

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 624.131.1:551.252

КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В АЛБАНИИ

© 2020 г. Н. И. Фролова^{1,*}, И. П. Габсатарова^{2,**}, А. Н. Угаров^{3,***}, Н. С. Малаева¹

¹ Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН),
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

² Федеральный исследовательский центр “Единая Геофизическая Служба РАН” (ФИЦ ЕГС РАН),
Ленина пр., д. 189, Обнинск, Калужская обл., 249035 Россия

³ Московский Государственный Технический Университет им. Баумана (МГТУ),
2-ая Бауманская ул., д. 5, Москва, 105005 Россия

*E-mail: frolovanina7@gmail.com

**E-mail: ira@gsgsas.ru

***E-mail: garo@esrc.ru

Поступила в редакцию 20.05.2020 г.

После доработки 07.06.2020 г.

Принята к публикации 08.06.2020 г.

Исследована возможность применения результатов калибровки параметров модели макросейсмического поля района-аналога при решении задач повышения точности оперативной оценки последствий землетрясений с использованием системы “Экстремум”. Для района Албании, входящего в Альпийско-Гималайский сейсмоактивный пояс, применен набор параметров, полученных при калибровке модели макросейсмического поля в другом районе этого пояса, расположенном на Кавказе и имеющем схожие черты тектонического развития. Полученные результаты показали целесообразность использования подхода, основанного на выявлении районов-аналогов, в качестве первого итерационного шага для повышения надежности оперативных оценок. Показана эффективность многошагового, итерационного подхода к решению задачи калибровки, выполняемой при фиксации каждого нового случая сильного и разрушительного землетрясения. Подтверждена целесообразность и эффективность применения баз данных с описанием сейсмических событий при реализации предложенного подхода к калибровке макросейсмической модели системы “Экстремум”.

Ключевые слова: оперативные оценки потерь, разрушительное землетрясение, макросейсмическое поле, Альпийско-Гималайский сейсмоактивный пояс, информационная система “Экстремум”

DOI: 10.31857/S0869780920050033

ВВЕДЕНИЕ

Одна из глобальных задач, сформулированных в рамках Сендайской рамочной программы по снижению риска природных катастроф на 2015–2030 гг. (<https://www.unisdr.org/files/43291.pdf>), – совершенствование систем раннего оповещения о разных видах угроз, предусматривающих оперативные оценки возможных последствий.

Несмотря на определенный прогресс в создании систем раннего оповещения и прогнозирования последствий землетрясений в разных странах мира, существует значительная потребность в повышении надежности оперативных оценок потерь от землетрясений, которые способствуют принятию эффективных решений о реагировании и оказании гуманитарной помощи. В первую очередь это относится к глобальным информационным системам (ИС), использующим имитаци-

онное моделирование на разных этапах прогнозирования социальных потерь от сильных и разрушительных землетрясений.

Ранее на основе анализа большого числа обработанных с использованием ИС данных в оперативном и ретроспективном режимах был установлен факт зависимости точности и надежности оценок ожидаемых потерь от землетрясений от значительного числа факторов [5–7]. В первую очередь, это наличие достоверных данных о расположении эпицентра землетрясения, об элементах риска (население и застройка); о региональных параметрах математических зависимостей, используемых для моделирования распределения сейсмической интенсивности от сильного события; о региональных параметрах функций уязвимости зданий и сооружений различного типа и законов поражения населения в поврежденных зданиях. Минимизация влияния этих факторов

Таблица 1. Основные параметры землетрясений на Балканском п-ве в 2019–2020 гг. по данным ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>)

Дата и время в очаге, час-мин-сек (GMT)	Кординаты эпицентра, градусы	Глубина, км	<i>mb</i>	<i>M_s</i>	Район
26.11.2019; 02:54:10	41.59; 19.43	20	6.2	6.6	Албания
26.11.2019; 06:08:19	41.68; 19.35	10	5.8	5.5	Албания
27.11.2019; 07:23:39	35.75; 23.10	70	6.3		Крит, Греция
28.01.2020; 15:38:34	35.16; 27.87	10	5.6		О-ва Додекадес, Греция
30.01.2020; 01:28:04	35.23; 27.57	10	5.7		О-ва Додекадес, Греция
30.01.2020; 11:21:37	35.21; 27.75	10	5.7	5.5	О-ва Додекадес, Греция
06.02.2020; 09:24:17	39.30; 21.49	10	5.4		Греция
21.03.2020; 00:49:51	39.4; 20.53	10	5.9	5.5	Греция–Албания погр. обл.
22.03.2020; 05:24:04	45.98; 15.99	10	5.5		Словения–Хорватия погр. обл.
02.05.2020; 12:51:04	34.2; 25.57	10	6.5	6.7	Крит, Греция

возможна за счет калибровки используемых моделей на основе информации о прошлых сильных землетрясениях и их последствиях. Разработанная авторами процедура калибровки математических моделей ИС “Экстремум” предполагает выявление границ зон со стабильными параметрами макросейсмического поля [7] и со стабильными параметрами функций уязвимости застройки для отдельных сейсмоопасных регионов РФ.

Процедура калибровки моделей оценки последствий для других сейсмоопасных регионов мира требует международных усилий, включая создание распределенной базы знаний о физических и социально-экономических последствиях прошлых землетрясений. В качестве альтернативы возможно использование устойчивых параметров моделей для районов-аналогов.

Один из успешных примеров совместных усилий экспертов ряда стран по сбору и анализу макросейсмических данных от сильных событий в регионе – проект 1970–1974 гг. ЮНДП/ЮНЕСКО “Исследование сейсмичности Балканского региона”. Анализ собранных макросейсмических данных позволил выявить закономерности затухания в регионе и предварительно определить границы подзон с квазиустойчивыми параметрами макросейсмического поля.

В статье рассматривается возможность использования ранее полученных устойчивых параметров макросейсмического поля на Кавказе [7] для района со схожими сеймотектоническими условиями. Рассматриваются сильные и разрушительные землетрясения, произошедшие в одном из наиболее сейсмоактивных и наиболее изученных районов Альпийско-Гималайского пояса планеты на территории Албании и Югославии. Для Европейской части России это самый географически близкий сейсмоактивный пояс Земли. Район заслуживает повышенного внимания у

российских сейсмологов, как объект, имеющий детальное сейсмологическое описание. Данные о нем позволяют проверять различные гипотезы, воплощаемые в моделях, и отлаживать подходы к расчету возможных потерь с целью их дальнейшего применения в других районах, например, в Кавказском регионе, являющимся также частью Альпийско-Гималайского сейсмоактивного пояса.

Актуальность темы подтверждается повышением сейсмической активности, как в Кавказском, так и в Балканском регионах. В последние шесть месяцев (ноябрь 2019–апрель 2020) отмечается повышение сейсмической активности в пределах Балканского полуострова и акваторий окружающих его морей.

АКТИВИЗАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В БАЛКАНСКОМ РЕГИОНЕ

К наиболее значительным событиям по магнитуде, вызвавшим макросейсмический эффект в населенных пунктах государств Балканского п-ва, можно отнести землетрясения, приведенные в табл. 1 и на рис. 1. По сведениям, собранным Службой срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН и опубликованным в “Информационных сообщениях”, приводим описания выбранных для исследования землетрясений.

Землетрясение 26.11.2019 г. в 02 час 54 мин гринвичского времени (GMT) с $M = 6.6$. в Албании отнесено к категории “очень сильного”. По данным РИА Новости (<https://ria.ru/20191203/1561927208.html>), погибли 51 человек, число пострадавших составило свыше 900 человек. Полностью разрушено 5.5 тыс. единиц жилья, 28 школ, 146 предприятий. Города Дуррес, Тирана и Лежа пострадали больше всего. В столице Албании землетрясение повредило 15 электроподстанций, 2 учреждения здравоохранения и 149 коммерческих объектов.

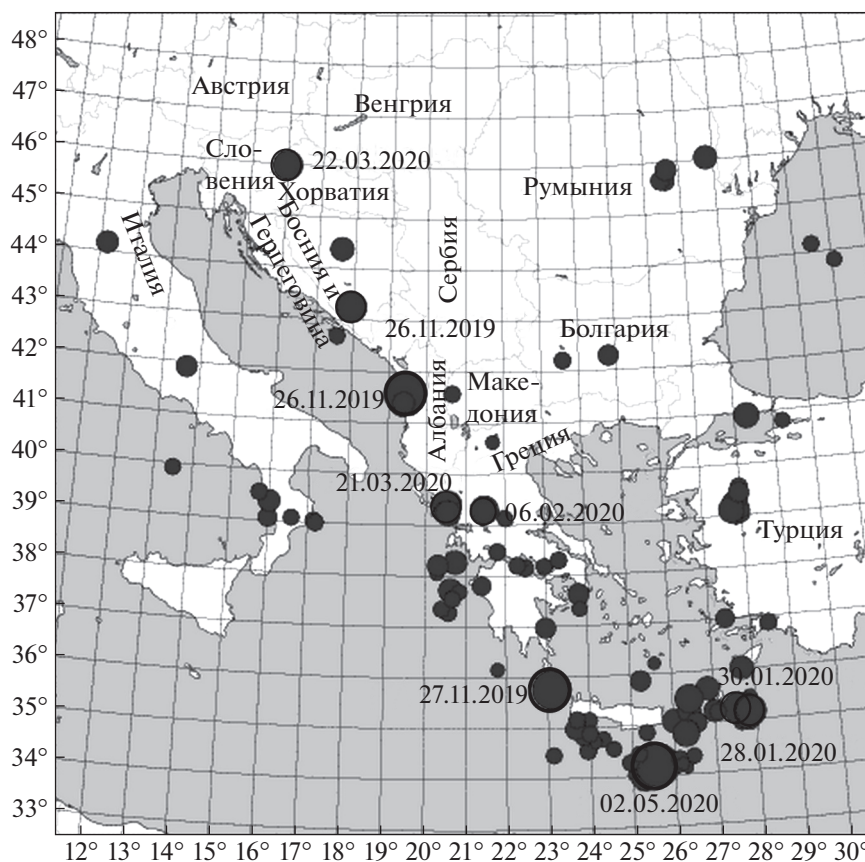


Рис. 1. Положение эпицентров землетрясений вблизи Балканского п-ва в период ноябрь 2019 – апрель 2020 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>).

Основной толчок ощущался в соседней Черногории, Италии и Греции, особенно на острове Корфу. Также сообщалось об ущербе в городах Лачи (Laçi), Камезанд Тирана (Kamëzand Tirana) [17]. По данным с сайта Геологической службы США NEIC (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70006d0m/dyfi/zip>), интенсивность по сообщениям 1181 респондентов из 203 населенных пунктов максимально достигала VIII–IX баллов по шкале ММ или ММСК-86 [10]. Приведенные данные использованы нами для калибровки параметров макросейсмического поля.

Землетрясение в Хорватии 22.03.2020 г. в 05 час 24 мин GMT с $M = 5.5$. Меньше чем через час, в 06 час 01 мин GMT произошел толчок с магнитудой $M = 5.0$. По данным РИА Новости (<https://ria.ru/20200322/1568972324.html>), в результате землетрясения пострадал 15-летний подросток, на которого упала часть фасада. Жители некоторых районов Загреба остались без воды и электричества. Кроме того, представитель католического епископата сообщил, что “отломился верх южной башни Загребского кафедрального собора”, также пострадали еще две церкви в черте города. На сайте Геологической службы США

NEIC (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70008dx7/dyfi/zip>) представлена карта интенсивности по сообщениям 1139 респондентов из 253 населенных пунктов. Максимальные сотрясения достигали VII баллов по шкале ММСК-86 или ММ.

Наконец, последним в этой серии было землетрясение с $M = 6.7$ у о. Крит (Греция) 2.05.2020 г. в 12 час 51 мин GMT. По данным Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра CSEM, землетрясение ощущалось в Греции, Турции, Израиле и других странах, однако не принесло значительных разрушений по причине нахождения эпицентра в море.

Из всех перечисленных событий землетрясение 2019 г. в Албании, повлекшее значительные социальные и экономические потери, стало объектом нашего детального исследования.

СИЛЬНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2019 г. В АЛБАНИИ И ЕГО ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

Магнитуда землетрясения 26.11.2019 г. в Албании была оценена как $M_w = 6.4$ (NEIC). По дан-

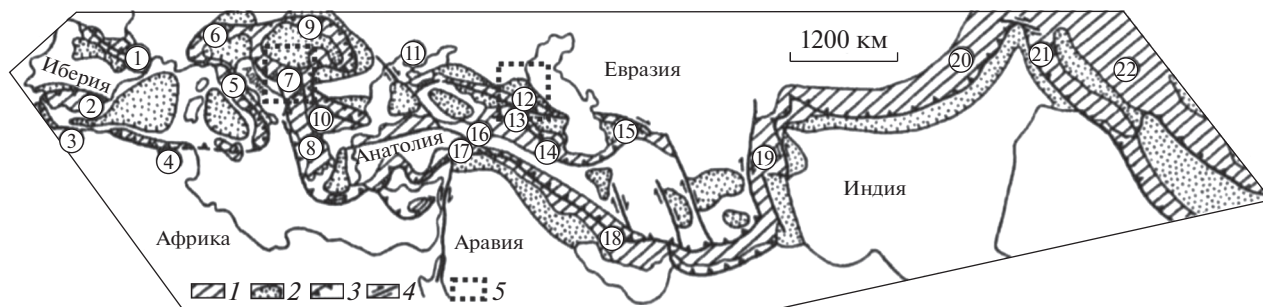


Рис. 2. Общая схема структуры Альпийско-Гималайского пояса по В.Е. Хаину (2001) с отмеченными районами предпологаемого подобию. Условные обозначения: 1 – складчато-покровные сооружения: цифры в кружках: 1 – Пиренеи, 2 – Бетская Кордильера, 3 – Эр-Риф, 4 – Апеннины, 6 – Альпы, 7 – Динариды, 8 – Эллиниды, 9 – Карпаты, 10 – Балканиды, 11 – Горный Крым, 12 – Большой Кавказ, 13 – Малый Кавказ, 14 – Эльбурс, 15 – Копетдаг, 16 – Восточные Понтиды, 17 – Тавриды, 18 – Загрос, 19 – Белуджистанские цепи, 20 – Гималаи, 21 – Индо-Бирманские цепи, 22 – Зондско-Бандская дуга; 2 – передовые прогибы и межгорные впадины, 3 – надвиговые фронты, 4 – сдвиги, 5 – районы исследования авторами статьи.

ным Средиземноморского центра [16, 17], его эпицентр находился на небольшом расстоянии от северо-западного берега, на расстоянии около 7 км к северу от г. Дуррес и в 30 км к западу от столицы страны Тираны. На основе решений механизмов очагов, предоставленных несколькими сейсмологическими институтами и наблюдений на местах, главный удар был вызван активацией разлома СЗ–ЮВ простирания с кинематикой взброса.

Тектоническая позиция района землетрясения связана с передовым Предадриатическим прогибом, лежащим между Адриатической микроплитой на западе и орогенными структурами на востоке. Эта позиция может быть расценена, как подобная той тектонике, которая изучена нами ранее на примере землетрясений Терско-Каспийского передового прогиба (ТК) на Кавказе, принадлежащего Альпийско-Гималайскому поясу. Уточнением является его принадлежность к другой ветви – Добружинско-Крымско-Кавказско-Копетдагской. ТК прогиб расположен между Скифской плитой и орогенными структурами Дагестанского клина и Большого Кавказа. В процессе отработки методики более точного расчета потерь в этом районе одним из наиболее изученных стало – Курчалойское землетрясение 11.10.2008 г. [6, 7]. Представляет интерес применить подход, отработанный нами на Кавказе, для расчета потерь от Албанских землетрясений 2019 г.

Территория Албании расположена в зоне конвергенции (коллизии) между Евразийской плитой и микроплитой Адрия [13, 14]. По Хаину В.Е. [11], район землетрясения связан с Динаро-Зондской ветвью (ДЗВ) Альпийско-Гималайского (АГП) пояса. Это самая протяженная из ветвей АГП, возникшая в пределах основного ствола Неотетиса, тянущаяся от Альп на северо-западе до Гималаев на востоке. Эта ветвь, резко поворачивая к

югу, идет через Индо-Бирманские цепи до Зондской дуги и структур Филиппин. Часть ДЗВ простирается вдоль побережья Адриатического моря в виде Динарид и Эллинид, занимающих территорию Албании с севера и юга соответственно.

Динариды простираются параллельно адриатическому побережью от Словении до Черногории; они получили свое название от Динарского хребта, вершины которого достигают 2500 м. На северо-западе Динариды сочленяются с Южными Альпами по широтному разлому, вдоль которого Альпы на них надвинуты. На юго-востоке Динариды граничат с продолжающими их по простиранию Эллинидами вдоль поперечного, палеотрансформного разлома Шкодер-Печ, выходящего в море близ Черногорско-Албанской границы.

Динариды имеют четкое зонально-покровное строение с юго-западной, адриатической вергентностью¹. Их форландом² служит Адриатическая зона (Адриатическая микроплита) [11, 13] (рис. 2).

Эллиниды представляют продолжение Динарид на юге Балканского полуострова и в своей континентальной части сохраняют северо-западное простирание, но с выходом в Эгейское море образуют дугообразный изгиб к югу. Распределение сейсмичности, представленное на рис. 3, повторяет этот изгиб. Тектоническая зональность Эллинид с некоторыми изменениями повторяет

¹ ВЕРГЕНТНОСТЬ – (нем. Vergenz) – видимое направление смещения масс в складчатых зонах или их частях, выраженное в одностороннем наклоне осевых поверхностей складок, в односторонних направлениях их опрокидывания, наклоне поверхностей надвигов и направлении перемещения слоев по надвигам и в тектонических покровах.

² ФОРЛАНД – (нем. vor перед, Land страна) стабильные блоки, к которым направлены тангенциальные напряжения в деформированных складчатостью геосинклинальных комплексах. Это внешняя часть устойчивой области (кратона, платформы, массива), примыкающая к орогену.

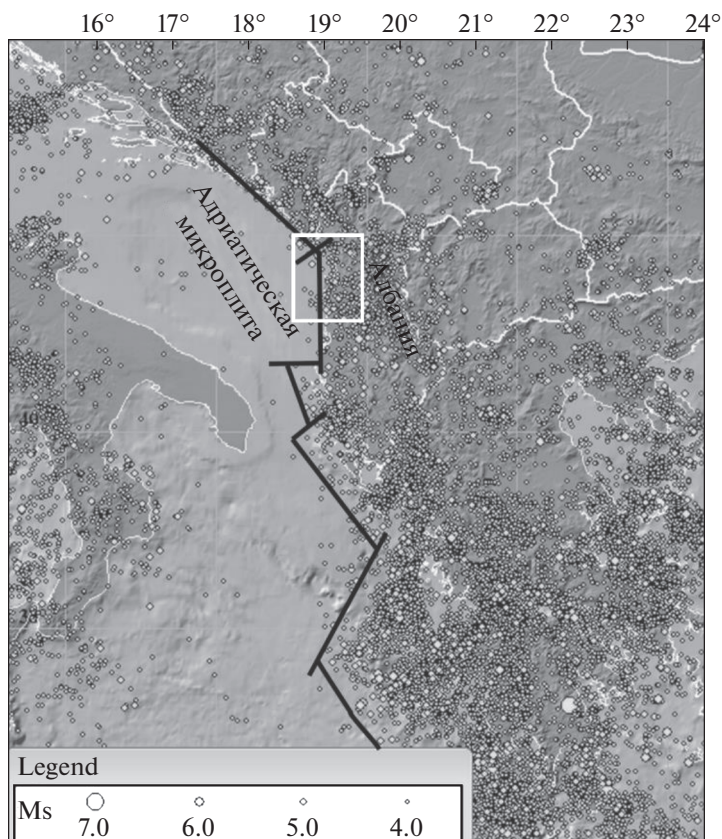


Рис. 3. Сейсмичность на Балканах по данным NEIC за период 2000–2017 гг., черными линиями перенесены прибрежные разломы с карты в [13], белый прямоугольник соответствует области на рис. 4.

зональность Динарид; сохраняется юго-западная вергентность перемещения покровов, сменяющаяся в Эгейском море на южную. Одной из особенностей Эллинид является появление в их северной части, в пределах побережья Албании, передового Преадриатического прогиба. Именно в этой зоне и произошли исследуемые нами землетрясения 21 сентября и 26 ноября 2019 г. и последующие за ними афтершоковые процессы. Современная сейсмичность в этом районе не превышает $M_w = 6.5$ (рис. 3). Сложность строения среды влияет на формирование облака афтершоков, конфигурация которого по предварительным данным, заимствованным из Международного Центра ISC, не согласуется с положением плоскостей на диаграмме механизма очага основного толчка (рис. 4).

Сейсмичность Албании характеризуется как интенсивной микросейсмичностью ($1.0 < M \leq 3.0$) и множеством умеренных землетрясений ($3.0 < M \leq 5.0$), так и редкими землетрясениями ($5.0 < M \leq 7$) и очень редко сильными землетрясениями ($M > 7.0$) [24].

Хотя Албания относится к странам с преимущественно умеренной сейсмичностью, время от времени во многих городских и сельских районах

страны происходят разрушения, вызванные землетрясениями с $M \cong 6$ [18], которые приводят к негативным последствиям и в соседних странах. В целом Балканский регион, к которому относится Албания, является одним из наиболее сейсмически активных регионов Европы, где на протяжении всей истории были зафиксированы значительные материальные убытки и человеческие жертвы в результате землетрясений. В середине 1970-х годов в рамках проекта ЮНДП/ЮНЕСКО были проведены исследования сейсмичности Балканского региона, в результате было представлено краткое изложение имеющихся в то время материалов для оценки сейсмичности региона [21]. В более поздних работах [12, 18, 19, 24, 25] приводятся результаты исследований по сейсмической опасности Балканского региона. Результаты анализа этих и других публикаций, а также гипотеза о схожести сеймотектонических условий Кавказского региона и Албании позволили использовать ранее полученные устойчивые параметры затухания сейсмической интенсивности и подготовить исходные данные для расчета возможных последствий землетрясения 26.11.2019 г. В следующем разделе кратко изложены процедуры калибровки макросейсмического поля на

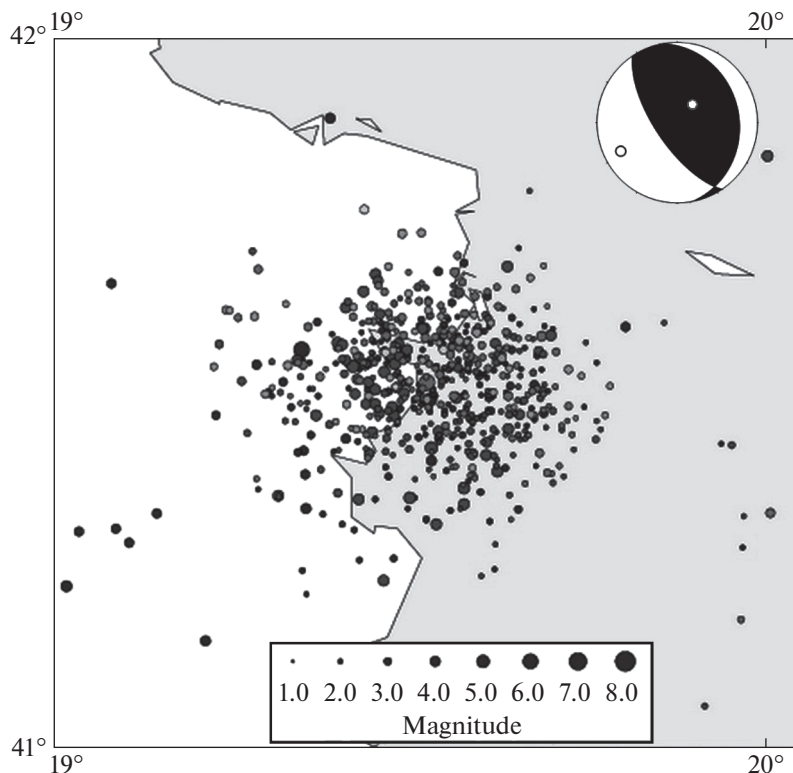


Рис. 4. Положение афтершоков с 26.11.2019 г. по 31.12.2019 г. по данным ISC (<http://www.isc.ac.uk/>) и механизм очага основного толчка по GCMT (<http://www.globalcmt.org>).

Кавказе и результаты моделирования последствий события 26.11.2019 г. в Албании.

ПРОЦЕДУРА КАЛИБРОВКИ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 26 НОЯБРЯ 2019 ГОДА

Разработанная совместными усилиями авторов процедура калибровки модели затухания сейсмической интенсивности предусматривает подбор приемлемых значений параметров математической модели затухания сейсмической интенсивности. В качестве параметров модели рассматриваются:

- коэффициенты уравнения макросейсмического поля Блейка–Шебалина [8]:

$$I = bM - v \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \quad (1)$$

где Δ – эпицентральное 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 вытянутости изосейст.

Процесс калибровки предполагает подбор перечисленных параметров, которые являются устойчивыми для рассматриваемой территории. Поскольку калибровка – итерационный и довольно сложный циклический процесс определения границ зон и вычисления для них приемлемых квазистабильных параметров, то по мере накопления данных о новых событиях могут измениться и сами параметры, и границы зон, в пределах которых они были ранее выделены.

Ранее авторами были изучены особенности затухания сейсмической интенсивности и определены границы отдельных зон на территории РФ и сопредельных стран с квазиустойчивыми параметрами макросейсмического поля [7]. Для Кавказа были собраны сведения об осязутимости землетрясений в 1850 населенных пунктах региона от 32 сильных (VI–VII и более баллов по шкале MSK-64) за 1966–2012 гг., построены графики затухания, рассчитаны индивидуальные для каждого землетрясения и средние для зоны параметры макросейсмического поля по уравнению Н.В. Шебалина [8] для каждого из выделенных ранее районов. При определении ориентации макросейсмического поля и коэффициентов сжатия эллипса k в качестве основы использовались домены и сейсмолинеаменты, заимствованные с карты Общего сейсмического районирования [1, 4], а также азимуты направления

Таблица 2. Устойчивые параметры макросейсмического поля для зоны на Кавказе

Коэффициенты уравнения макросейсмического поля	Коэффициент сжатия эллипса, k	Угол, определяющий ориентацию эллипса макросейсмического поля, ζ
$b = 1.52; v = 3.62; c = 3.16$	1.55	115°

Таблица 3. Варианты исходных данных для расчета последствий землетрясения в Албании*

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля	Коэффициент сжатия, k
1	41.4456° N; 19.4141° E; $M = 6.4; h = 39.5$ км National Observatory of Athens [17]	$b = 1.5; v = 4.5; c = 4.5;$ Балканский регион ($h > 10$ км); [21]	2
2	41.4593° N; 19.4418° E; $M = 6.4; h = 39.5$ км Department of seismology, Albania [17]	Те же	Тот же
3	41.38°N; 19.47°E; $M = 6.4; h = 10$ км csem (http://www.emsc-csem.org)	“	“
4	41.514° N; 19.526° E; $M = 6.4; h = 22$ км usgs (https://earthquake.usgs.gov)	“	“
5	Те же	$b = 1.52; v = 3.62; c = 3.16$ Откалиброванные параметры для зоны на Кавказе [7]	“
6	“	Те же	2.7
7	“	$b = 1.5; v = 4; c = 3.8;$ Центральная и Юго-Восточная Европа [22]	2
8	“	$b = 1.5; v = 3.5; c = 3.0$ Шебалин – default [8]	Тот же

* Во всех вариантах использовалась ориентация поля $\zeta = 146^\circ$ в соответствии с решением механизма очага по Гарварду (<http://www.globalcmt.org>).

разрывов сильнейших землетрясений из специализированного каталога [3].

Выполненные с использованием полученных параметров поля контрольные расчеты для Дагестанского (14.05.1970 г.) и Курчалойского (11.10.2008 г.) землетрясений показали эффективность калибровки моделей ИС “Экстремум”. В целом, погрешность в определении интенсивности не превысила 0.5 балла. Значения погрешностей ΔI_{cp} в прогнозировании интенсивности от контрольных землетрясений варьировало от 0.1 на эпицентральных расстояниях меньше 25 км и до 0.3 на расстояниях более 100 км.

В результате исследований были установлены стабильные параметры макросейсмического поля для района (табл. 2), показанного на карте (см. рис. 2).

Для исследования применимости полученных стабильных параметров поля на Кавказе к территории Албании были выполнены расчеты последствий землетрясения 26.11.2019 г. В табл. 3 приве-

дены варианты исходных данных для последующего расчета с помощью ИС “Экстремум”.

На рис. 5а приведены результаты расчета интенсивности землетрясения (I) для параметров очага по данным Национальной обсерватории в Афинах, Департамента сейсмологии в Албании и Средиземноморского сейсмологического центра (варианты 1–3). Расчеты выполнены для региональных коэффициентов макросейсмического поля по [21] при $k = 2$ и ориентации изосейст в соответствии с решением механизма очага по Гарварду (<http://www.globalcmt.org>). При глубине очага $h = 39.5$ км (варианты 1–2) наблюдается систематическое занижение расчетной интенсивности по сравнению с наблюдаемой. При глубине очага $h = 10$ км (вариант 3) на эпицентральных расстояниях до 40 км наблюдается незначительное завышенные оценки ожидаемой интенсивности, от 40 до 100 км – хорошее согласие, а на расстояниях больше 150 км оценки близки к расчетной интенсивности по вариантам 1 и 3.

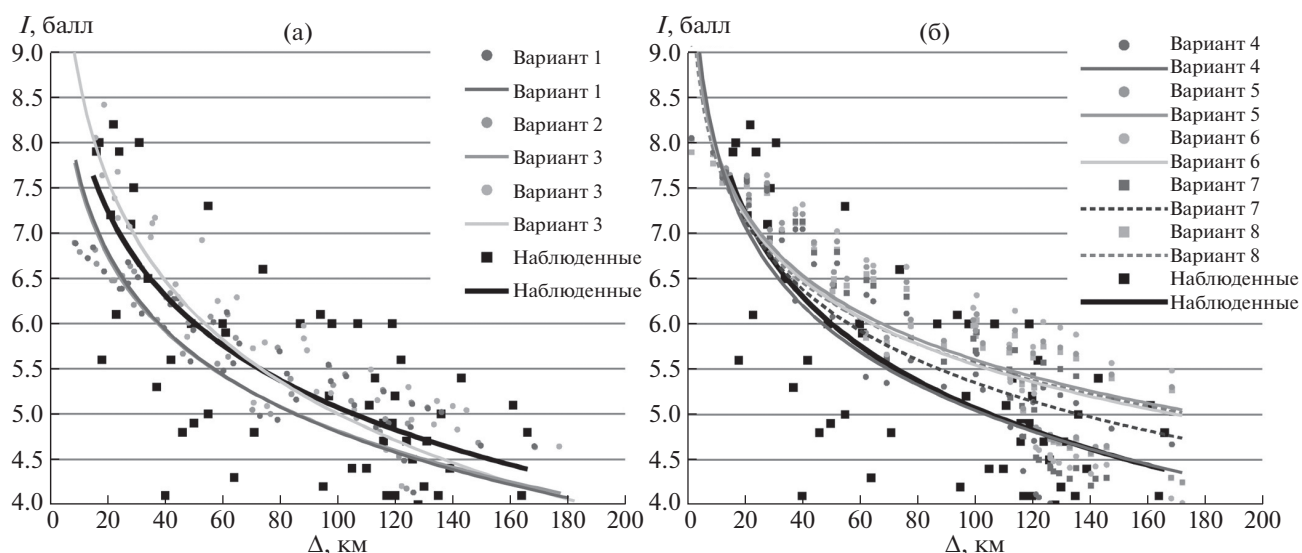


Рис. 5. Сравнение расчетной и наблюдаемой интенсивностей: а – варианты 1–3, б – варианты 4–8 (см. табл. 3).

На рис. 5б приводятся результаты расчета I для вариантов 5–8 (см. табл. 3).

Расчеты выполнены также для ориентации макросейсмического поля под углом 146° в соответствии с решением механизма очага по GCMT (<http://www.globalcmt.org>). Используются региональные коэффициенты уравнения макросейсмического поля для Балканского региона при глубине $h > 10$ км [21], для откалиброванной зоны на Кавказе [7], для Центральной и Юго-Восточной Европы [22] и параметры уравнения, рекомендованные Н.В. Шебалиным для использования в любом сейсмоопасном регионе мира в случае отсутствия региональных параметров [8]. Рассмотрены два варианта коэффициента сжатия эллипса $k = 2$ и $k = 2.7$. При глубине очага $h = 22$ км для разных законов затухания (варианты 4–8) на эпицентральных расстояниях до 35–40 км наблюдается хорошее согласие расчетных и наблюдаемых интенсивностей. На расстояниях более 80 км отмечаются завышенные оценки ожидаемой интенсивности, наиболее сильно выраженные для вариантов 5, 6 и 8. Для варианта 7 при использовании закона затухания для Центральной и Юго-Восточной Европы [22] завышенные оценки не превышают 0.5 балла даже на больших расстояниях. Наилучшее согласие расчетных и наблюдаемых интенсивностей во всем диапазоне эпицентральных расстояний получено при использовании коэффициентов уравнения макросейсмического поля, предложенных Н.В. Шебалиным для Балканского региона для событий с $h > 10$ км в отчете проекта ЮНДП/ЮНЕСКО [21] (вариант 4). Использование устойчивых параметров поля, полученных в результате калибровки для Кавказского

региона (варианты 5 и 6), возможно для эпицентральных расстояний порядка 90–100 км, где ΔI_{cp} не превышает 0.3 балла.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В БАЛКАНСКОМ РЕГИОНЕ ПО РЕТРОСПЕКТИВНЫМ И СОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ

1. В виду важности оперативных оценок потерь от землетрясений для уменьшения социальных потерь представляет практический интерес ретроспективный анализ данных макросейсмических наблюдений и для других стран Балканского региона. В рамках проекта ЮНДП/ЮНЕСКО “Исследование сейсмичности Балканского региона” в 1970–1974 гг. был разработан каталог с уточненными параметрами землетрясений в регионе за период с 1901 по 1970 гг., в который были включены события с $M \geq 4.0$ или $I_0 \geq VI$ по шкале MSK-64. В качестве приложения к каталогу был подготовлен Атлас изосейст для ключевых исторических землетрясений в Балканском регионе, включающий 460 карт изосейст [21]. Для анализа и генерализации представленных национальными экспертами стран-участниц проекта национальных каталогов, содержащих отдельно инструментальные и макросейсмические данные, было выполнено специальное исследование [15], в результате которого модель макросейсмического поля типа (1) была выбрана в качестве наиболее приемлемой для подготовки каталога.

Авторами этой работы были вычислены значения максимальных и минимальных радиусов всех доступных в то время изосейст, а также сделана попытка оконтурить зоны Балканского региона с более или менее стабильными величинами v для принятой модели (1).

В качестве первого приближения Балканский регион был поделен на субрегионы с использованием природных границ между зонами концентрации эпицентров и административных границ между различными странами и республиками Югославии.

“Природные” сейсмологические подзоны были первоначально выбраны следующим образом: I – внешняя дуга Динаридов, Иллиридов, Эллинидов до островов Крит и Родес; II – внутренняя часть Балканского полуострова, север Греции и приграничные районы с Турцией; III – восточная зона широтных и субширотных разломов (Мраморное море, северо-западная Анатолия; позднее самая восточная часть Болгарии также была включена в эту подзону); IV – Центральная и Восточная Греция, Эгейское море; V – юго-западная часть Турции; VI – зона Вранча в Румынии.

В рамках проекта были определены стабильные для каждой подзоны значения v для разных диапазонов глубин h , сопровождаемые оценкой ошибки σ_v . Также для каждой подзоны были определены значения коэффициентов b и c в уравнении (1). Было предложено уравнение макросейсмического поля для Балканского региона в целом, используемое для разных диапазонов глубин $h < 10$ км и $h > 10$ км.

Позднее в работе над Каталогом землетрясений для Центральной и Юго-Восточной Европы за период с 342 г. до новой эры до 1990 г. для рассматриваемой территории было предложено минимизировать количество независимых сейсмологических зон с наборами коэффициентов (b , v , c) [22]. Вся территория, охватываемая каталогом, была разбита на две зоны с различными наборами (b , v , c). Граница между ними была условно проведена вдоль параллели 47° N с переходной зоной $\pm 0.5^\circ$ (табл. 4).

Для проверки гипотезы о применимости устойчивых параметров макросейсмического поля в районах-аналогах и подтверждения актуальности ранее полученных оценок для Балканского региона [21, 22] был выполнен расчет последствий землетрясения 27.10.1969 г. в Бая-Луке (бывш. Югославия). Выбор был обусловлен хорошей изученностью макросейсмических проявлений события и наличием списка населенных пунктов с указанием наблюдаемой сейсмической интенсивности [9]. Проведена работа по поиску географических координат этих населенных пунктов, для последующего расчета эпицентральных расстояний от различных вариантов координат

Таблица 4. Значения коэффициентов уравнения макросейсмического поля (1) для территории Центральной и Юго-Восточной Европы по [22]

Подзона	Значения коэффициентов		
	b	v	c
Южная часть, $\varphi \leq 47^\circ$ N	1.5	4.0	3.8
Северная часть, $\varphi > 47^\circ$ N	1.5	3.5	3.6

эпицентра. В табл. 5 приведены варианты исходных данных для расчета с помощью ИС “Экстремум”.

На рис. 6а приведены результаты расчета I для параметров макросейсмического очага по данным [9] (варианты 1–3). Как и для землетрясения 26.11.2019 г. расчеты выполнены для различных наборов калибровочных параметров – региональных коэффициентов макросейсмического поля:

- 1) определенных для Центральной и Юго-Восточной Европы;
- 2) уточненных для зоны на Кавказе;
- 3) отнесенных к Балканскому региону при глубине $h > 10$ км.

Использовались значение коэффициента сжатия $k = 1.55$ и ориентация изосейст под углом 115° , полученные при калибровке поля для Кавказского региона. На расстояниях до 20–30 км расчетные значения интенсивностей по всем трем вариантам незначительно превышают наблюдаемые значения. Для вариантов 1, 3 на расстояниях более 60–80 км получены значения ожидаемой интенсивности ниже наблюдаемой, при этом ΔI_{cp} для варианта 3 достигает 0.7 балла. Наилучшая сходимость расчетных и наблюдаемых значений интенсивности I_i наблюдается для варианта 2 с ранее полученными авторами параметрами для Кавказа. Максимальное расхождение ΔI_{cp} не превысила 0.1 балла.

На рис. 6б приводятся результаты моделирования интенсивностей для параметров очага в соответствии с уточненным инструментальным каталогом ISC-GEM (<http://doi.org/10.31905/D808B825>) [23]. Здесь используются параметры откалиброванной модели макросейсмического поля для подзоны на Кавказе. Коэффициенты сжатия $k = 1.55$ и ориентация изосейст под углом 115° для варианта 9; $k = 2$ и ориентация изосейст под углом 88° в соответствии с публикацией [19] для варианта 8. В обоих вариантах на расстояниях более 40 км отмечается значительное занижение расчетных оценок интенсивности по сравнению с наблюдаемой, при этом независимое от ориентации эллиптической изосейсты.

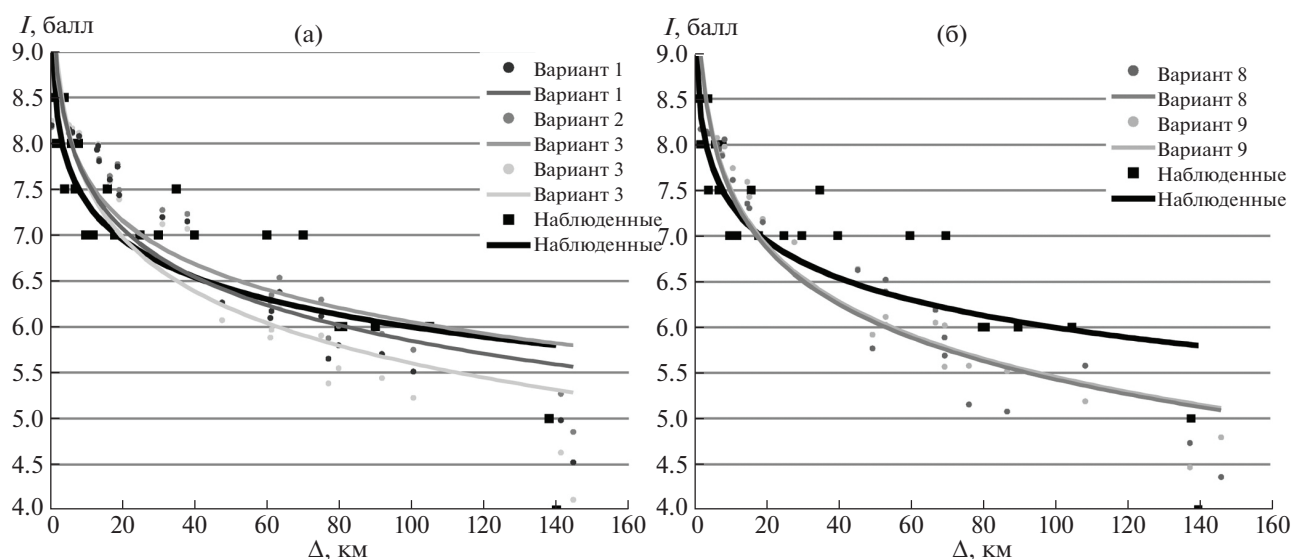
На рис. 7 приводятся результаты моделирования (варианты 4–7) для параметров очага по публика-

Таблица 5. Варианты исходных данных для расчета последствий землетрясения 27.10.1969 г. в г. Баня-Лука

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля	k	ζ
1	44.85° N; 17.15° E; $M = 6.4$; $h = 20$ км По макросейсмическим данным [9]	$b = 1.5$; $v = 4$; $c = 3.8$; Центральная и Юго-Восточная Европа [22]	1.55	115°
2	Те же	$b = 1.52$; $v = 3.62$; $c = 3.16$ Откалиброванные параметры для зоны на Кавказе [7]	1.55	Тот же
3	“	$b = 1.5$; $v = 4.5$; $c = 4.5$; Балканский регион ($h > 10$ км); [21]	1.55	“
4	44.78° N; 17.2° E; $M = 6.4$; $h = 11.7$ км Papazachos et al., [19]	$b = 1.5$; $v = 4$; $c = 3.8$; Центральная и Юго-Восточная Европа [22]	2	88°
5	Те же	$b = 1.52$; $v = 3.62$; $c = 3.16$ Откалиброванные параметры для зоны на Кавказе [7]	2	Тот же
6	“	$b = 1.5$; $v = 4.5$; $c = 4.5$ Балканский регион ($h > 10$ км) [21]	2	“
7	“	$b = 1.52$; $v = 3.62$; $c = 3.16$ Откалиброванные параметры для зоны на Кавказе [7]	1.55	115°
8	44.854° N; 17.253° E; $M = 6.1$; $h = 15$ км GEM-ISC	Те же	2	88°
9	Те же	“	1.55	115°

ции [19]. Исследуются разные варианты коэффициентов затухания, сжатия эллипса и ориентации изосейст. Для всех вариантов на эпицентральных расстояниях до 40 км наблюдается завышение

расчетных оценок интенсивности I , в основном, $\Delta I_{\text{ср}} = 0.5$ балла. Ожидаемые интенсивности при вариантах 5 и 7 на расстояниях 40–100 км хорошо согласуются с наблюдаемыми данными, что под-

**Рис. 6.** Сравнение расчетной и наблюдаемой интенсивностей: а – варианты 1–3, б – варианты 8–9 (см. табл. 5).

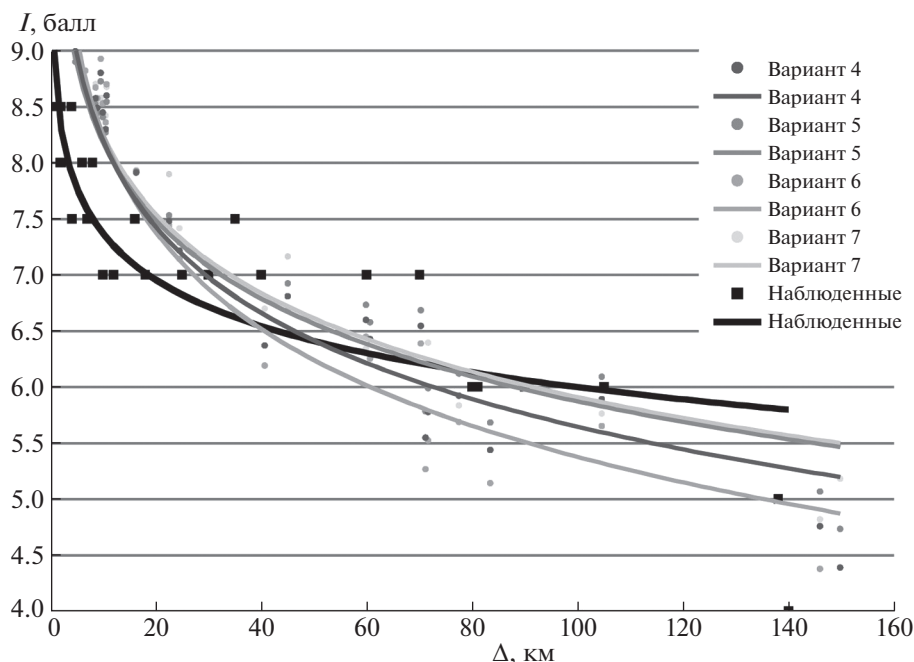


Рис. 7. Сравнение расчетной и наблюдаемой интенсивностей: варианты 4–7 (см. табл. 5).

тверждает гипотезу о возможности использования параметров откалиброванной модели макросейсмического поля в районах- аналогах (табл. 6, рис. 8).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Исследована возможность применения откалиброванных параметров макросейсмического поля для районов со схожими сеймотектоническими условиями. В качестве откалиброванного ранее авторами рассматривался район на Кавказе с устойчивыми параметрами поля [7], а в качестве аналога – район Балканского полуострова. Оба района принадлежат к сейсмоактивному Альпийско-Гималайскому поясу и имеют некоторое сочетание тектонических структур, которое приводит к однообразному поведению параметров затухания макросейсмического поля, используемого для расчетов ожидаемых потерь.

Анализ полученных в статье результатов позволяет выделить в Балканском регионе две зоны с одинаковыми квазиустойчивыми параметрами макросейсмического поля пригодными для дальнейшего использования в ИС “Экстремум” для оценки ожидаемых потерь в случае повторения сильного землетрясения в регионах эталоне и аналоге (рис. 9).

Установлено, что при определении устойчивых параметров поля для зоны 1 (см. рис. 9) проявилось значительное влияние на погрешность оценки интенсивности вариации глубины h оча-

га, предоставляемые разными службами. Оценки в определении h варьировали в пределах от 39.5 км, полученных Национальной Обсерваторией в Афинах и Департаментом сейсмологии Албании, до 10 км по данным Средиземноморского центра EMSC. Наилучшая сходимость расчетных и наблюдаемых интенсивностей I_i в рассматриваемом диапазоне эпицентральных расстояний Δ получена при использовании $h = 22$ км по данным NEIC и коэффициентов уравнения макросейсмического поля, предложенных для землетрясений в Балканском регионе с $h > 10$ км [21]. Учитывая возможный значительный разброс в оценке глубин h оперативными службами для оценки возможных последствий с использованием ИС “Экстремум”, оправдано использование устойчивых параметров поля, полученных в результате калибровки для зоны на Кавказе. При этом в качестве параметра преобладающей ориентации поля предлагается использовать ориентацию плоскости реше-

Таблица 6. Сравнение расчетных интенсивностей I , полученных с использованием откалиброванных параметров для зоны на Кавказе [7], с наблюдаемыми величинами [9]

Вариант 2	Вариант 3	Вариант 5	Вариант 7
$\Delta I_{\max} = 1$	$\Delta I_{\max} = 1.5$	$\Delta I_{\max} = 1.0$	$\Delta I_{\max} = 1.0$
$\Delta I_{\text{cp}} = 0$	$\Delta I_{\text{cp}} = 0.3$	$\Delta I_{\text{cp}} = -0.2$	$\Delta I_{\text{cp}} = -0.3$
$\sigma = 0.5$	$\sigma = 0.6$	$\sigma = 0.7$	$\sigma = 0.7$

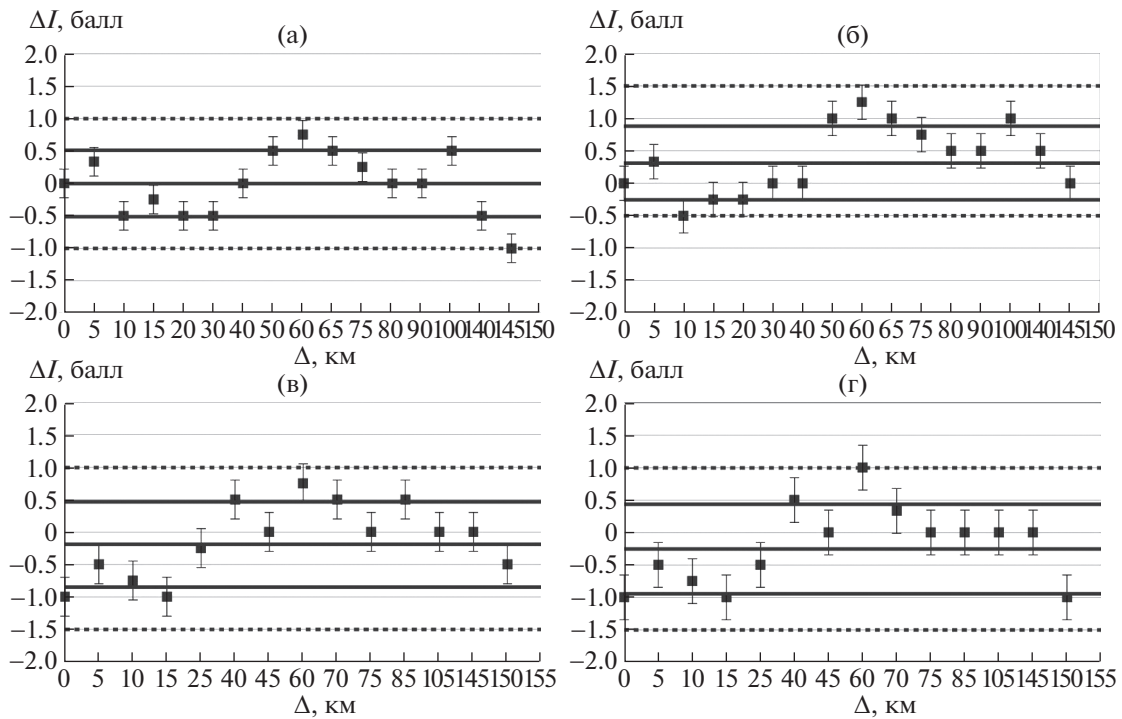


Рис. 8. Сравнение наблюдаемых и расчетных ΔI_{cp} для вариантов: а – 2, б – 3, в – 5, г – 7. Невязки расчетных и наблюдаемых значений интенсивности I_i ; медианные значения показаны серыми точками.

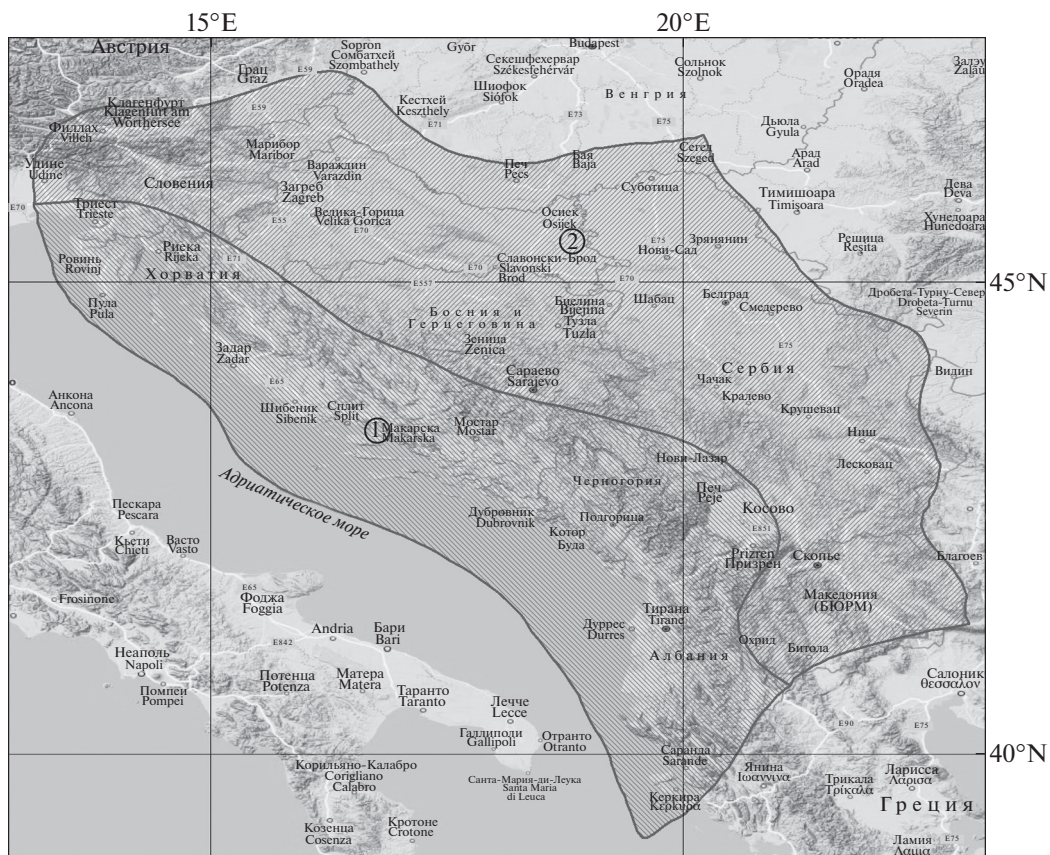


Рис. 9. Зоны на территории Балканского региона с квазиустойчивыми параметрами макросейсмического поля для моделирования последствий в режиме времени близком к реальному.

ния механизма очага. Ориентация эллиптических изосейст в соответствии с решением механизма очага по GСMT (146°) совпала с азимутом изосейст (145°) землетрясения 17.12.1926 г. в районе г. Дуррес с $M = 6.1$ [20]. В качестве коэффициента сжатия эллипса в ИС “Экстремум” предлагается использовать значение $k = 2$ с последующим уточнением по мере накопления данных. Согласно данным Атласа изосейст мелкофокусных землетрясений в Албании и на сопредельных территориях [20] значения эллиптичности изменяются от 1.2 (почти круговых) до $k > 4$.

При определении устойчивых параметров поля для зоны 2 (см. рис. 9) также проявилось значительное влияние глубины очага h . Хорошая сходимость расчетных и наблюдаемых интенсивностей I_i получена при использовании макросейсмических параметров очага [9] и откалиброванных параметров поля для района-аналога на Кавказе. В режиме расчета с использованием ИС “Экстремум” “по умолчанию” отдается предпочтение значению коэффициента сжатия $k = 2$, что подтверждается и результатами настоящего исследования, и оценками эллиптичности для события 1969 г. в Бая-Луке в публикации [19]. Вопрос преобладающей ориентации эллиптического поля подлежит дальнейшему изучению и предварительно для этой зоны рекомендуется использование 115° , что следует из результатов выполненного авторами исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Показана возможность успешного применения при моделировании макросейсмического поля одинаковых параметров математической модели для районов-аналогов, выделенных на основе общих сеймотектонических признаков. При успешной реализации такой возможности близкими значениями становятся коэффициенты закона затухания (1), а также отношение большой и малой осей эллиптических изосейст высших баллов, и ориентация макросейсмического поля, заданная азимутом оси вытянутости изосейст.

1. На примере зон аналогов на Кавказе и Балканском регионе выполнено моделирование и оценка точности вычисления ожидаемой сейсмической интенсивности I с использованием ИС “Экстремум”. Показано, что в случае использования параметров модели макросейсмического поля, откалиброванной по данным о хорошо изученных событиях на Кавказе, были получены приемлемые для оперативных служб оценки параметров макросейсмического поля для выделенных зон-аналогов Балканского региона. Величина погрешности при верификации макросейсмической модели в Балканском регионе не превышает 0.3 балла.

2. Подтверждены целесообразность поиска зон-аналогов для районов с редкими сейсмическими событиями и необходимость итераций для системы зон-аналогов, уточняющих параметры калибровки при возникновении нового сильного и разрушительного сейсмического события хотя бы в одной из зон-аналогов.

3. Описание всех обследованных событий должно попадать в специальную базу данных, содержащую не только карты изосейст, но и параметры наблюдаемого эффекта в виде списка населенных пунктов или отдельных районов, точек с координатами и баллами [2].

4. В ходе очередной калибровочной итерации возможны как дробление, так и укрупнение зон. Минимальные размеры зоны ограничены точностью определения координат эпицентра землетрясения, а максимальные – допустимой величиной погрешности оценки интенсивностей.

5. Для успешного проведения дальнейших работ по калибровке моделей макросейсмического поля с помощью ИС “Экстремум” необходимо создание и своевременное пополнение базы знаний о последствиях землетрясений. Представляется важным международное сотрудничество в области обработки “больших данных” (Big Data) и создание распределенной базы знаний о физических и социально-экономических последствиях прошлых сильных землетрясений в рамках проектов ООН/КОДАТА с указанием границ зон-аналогов.

Очевидно, что продолжение работ по калибровке макросейсмического поля, а также по установлению зон-аналогов со схожими сеймотектоническими условиями будет способствовать формализации и ускорению процесса использования макросейсмической информации в службах МЧС России для эффективного расчета возможных потерь от сильных землетрясений и скорейшего принятия решения о проведении поисково-спасательных и других неотложных работ.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГЭ РАН по теме НИР №г.р. АААА-А19-119021190077-6, государственного задания ФИЦ ЕГС РАН по теме № 075-01304-20 и проекта МГТУ им. Баумана № 175-11-2019-087 от 18.12.2019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Киреев И.А., Вандышева Н.В. Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1995 г. [Special Earthquake Catalogue of Northern Eurasia From Ancient Times Through 1995 / Eds. N.V. Kondorsraya, V.I. Ulomov]. <http://www.scgis.ru> System of data bases. JIPE RAS, 1996.

2. *Петрова Н.В., Диденко В.И., Морозова А.Д.* Разработка базы данных “Сильные и ощутимые землетрясения России и сопредельных стран” // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Тр. Седьмой научно-техн. конф. / Отв. ред. Д.В. Чебров. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 191–196. <http://www.emsd.ru/conf2019lib/mlib2.html>
3. Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации / Ред. В.И. Уломов, Н.С. Медведева. <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog.pdf>.
4. *Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
5. *Фролова Н.И., Узгаров А.Н.* База знаний о сильных землетрясениях как инструмент повышения надежности оперативных оценок потерь // Геоэкология. 2018. № 6. С. 1–18.
6. *Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Узгаров А.Н.* Использование макросейсмических данных для повышения надежности оперативных оценок потерь на примере землетрясений РФ и сопредельных территорий // ГЕОРИСК–2018: матер. X Междунар. научно-практ. конф. по проблемам снижения природных опасностей и рисков. М.: РУДН, 2018. Т. I. С. 218–226.
7. *Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Петрова Н.В., Узгаров А.Н., Малаева Н.С.* Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений // Геоэкология. 2019. № 5. С. 23–37.
8. *Шебалин Н.В.* Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 95–121.
9. *Шебалин Н.В.* Землетрясение в Бая-Луке (Югославия) 26–27 октября 1969 г. и проблемы оперативной службы сильных землетрясений // Геофизический бюллетень. 1973. № 2. С. 279–294.
10. *Шебалин Н.В., Еришов И.А., Шестоперов Г.С. и др.* Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (MMSK-86) на базе шкал MSK-64 и МСССС-73 (заключительный отчет). М.: МСССС, ИФЗ. 1986. 61 с.
11. *Хаин В.Е.* Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
12. *Abolmasov B., Jovanovski M., Pavle Feri P., and Snje`ana Mihali A.* Losses due to historical earthquakes in the Balkan region: Overview of publicly available data // GEOFIZIKA. 2011. V. 28. № 1. P. 161–181. http://geofizika-journal.gfz.hr/vol_28/No1/28_1_abolmasov_et_al.pdf.
13. *Aliaj S.* The Albanian orogen: convergence zone between Eurasia and the Adria microplate. // Pinter N., Gyula G., Weber J., Stein S., Medak D. (eds) The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. Vol. 61. Springer, Dordrecht. 2006.
14. *Aliaj S., Kociu S., Muco B., Sulstrava E.* Seismicity, Seismotectonics and Seismic Hazard Assessment in Albania // Academy of Sciences of Albania, Tirane, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/262219230>.
15. *Bickovski V., Shebalin N.V.* On the attenuation of seismic intensity over the Balkan Region, 1973.
16. *Lekkas E., Mavroulis S., Papa D., Carydis P.* The November 26, 2019 Mw 6.4 Durrës (Albania) earthquake // Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies. 2019. 15. https://edcm.edu.gr/images/docs/newsletters/Newsletter_15_2019_Albania_EQ.pdf.
17. *Moshou A., Dushi E., Argyrak P.* A preliminary report on the 26 November 2019, Mw = 6.4 Durres, Albania // Preliminary Report at EMSCon, December 17, 2019.
18. *Muco B., Vaccari F., Panza G., N. Kuka N.* Seismic zonation in Albania using a deterministic approach // Tectonophysics 2002. 344. P. 277–288. www.elsevier.com/locate/tecto.
19. *Papazachos C., Papaioannou Ch.* The macroseismic field of the Balkan area // Journal of Seismology. 1997. № 1. P. 181–201.
20. *Savvaidis A., Papazachos C., Papaioannou Ch., Kiratzi A.A.* Atlas of Isoleismal Maps for Shallow Earthquakes in Albania and the surrounding area (1851–1990). Research November 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1050.2487> <https://www.researchgate.net/publication/284717431>.
21. *Shebalin N.V., Karnik V., Had`ievski D.* (eds) Catalogue of earthquakes. Part I, 1901–1970, Part II, prior to 1901, Part III, Atlas of isoseismal maps. UNDP/UNESCO Survey of the seismicity of the Balkan region, Skopje. 1974.
22. *Shebalin N.V., Leydecker G., Mokrushina N.G., Tatevossian R.E., Erteleva O.O., Vassiliev V.Yu.* Earthquake Catalogue for Centrak and Southeastern Europe 342 BC – 1990 AD. Final Report to Contract ETNU – CT93-0087. 1998.
23. *Storchak D.A., Giacomo D. Di, Bondar I., Harris J., et al.* ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900–2009) // GEM Technical Report. 2012. V. 1.0.0. 128 p. GEM Foundation, Pavia, Italy. <https://doi.org/10.13117/GEM.GEGD.TR2012.01>
24. *Sulstarova E., Kocijaj S., Muco B., Peci V.* The Albanian earthquakes catalogue for historical and instrumental data with magnitude $M_{s4.5}$. Internal Report (behalf on NATO Project “Seismotectonic and Seismic Hazard Assessment in Albania”, 1999–2002), Seismological Institute, Tirana, Albania, 2003.
25. *Sulstarova, E.* Earthquake hazard assessment in Albania // Risk, Nature and Society. 1996. P. 199–216. <https://books.openedition.org/psorbonne/32094>.

CALIBRATION OF SEISMIC INTENSITY ATTENUATION MODEL BY THE EXAMPLE OF EARTHQUAKES IN ALBANIA

N. I. Frolova^{a, #}, I. P. Gabsatarova^{b, ##}, A. N. Ugarov^{c, ###}, and N. S. Malaeva^a

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per., 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia*

^b *Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, pr. Lenina, 189, Obninsk, Kaluga region, 249035 Russia*

^c *Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russia*

[#] *E-mail: frolovanina7@gmail.com*

^{##} *E-mail: ira@gstras.ru*

^{###} *E-mail: garo@esrc.ru*

The possibility of using the calibrated macroseismic field parameters of the analogue region in order to increase the accuracy of the near-real time assessment of the earthquakes consequences with application of the “Extremum” System has been investigated. For the region of Albania, which is a part of the Alpine-Himalayan seismic active zone, a set of parameters is used, obtained by calibrating the macroseismic field model in another region of this zone located in the Caucasus and having similar features of tectonic development. The obtained results showed the feasibility of using an approach based on the identification of analogue regions as the first iterative step to increase the reliability of near real time loss estimates. The efficiency of a multistep, iterative approach for macroseismic field models calibration is shown, which is carried out after any damaging and disastrous earthquake. The feasibility of the database with the description of seismic events usage in the proposed approach to calibrate macroseismic fields models of “Extremum” System was confirmed.

Keywords: *near real time loss estimates, damaging earthquake, macroseismic field, Alpine-Himalayan seismic active belt, “Extremum” System*

REFERENCES

- Kondorskaya, N.V., Gorbunova, I.V., Kireev, I.A., Vandyshcheva, N.V. *Unifitsirovannyi katalog zemletryaseni Severnoi Evrazii s drevneishikh vremen do 1995 g.* [Unified earthquake catalogue of Northern Eurasia from ancient times till 1995]. Kondorskaya, N.V., Ulomov, V.I., Eds. System of data bases. JIPE RAS, 1996. Available at: <http://www.segis.ru> (in Russian)
- Petrova N.V., Didenko V.I., Morozova A.D. *Razrabotka bazy dannykh “Sil’nye i oshchutimye zemletryaseniya Rossii i sopedel’nykh stran”* [Development of the data base “Strong and moderate earthquakes occurred in Russia and adjacent countries”]. *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal’nego Vostoka Rossii. Trudy Sed’moi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [Problems of complex geophysical monitoring of the Russian Far East. Proc. the 7th scientific and technical conference]. Chebrov, D.V., Ed.-in-Chief. Obninsk, GS RAS, 2019, pp. 191–196. Available at: <http://www.emsd.ru/conf2019lib/mlib2.html> (in Russian)
- Spetsializirovannyi katalog zemletryaseni dlya zadach obshchego seismicheskogo raionirovaniya territorii Rossiiskoi Federatsii* [Specialized catalog of earthquakes for review seismic zoning of the Russian Federation territory]. Ulomov, V.I., Medvedeva, N.S., Eds. Available at: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog.pdf>. (in Russian)
- Ulomov, V.I., Shumilina, L.S. *Komplekt kart obshchego seismicheskogo raionirovaniya territorii Rossiiskoi Federatsii – OSR-97. Masshtab 1:8000000. Ob’yasnitel’naya zapiska i spisok gorodov i naseleennykh punktov, raspolozhennykh v seismoopasnykh raionakh* [Set of maps OSR-97-A, B, C of review seismic zoning of the Russian Federation territory – OSR-97. Scale 1:8 000 000. Explanatory note and list of cities and settlements located in earthquake prone areas]. Moscow, OIFZ Publ., 1999, 57 p. (in Russian)
- Frolova, N.I., Ugarov, A.N. *Baza znanii o sil’nykh zemletryasenyakh 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*, 2018, no. 6, pp. 1–18. (in Russian)
- Frolova, N.I., Gabsatarova, I.P., Ugarov, A.N. *Is-pol’zovanie makroseismicheskikh dannykh dlya povysheniya nadezhnosti operativnykh otsenok poter’ na primere zemletryaseni RF i sopedel’nykh territorii* [Macro seismic data application for increasing reliability of near real time loss estimations: example of earthquakes in Russia and adjacent areas]. *GEORISK-2018. Mater. X Mezhdunar. nauchno-praktich. konferentsii po problemam snizheniya prirodnykh opasnostei i riskov* [Proc. 10th Intern. scientific and practical conference on reducing natural hazards and risks GEORISK–2018]. Moscow, RUDN, 2018, vol. 1, pp. 218–226. (in Russian)
- Frolova, N.I., Gabsatarova, I.P., Petrova, N.V., Ugarov, A.N., Malaeva, N.S. *Vliyaniye osobennostei zatushaniya seismicheskoi intensivnosti na nadezhnost operativnykh otsenok poter’ ot zemletryaseni* [Influence of shaking intensity attenuation peculiarities on reliability

- of earthquake loss estimation in emergency mode]. *Geoekologiya*, 2019, no. 5. pp. 23–37. (in Russian)
8. Shebalin, N.V. *Metody ispol'zovaniya inzhenerno-seismologicheskikh dannyykh pri seismicheskom raionirovanii* [Procedures of engineering seismological data application for seismic zoning]. *Seismicheskoe raionirovanie SSSR* [Seismic zoning of the USSR], Moscow, Nauka, 1968, pp. 95–121. (in Russian)
 9. Shebalin, N.V. *Zemletryasenie v Bania Luke (Yugoslaviya) 26–27 oktyabrya 1969 g. i problemy operativnoi sluzhby sil'nykh zemletryasenii* [The Banja Luka earthquakes (Yugoslavia) on October 26–27, 1969 and problems of strong earthquake operational service]. *Geofizicheskii byulleten'*, 1973, no. 2. pp. 279–294. (in Russian)
 10. Shebalin, N.V., Ershov, I.A., Shestoporov, G.S., et al. *Uluchshennyi variant shkaly seismicheskoi intensivnosti (MMSK-86) na baze shkal MSK-64 i MSSSS-73 (zaklyuchitel'nyi otchet)*. [Improved version of seismic intensity scale (MMSK-86) based on scales MSK-64 and MSSSS-73. Final report]. Moscow, MSSSS-IFZ, 1986, 61 p. (in Russian)
 11. Khain, V.E. *Tektonika kontinentov i okeanov* [Tectonics of continents and oceans]. Moscow, Nauchyi mir Publ., 2001, 606 p. (in Russian)
 12. Abolmasov, B., Jovanovski, M., Pavle Feri, P., and Snje`ana Mihali A. Losses due to historical earthquakes in the Balkan region: Overview of publicly available data. *Geofizika*, 2011, vol. 28, no. 1, pp. 161–181. Available at: http://geofizika-journal.gfz.hr/vol_28/No1/28_1_abolmasov_et_al.pdf
 13. Aliaj, S. The Albanian orogen: convergence zone between Eurasia and the Adria microplate. *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*. Pinter N., Gyula G., Weber J., Stein S., Medak D., Eds., NATO Science, Series IV: Earth and Environmental Sciences, vol. 61, Springer, Dordrecht. 2006.
 14. Aliaj, S., Kociu, S., Muco, B., Sulstrava, E. Seismicity, seismotectonics and seismic hazard assessment in Albania. Tirane, Academy of Sciences of Albania, 2010. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/262219230>
 15. Bickovski, V., Shebalin, N.V. On the attenuation of seismic intensity over the Balkan Region, 1973.
 16. Lekkas, E., Mavroulis, S., Papa, D., Carydis, P. The November 26, 2019 Mw 6.4 Durrës (Albania) earthquake. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, 2019, no. 15. Available at: https://edcm.edu.gr/images/docs/newsletters/Newsletter_15_2019_Albania_EQ.pdf
 17. Moshou, A., Dushi, E., Argyrak, P. A preliminary report on the 26 November 2019, Mw = 6.4 Durrës, Albania. Preliminary Report at EMSCon December 17, 2019.
 18. Muco, B., Vaccari, F., Panza, G., Kuka, N. Seismic zonation in Albania using a deterministic approach. *Tectonophysics*, 2002, no. 344, pp. 277–288.
 19. Papazachos, C., Papaioannou, Ch. The macroseismic field of the Balkan area. *Journal of Seismology*, 1997, no. 1, pp. 181–201.
 20. Savvaidis, A., Papazachos, C., Papaioannou, Ch., Kiratzi, A.A. Atlas of isoseismal maps for shallow earthquakes in Albania and the surrounding area (1851–1990). Research November 2015, available at: <https://www.researchgate.net/publication/284717431>
 21. Shebalin, N.V., Karnik, V., Had`ievski, D. (Eds.) Catalogue of earthquakes. Part I, 1901–1970, Part II, prior to 1901, Part III, Atlas of isoseismal maps. UNDP/UNESCO Survey of the seismicity of the Balkan region, Skopje. 1974.
 22. Shebalin N.V., Leydecker, G., Mokrushina, N.G., Tatevossian, R.E., Erteleva, O.O., Vassiliev, V.Yu. Earthquake catalogue for Central and Southeastern Europe 342 BC – 1990 AD. Final Report to Contract ETNU – CT93–0087. 1998.
 23. Storchak, D.A., Giacomo, D. Di, Bondar, I., Harris, J., Engdahl, E.R., Lee, W.H.K., Villasenor, A., Bormann, P., Ferrari, G. ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900–2009). *GEM Technical Report*. 2012, vol. 1.0.0. 128 p.
 24. Sulstarova, E., Kocijaj, S., Muco, B., Peci, V. The Albanian earthquakes catalogue for historical and instrumental data with magnitude $M_s 4.5$. Internal Report (behalf on NATO Project “Seismotectonic and Seismic Hazard Assessment in Albania”, 1999–2002), Seismological Institute, Tirana, Albania, 2003.
 25. Sulstarova, E. Earthquake hazard assessment in Albania. *Risk, Nature and Society*, 1996, pp. 199–216, available at: <https://books.openedition.org/psorbonne/32094>.