of the Kaliningrad earthquake on September 21, 2004 and the prediction of consequences in the case of a stronger event with $M_{max} = 5.0-5.5$ in the Eastern Baltic area are given. Acceptable estimates of the modeling error have been obtained for the case of operational assessment of losses from strong earthquakes. The effectiveness of periodic calibration of models of the system «Extremum» using data collected by means of AICS and obtained in the research of scientific organizations of the Russian Academy of Sciences, including the Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences» is shown.

Application field of research. The obtained results are of great practical importance and can be used in the assessment of seismic risk, as well as in the operational assessment of the consequences of earthquakes to increase the reliability of the predicted parameters of the possible situation, which affects the speed of decision-making and the effectiveness of rescuers' actions.

Keywords: automated information and control system, GIS «Extremum», reliability of operational estimates of losses, Kaliningrad earthquake, macroseismic field.

(The date of submitting: August 10, 2021)

REFERENCES

1. Larionov V.I., Frolova N.I., Ugarov A.N., Sushchev S.P., Kozlov M.A., Malaeva N.A., Barskaya T.V. Otsenka seismicheskogo riska [Seismic Risk Assessment]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2017. No. 2. Pp. 22–37. (rus)
2. Sushchev S.P., Larionov V.I., Frolova N.I. Seismic Risk Assessment and Management with Extremum System Application. *Proc. XV Intern. scientific-practical conf. «Problemy zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy»*, Moscow, May 18-20. Moscow: FSBI VNII GOChS (FC), 2010. Pp. 327–345. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15549580&pff=1> (accessed: August 02, 2021).
3. Frolova N.I., Bonnin J., Gabsatarova I.P., Ugarov A.N., Barskaya T.V. Analiz faktorov, vliyayushchikh na nadezhnost' operativnykh otsenok poter' ot zemletryaseniy [Analysis of factors affecting the reliability of operative loss estimates due to earthquakes]. *Proc. XVIII annual conf. «Sergeevskie chteniya. Inzhenernaya geologiya i geoekologiya. Fundamental'nye problemy i prikladnye zadachi»*, Moscow, March 24–25, 2016. Moscow: RUDN University, 2016. Pp. 230–234. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25885351&pff=1> (accessed: August 02, 2021).
4. Frolova N.I., Ugarov A.N. Baza znaniy o sil'nykh zemletryasiyakh kak instrument povysheniya nadezhnosti operativnykh otsenok poter' [Knowledge base about past earthquakes consequences as a tool to increase the reliability of near real time loss estimation]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2018. No. 6. Pp. 3–20. (rus). DOI: 10.1134/S0869780318060017.
5. Frolova N.I., Gabsatarova I.P., Petrova N.V., Ugarov A.N., Malaeva N.S. Vliyanie osobennostey zatushaniya seismicheskoy intensivnosti na nadezhnost' operativnykh otsenok poter' ot zemletryaseniy [Influence of shaking intensity attenuation peculiarities on reliability of earthquake loss estimation in emergency mode]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2019. No. 5. Pp. 23–37. (rus). DOI: 10.31857/S0869-78092019523-37.
6. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Gorbatikov A.V., Lutikov A.I., Novikov S.S., Marakhanov A.V., Stepanova M.Yu., Andreeva N.V., Lar'kov A.S. Detal'naya otsenka seismicheskoy opasnosti territorii

- Kaliningrada i tektonicheskiy analiz zemletryaseniya 2004 g. [Detailed seismic hazard assessment of the Kaliningrad territory and tectonic analysis of the earthquakes occurred in 2004]. *Engineering survey*, 2014. No. 12. Pp. 26–38. Available at: http://www.geomark.ru/journals_list/zhurnal-inzhenernye-izyskaniya-122014/ (accessed: August 02, 2021). (rus)
7. Aptikaev F.F., Aleshin A.S., Assinovskaya B.A., Nikonov A.A., Pogrebchenko V.V., Erteleva O.O. Makroseismicheskie proyavleniya Kaliningradskogo zemletryaseniya 2004 g. [Macro seismic evidences of the 2004 Kaliningrad earthquake]. *GeoRisk*, 2019. Vol. XIII, No. 3. Pp. 40–59. (rus). DOI: 10.25296/1997-8669-2019-13-3-40-59.
 8. Drobiz M.V. Otsenka geoekologicheskogo riska seysmopasnosti stroitel'stva podzemnogo khranilishcha gaza [The geocological seismic risk associated with the construction of an underground gas storage in the Kaliningrad region]. *IKBFU's Vestnik. Natural and Medical Sciences*, 2014. Iss. 1. P. 65–72. Available at: <https://journals.kantiana.ru/eng/vestnik/1678/4778/> (accessed: August 02, 2021). (rus)
 9. Tatevossian R.E., Mokrushina N.G. O prirode seysmicheskikh yavleniy v platformennykh oblastiakh na primere Belorussii [On the origins of seismic phenomena in platform areas: a case study of Belarus]. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, 2018. Vol. 45, No. 3. Pp. 27–44. (rus). DOI: 10.21455/VIS2018.3-3.
 10. Reisner G.I., Ioganson L.I. Sovremennye endogennye rezhimy Severnoy Evrazii [Modern endogenous regimes of the Northern Eurasia]. *Geomorfologiya*, 1996. No. 2. Pp. 9–19. (rus)
 11. Ulomov V.I., Akatova K.N., Medvedeva N.S. Estimation of seismic hazard in the Kaliningrad region. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2008. Vol. 44, No. 9. Pp. 691–705. DOI: 10.1134/S1069351308090012.
 12. Koff G.L., Kotlov V.F., Zaigrin I.V., Bogomolova T.V., Chesnokova I.V. Faktory seysmicheskogo riska pri Kaliningradskikh zemletryaseniyaakh [Seismic risk factors during Kaliningrad earthquakes]. *Kaliningradskoe zemletryasenie 21 sentyabrya 2004 goda [Kaliningrad earthquake on September 21, 2004]*. Saint Petersburg: Publishing house VSEGEI, 2009. Pp. 75–79.
 13. Garetsky R.G. Osobennosti tektoniki i geodinamiki Vostochno-Evropeyskoy platformy [Tectonic and geodynamic peculiarities of of the East European platform]. *Litasfera*, 2007. No. 2 (27). Pp. 3–13. Available at: <http://lithosphere.by/category/2007r-№27/page/6/> (accessed: August 2, 2021). (rus)
 14. Assinovskaya B.A., Ovsov M.K. Seismotectonic position of the Kaliningrad September 21, 2004, earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2008. Vol. 44, No. 9. Pp. 717–727. DOI: 10.1134/S1069351308090036.
 15. Petrova N.V., Dyagilev R.A., Gabsatarova I.P. Osobennosti zatukhaniya seysmicheskogo effekta zemletryaseniya Russkoy platformy i Urala [Features of seismic effect attenuation of the Russian platform and Ural earthquakes]. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, 2020. Vol. 47, No. 4. Pp. 5–25. (rus). DOI: 10.21455/VIS2020.4-1.
 16. Nikonov A.A. Osmussaarskoe zemletryasenie 25.10.1976 g.: makroseismika, seysmotektonika, mekhanizm ochaga [The Osmussaar earthquake on October 25, 1976: macro seismic survey, seismotectonics, source mechanism]. *Fizika zemli*, 2002. No. 8. Pp. 74–88.
 17. Gabsatarova I.P., Chepkunas L.S., Babkova E.A., Malyanova L.S., Ryzhikova M.I. Kaliningradskie zemletryaseniya 21 sentyabrya 2004 g. s $M_w = 4.6$ i 4.8 , $I_0 = 6$ i $6-7$ (Zapad Rossii) [Kaliningrad earthquakes on September 21, 2004 with $M_w = 4.6$ and 4.8 , $I_0 = 6$ and $6-7$ (West of Russia)]. *Earthquakes of the Northern Eurasia*. Obninsk: GS RAS, 2010. Pp. 343–363. (rus)
 18. Aronov A.G., Seroglazov R.R., Aronova T.I. Makroseismicheskie efekty na territorii Belarusi ot Kaliningradskikh zemletryaseniya 21 sentyabrya 2004 g. [Macro seismic effects from the Kaliningrad earthquakes on September 21, 2004 on the territory of Belarus]. *Kaliningradskoe zemletryasenie 21 sentyabrya 2004 goda [Kaliningrad earthquake on September 21, 2004]*. Saint Petersburg: Publishing house VSEGEI, 2009. Pp. 109–115. (rus)
 19. Shebalin N.V. Opornye zemletryaseniya i uravneniya makroseismicheskogo polya [Reference earthquakes and macro seismic field equations]. *Novyy Katalog sil'nykh zemletryaseniya na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 g. [New catalogue of strong earthquakes for the USSR territory from ancient times till 1975]*. Moscow: Nauka, 1977. Pp. 20–30. (rus)
 20. Assinovskaya B.A., Nikonov A.A. Felt earthquakes of the XXth century in the Eastern Baltic shield. *Proc. XVI General Assembly of the European Seismological Commission, Tel-Aviv, Israel, August 23–28, 1998*. Pp. 10.
 21. Frolova N.I., Gabsatarova I.P., Ugarov A.N., Malaeva N.S. Kalibrovka modeli zatukhaniya seysmicheskoy intensivnosti na primere zemletryaseniya v Albanii [Calibration of seismic intensity attenuation model by the example of earthquakes in Albania] *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2020. No. 5. Pp. 62–77. (rus). DOI: 10.31857/S0869780920050033.

22. Shebalin N.V. Metody ispol'zovaniya inzhenerno-seismologicheskikh dannykh pri seismicheskom rayonirovani [Procedures of engineering seismological data application for seismic zoning]. *Seismicheskoe rayonirovaniye SSSR [Seismic zoning of the USSR]*. Moscow: Nauka, 1968. Pp. 95–121. (rus)
23. Gregersen S., Wiejacz P., Dębski W., Domanski B., Assinovskaya B., Guterch B., Mäntyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grünthal G., Husebye E.S., Sliupa S. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2007. Vol. 164, Iss. 1–2. Pp. 63–74. DOI: 10.1016/j.pepi.2007.06.005.
24. Ayzberg R.E., Aronov A.G., Aronova T.I., Boyarkin S.A., et al. Seysmogeneriruyushchie struktury i zony vozniknoveniya opasnykh zemletryaseniy [Seismogenerating structures and zones of occurrence of dangerous earthquakes]. *Seysmotektonika plit drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniya [Seismotectonics of ancient platforms plates in the area of Quaternary glaciation]*: ed. by R.G. Garetskiy, S.A. Nesmeyanov. Moscow: Kniga i biznes, 2009. Chapter 7. Pp. 77–87.
25. Nesmeyanov S.A., Lutikov A.I., Voejkova O.A., Dontsova G. Yu. Seysmichnost' severo-zapadnoy chasti Russkoy plity i ee glyatsioizostaticheskaya priroda [Seismicity of the northwestern part of the Russian plate and its glacioisostatic nature]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2011. No. 2. Pp. 141-156. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16374423> (accessed: August 2, 2021). (rus)
26. Murashko N.I., Andreenko A.V., Stankevich V.M. O sovershenstvovanii sistemy monitoringa i prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy [Improving the system of emergency monitoring and predicting]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 90–96. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.90.
27. Yurzhits A.M., Tocheny N.N., Chumila E.A. Primenenie geoinformatsionnykh sistem v informatsionno-analiticheskoy deyatel'nosti MChS Respubliki Belarus' [Application of geoinformation systems in the information and analytical activities of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 3. Pp. 410–417. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.410.
28. Fakhruddin B., Chu E., Li G., Frolova N. et al. *Next Generation Disaster Data Infrastructure. A study report of the CODATA Task Group on Linked Open Data for Global Disaster Risk Research*, September 12, 2019, Paris. 26 p. DOI: 10.5281/zenodo.3406127.