

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ
МОЛДАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи
У.Д.К.: 550.34 (478) (0.43.2)

**КАРДАНЕЦ
ВЛАДЛЕН ЮРЬЕВИЧ**

**МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ КАРПАТСКИХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ
МОЛДОВА КАК ОСНОВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

134.10 – ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

Автореферат диссертационная работы
на соискание учёной степени доктора физических наук

КИШИНЁВ, 2025

Работа выполнена в Лаборатории сейсмологии Института геологии и сейсмологии Молдавского государственного университета.

Научный руководитель:

БУРТИЕВ Рашид, доктор-хабилитат физико-математических наук.

Научный консультант:

АЛКАЗ Василий, доктор-хабилитат физико-математических наук,
заслуженный деятель науки РМ.

Официальные оппоненты:

1. **СЕМЕНОВА Юлия**, доктор-хабилитат физико-математических наук, Институт геофизики им. Субботина Национальной академии Украины (Киев, Украина).
2. **ГРЕБЕНЩИКОВ Виктор**, доктор геолого-минералогических наук, Тираспольский государственный университет им. Шевченко.

Состав Специализированного научного совета:

1. **БАРСУК Александр**, доктор-хабилитат физико-математических наук, профессор, *председатель Специализированного научного совета*, Отдел теоретической физики Факультета физики и инженерии МолдГУ.
2. **ГИНСАРЬ Виктория**, доктор физико-математических наук, *секретарь Специализированного научного совета*, Лаборатория сейсмологии Института геологии и сейсмологии МолдГУ.
3. **СТЕПАНЕНКО Нила**, доктор физико-математических наук, Лаборатория сейсмологии Института геологии и сейсмологии МолдГУ.
4. **ЗОЛОТКОВ Анатолий**, доктор-хабилитат технических наук.
5. **ЧОФЛАН Кармен Органза**, доктор физических наук, Национальный институт физики земли (Бухарест, Румыния).

Защита состоится 26 июня 2025, в 13.00, на заседании Специализированного научного совета D 134.10-24-125 в Институте геологии и сейсмологии МолдГУ, по адресу: ул. Г. Асаки, 60/3, МД 2028, мун. Кишинёв, РМ.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Института геологии и сейсмологии МолдГУ и на веб-странице ANACEC (<https://www.anaces.md/>).

Автореферат разослан _____

Секретарь Специализированного научного совета:

ГИНСАРЬ Виктория, доктор физико-математических наук _____

Научный руководитель/консультант:

АЛКАЗ Василий, доктор-хабилитат физико-математических наук, _____
заслуженный деятель науки РМ.

Автор **КАРДАНЕЦ Владлен** _____

СОДЕРЖАНИЕ

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	4
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	8
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	28
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА НА ТЕМУ ДИССЕРТАЦИИ	30
АННОТАЦИИ	31

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Республика Молдова расположена в зоне высокой сейсмической активности, поэтому для Молдовы является **актуальным** периодическое обновление оценок сейсмических проявлений сильнейших исторических карпатских землетрясений в нашей стране и на территории смежных государств, в связи с нахождением новых более подробных данных о проявлении сильных землетрясений Карпатского сейсмического региона. Это необходимо для решения задач оценки сейсмической опасности, связанной с обеспечением безопасности особо ответственных объектов и сооружений в республике. Не располагая данными о прежних сильных землетрясениях, невозможно правильно определить сейсмическую опасность. Так как определение такой опасности включает периодичность сильных и катастрофических землетрясений, их максимальную силу и очаговые зоны землетрясений. Поэтому необходимо собрать как можно более полную и достоверную информацию о сейсмических событиях, происходивших на этой территории с самых ранних времён и до настоящего времени.

Настоящая работа по определению параметров и типа исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона для создания более точного исторического каталога вносит вклад в решение актуальных и жизненно необходимых для страны задач по оценке сейсмической опасности территории Республики Молдова для обеспечения безопасности особо ответственных объектов и сооружений, а также для обеспечения безопасности проживания населения страны.

Сегодня большинство параметров землетрясений определяются инструментально, но инструментальный период для Карпатского сейсмического региона можно отсчитывать только с землетрясений 1928-29 годов. Для составления наиболее полной картины сейсмичности региона необходимо собрать и проанализировать сведения обо всех землетрясениях, упоминаемых в различных источниках за все предыдущие века. И на их основе вычислить все те параметры, которые мы получаем из инструментальных данных для современных землетрясений. По историческим землетрясениям у нас имеются только макросейсмические сведения, которые и являются основой определения параметров этих землетрясений. Полученные результаты по параметрам исторических землетрясений сравниваются с достоверно известными параметрами крупнейших землетрясений инструментального периода, и на основании закономерности, выявленных для нашего региона определяется тип каждого из рассматриваемых сейсмических событий.

Цель работы: Оценить основные параметры землетрясений и заново определить тип сильнейших исторических землетрясений доинструментального периода зоны Вранча Карпатского сейсмического региона, на основе дополнительных макросейсмических данных, для качественного пересмотра каталога исторических землетрясений.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

- собрать все имеющиеся макросейсмические данные, зафиксированные в письменных источниках, по крупнейшим сейсмическим событиям исторического периода (XVIII-XX вв.), относящихся к исследуемому региону, а также за период инструментальных наблюдений;
- проверить, согласовать и оценить все собранные данные в соответствии с макросейсмической шкалой MSK-64, составить таблицы и построить карты пунктов-баллов рассматриваемых землетрясений и путём интерполяции с последующей коррекцией создать в ГИС карты изосейст землетрясений;
- выполнить сравнительный анализ решений механизма очага землетрясений зоны Вранча, полученных по методу первых вступлений Р-волн и методу тензора сейсмического момента, выделить основные типы землетрясений на основе анализа механизма очага землетрясений;
- исследовать весомость вклада дополнительных параметров, характеризующих механизм очага землетрясения, в уравнение макросейсмического поля с использованием метода главных компонент факторного анализа;
- рассчитать по коэффициентам затухания уравнения макросейсмического поля зависимость магнитуды от глубины и интенсивности в данном регионе;
- вычислить и измерить в ГИС основные и дополнительные параметры исследуемых землетрясений;
- проанализировать каждое рассматриваемое историческое землетрясение в сопоставлении с землетрясениями инструментального периода и на основе выявленных закономерностей определить его тип.

Теоретическая часть основывается на работах: Шебалин Н.В. 2003; Шебалин Н.В., Хромецкая Е.А. 1988; Буртиев Р.З. 2017; Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Алексеев И.В., Карданец В.Ю. 2009; Друмя А.В., Устинова Т.И., Щукин Ю.К. 1964; Шумила В.И. 1983; а также статьях автора, опубликованных в Бюллетене Института Геологии и Сейсмологии РМ.

Фактический материал по конкретным землетрясениям был собран из различных летописей, отчётов, каталогов, сборников и бюллетеней Молдовы, Украины, России, Румынии, Болгарии и других стран.

Основные методы, применённые в данной работе: методы сбора и обработки макросейсмических данных; методика вычисления параметров землетрясений на основе уравнения макросейсмического поля; построение карт изосейст методом интерполяции и вычисление дополнительных параметров специальным инструментарием в ГИС; методы построения механизма очага землетрясения; метод главных компонент факторного анализа для выявления вклада параметров механизма очага в уравнение макросейсмического поля. Были использованы данные, полученные методами инструментальных наблюдений. Кроме того, такие общие методы, как описательный, сравнительный, статистический и др.

Научная новизна полученных результатов:

- на основе собранных и обработанных макросейсмических данных создана обширная база данных по землетрясениям Карпатского региона, ощущавшихся на территории Республики Молдова;
- построены дополненные новыми данными карты пунктов-баллов и карты изосейст исследуемых землетрясений на основе собранных макросейсмических данных;
- проведён сравнительный анализ решений механизма очага землетрясений, полученных двумя методами – по первым вступлениям Р-волн и по методу тензора сейсмического момента, выявлены три типа подвижек в очаге зоны Вранча;
- осуществлён факторный анализ на основе метода главных компонент параметров исследуемых землетрясений;
- на основе уравнения макросейсмического поля более точно вычислены основные параметры исторических землетрясений;

- на основе ГИС-вычислений определены дополнительные параметры исторических землетрясений;
- путём сравнения со схожими современными землетрясениями определены тип и другие характеристики сильнейших землетрясений Карпатского региона, относящихся к доинструментальному периоду.

Теоретическая ценность полученных результатов:

- классифицирована сейсмичность Карпатского региона по типу подвижек в очаге землетрясения;
- описаны методические аспекты получения и обработки макросейсмических данных в Карпатском сейсмическом регионе, проводится анализ макросейсмических источников, относящихся к рассматриваемой территории;
- проводится анализ параметров механизма очага вранчских землетрясений для определения типов подвижек в очаге.

Практическое значение полученных результатов:

- создана база макросейсмических данных исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона, оценённых по шкале MSK-64;
- построены карты изосейст, включающие все дополнительно найденные пункты;
- на основе наиболее соответствующей для нашего региона модели макросейсмического поля вычислены основные и дополнительные параметры каждого рассматриваемого землетрясения и его очага и определяется тип каждого землетрясения.

Полученные параметры исследуемых сейсмических событий для более достоверного каталога исторических землетрясений позволит:

- точнее определить сейсмическую опасность территории Республики Молдова для отдельных пунктов и других государств Карпатского сейсмического региона;
- построить соответственно более точные карты сейсмического районирования.

Также объём собранных и обработанных данных является существенным вкладом в основу дальнейших исследований сейсмичности Карпатского региона.

Автор лично принимал участие на всех этапах работы над диссертацией в рамках Института геологии и сейсмологии МолдГУ и самостоятельно получил итоговые результаты проведенной исследовательской работы, которые были представлены в более чем 50 публикациях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность данной исследовательской работы, ставится цель и указываются задачи по её достижению; приводятся научная новизна и защищаемые положения, а также теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе даётся обзор макросейсмических исследований и сейсмичности Карпатского региона. Территория Республики Молдова подвержена сейсмическим воздействиям различной интенсивности от нескольких очаговых зон, в основном за пределами страны. Условно эти зоны объединяют в Карпатский сейсмический регион, в котором главную роль играет очаговая зона Вранча, перекрывающая для территории Республики Молдова степень воздействия от других очаговых зон.

Для Карпатского сейсмического региона накоплен значительный объём макросейсмических данных, но они достаточно разрозненны и требуют единого подхода в обработке, интерпретации, систематизации и, как итог, каталогизации. Особенно эта проблема актуальна для исторических землетрясений. В связи с постоянным пополнением данных за счёт нахождения всё новых исторических источников, есть необходимость заново оценить все имеющиеся к настоящему моменту в наличии данные. И уже на их основе рассчитывать параметры исторических землетрясений по уточнённым моделям затухания макросейсмического поля.

Отрывочные, но многочисленные записи о сотрясениях в Карпатском сейсмическом регионе известны с древнейших времен. Однако регулярные записи наблюдений за землетрясениями, а также попытки сбора, систематизации и анализа сведений о сейсмических событиях, произошедших ранее, в этом регионе появились лишь в 19 веке. Появились и первые карты, отображающие макросейсмическое поле землетрясения – карты изосейст и по ним определялся макросейсмический эпицентр. Роберт Маллет составил первый каталог мировой сейсмичности, в котором по каждому землетрясению приводились: дата, местоположение, количество толчков, направление, продолжительность колебаний и их последствия. Он также ввёл первую шкалу интенсивности землетрясений, разделив пострадавшие территории на 4 зоны (Mallet R. 1862). Одновременно в 19 веке начинает зарождаться и инструментальная сейсмология. Даются уже количественные оценки сейсмического воздействия, задавшие новое направление в изучении землетрясений. Определение инструментального эпицентра выявило его несоответствие с макросейсмическим (Sandu I. 2012). В результате был

введено понятие очага землетрясения – области разрыва пород с излучением упругих волн. И предложены теории механизма очага землетрясения, описывающие пространственную ориентацию подвижки разрыва и главных осей напряжения. Основные из них: модель двойного диполя, предложенная Введенской в 1956 г.; модель тензора сейсмического момента, Костровым в 1970 г. (Воронина Е. 2004).

Первые упоминания о карпатских землетрясениях относятся к IV – V векам. Воспоминания очевидцев дошли до нас в разнообразных формах: мемуары и записки путешественников, летописи, письма, сообщения в старых газетах и журналах. Известны летописные упоминания о землетрясениях в Киевской Руси 1091, 1107, 1122, 1170, 1196, 1230 гг. и ряда других (Ешану В. и др. 1988). Однако, только начиная с XVIII и, особенно, с XIX столетия, сведений для точного и объективного суждения о землетрясениях становится достаточно.

Для периода доинструментальных наблюдений основой послужил «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.» (Новый каталог 1977). В этом огромном и важном труде можно найти сведения о месте, времени, глубине, магнитуде и интенсивности сейсмических толчков для многих исторических землетрясений Карпатского региона. Макросейсмические данные пересматривались с единых позиций, с тем, чтобы оценки балльности по возможности соответствовали грациям шкалы MSK-1964 (Медведев С. и др. 1965).

При сборе сведений о землетрясениях, захватывающих территорию Республики Молдова, были использованы источники, которые можно разделить на три разряда: 1) непосредственные показания очевидцев, 2) описания и переработки, составленные на основании первоисточников, 3) научные статьи и монографии, посвященные вопросам геофизики и сейсмологии.

Из источников XIX века можно отметить «Каталог землетрясений Российской империи» Мушкетова и Орлова, охватывающий период до 1893 г. (Мушкетов И., Орлов А. 1893); Труды метеорологической сети юго-запада России (Клоссовский А. 1895-97); сводки Защука «Бессарабская область» (Зашук А. 1862). Бюллетень Постоянной центральной сейсмической комиссии Российской Академии наук издавался с начала XX столетия (Бюллетень ПЦСК РАН 1902-1937).

В работе Друмя, Устиновой, Щукина (1964) приводятся исторические сведения о землетрясениях на территории Молдовы за период 1000 – 1940 гг. Составлены таблицы с макросейсмическими данными для землетрясений 1790 – 1940 гг. и построены на их основе карты с проведенными линиями изосейст.

Среди румынских исследователей необходимо отметить каталоги следующих авторов: Гепитес (1890), Штефанеску (1902), Попеску (1938), Флоринеско (1958). В монографии Атанасиу «Землетрясения на территории Румынии» (1961) использованы также данные Флоринеско и Гепитеса. К работе прилагается хронологический список землетрясений с 1790 по 1942 гг. с таблицами ПБ и картами изосейст.

В книге С. Евсеева «Землетрясения Украины» и его статье «Интенсивность землетрясений Украины» собраны и систематизированы сведения о землетрясениях Карпатской зоны за период 1000 – 1940 гг. (1961; 1969). Кроме того: польский каталог Ляска (1906); венгерский каталог Ретли (1952). В Атласе карт изосейст, изданном под эгидой ЮНЕСКО, приведены карты изосейст сильнейших землетрясений Карпатского региона за 1790 – 1965 гг. (Atlas 1974).

В Опытной-методической партии Института геофизики и геологии АН РМ был собран большой фактический материал за 1091 – 1940 гг. из архивов и библиотек и составлен макросейсмический каталог (Ешану В. и др. 1988). Сведения о современных землетрясениях были взяты из периодических изданий: «Бюллетень западной территориальной зоны ЕССН (Крым – Карпаты)» за 1964 – 1990 гг., «Сейсмологический бюллетень Украины» за 1991 – 2012 гг., «Землетрясения в СССР» за 1960 – 1994 гг. и «Землетрясения Северной Евразии» за 1992 – 2019 гг.

Также необходимые сведения о параметрах землетрясений доступны на сайтах Международного Сейсмологического Центра (ISC) и Национального Института Физики Земли в Бухаресте (INFP), в их каталоге Romplus.

Обширный обзор сейсмологических исследований в исторической перспективе сделан в работе И. Санду, в которой проводится анализ подходов и методов сейсмологических исследований (детерминистский и вероятностный) в целом и применительно к Карпатскому сейсмическому региону в частности (Sandu I. 2015).

Макросейсмические исследования включают целый комплекс связанных между собой последовательных методов. Процесс начинается со сбора сведений о произошедшем землетрясении: наблюдения о том, в какой мере ощущалось и какие последствия имело данное землетрясение в каждом отдельном пункте, включая установление границы вдоль пунктов, где оно не проявилось на поверхности. Также используются инструментальные данные, полученные со станций сейсмической сети.

Для обеспечения необходимого объёма, а также необходимой точности макросейсмических наблюдений следует применять в разумном сочетании четыре основных метода макросейсмических наблюдений: обследование, опрос,

анкетирование и анализ актов. Правильная организация макросейсмических наблюдений должна обеспечивать получение в количественной форме как генеральных характеристик макросейсмического поля, так и локальных аномалий этого поля.

В результате макросейсмических оценок интенсивности (балльности) мы получаем сведения о распределении ее величины на земной поверхности. Нанеся пункты на карту с обозначением балльности, мы получаем так называемую карту «пунктов-баллов» (карта ПБ), которая является точечным представлением макросейсмического поля и основным архивным макросейсмическим документом.

Макросейсмические данные используются для определения следующих (в порядке приоритета) параметров очага: для текущих землетрясений – глубины, положения эпицентра, ориентации, размеров, магнитуды, сейсмического момента; для исторических землетрясений – положения эпицентра, магнитуды, глубины, а также (если возможно) ориентации, размеров, сейсмического момента.

Уравнение макросейсмического поля основано на предположении равномерного изменения физических свойств среды и, соответственно, равномерности распространения сейсмической энергии в пространстве. При таком раскладе форма изосейст зависела бы от геометрии очага в ближней зоне, и близкой к окружности в дальней зоне. Однако, в реальности, линии равной интенсивности расходятся от эпицентра в виде эллипсов или изогнутых линий произвольной формы. В ближней зоне, где $r \approx h$ (r – эпицентральное расстояние, h – глубина очага землетрясения), геометрия очага землетрясений имеет определяющее влияние на конфигурацию макросейсмического поля (Шебалин Н. 1961; Сейсмическое районирование 1980).

Сейсмичность. Территория Республики Молдова входит в состав Карпатской сейсмической зоны, которая является отдельной активной зоной альпийского орогенного пояса внутри Европейского сеймотектонического региона, связанного с взаимодействием Евразийской и Африканской литосферных плит и представляет собой сегмент Альпийско-Гималайского сейсмического пояса. Карпатским регионом в данной работе условно принята территория, заключенная в пределах $43^\circ - 49^\circ$ северной широты и $22^\circ - 31^\circ$ восточной долготы, на которой расположены большая часть Румынии, Молдова и юго-западная часть Украины. На рис. 1 представлена карта Карпатского сейсмического региона Европы, на которой показано местоположение сейсмической области Вранча в изгибе Карпатской дуги, в месте сочленения Восточных и Южных Карпат.



Рис. 1. Карта Карпатского региона Европы, на которой показано местоположение сейсмической области Вранча в изгибе Карпатской дуги

В тектоническом отношении исследуемый регион разделяется на три структурных области: докембрийскую (Русскую) платформу; эпигерцинскую (Скифскую) платформу и альпийскую геосинклинальную область. Для каждой из них характерны свои зоны ВОЗ. Очаги землетрясений Карпатского сейсмического региона по глубине группируются в два яруса: коровые (до 60 км) и подкоровые. Коровые землетрясения распределены по трём тектоническим зонам. Очаги первой зоны приурочены к нарушениям в фундаменте Восточно-Европейской (докембрийской) платформы, второй зоны – к разломам в герцинско-киммерийском фундаменте Северной Добруджи и ее обрамлении, третьей – к разломам в альпийских сооружениях.

Неглубокие очаги слабых землетрясений рассеяны по всей территории Карпатского региона. Их глубина не превышает мощности земной коры (до 50-60 км), у самых сильных из них магнитуда не превышает $M=5,7$. Очагами таких землетрясений изобилуют зоны Придунайских разломов и междуречье Прут – Сирет. Местные очаги могут вызывать локальный макросейсмический эффект в эпицентре до 7 баллов (Друмя А., Степаненко Н. 2006). За инструментальный период наибольший макросейсмический эффект на территории Молдовы от коровых землетрясений не превышал 5 баллов.

Подкоровые (промежуточные) землетрясения. Главнейшей и опаснейшей особенностью сейсмичности Карпатского региона является его подкоровая сейсмичность в области Вранча, расположенной на участке сочленения Восточных и Южных Карпат. Область Вранча представляет собой зону контрастных движений, которая возникла на границе поднимающейся системы горных сооружений Карпат и опускающегося Предкарпатского краевого прогиба, на участке сочленения Восточных и Южных Карпат. Карпатская складчатая дуга резко изменяет здесь свое простираие с северо-западного на широтное. Одновременно изменяется геологическое строение: преимущественно флишевые Восточные Карпаты переходят в Южные с преобладающим развитием кристаллических комплексов и редуцированным флишем (Друмя А. и др. 1964). Именно к участку сочленения этих двух сегментов Карпат приурочены все сильные землетрясения региона, вносящие основной вклад в сейсмическую опасность территории Республики Молдовы.

Эпицентры вранчских очагов сосредоточены в пределах небольшой площади, менее одного географического градуса ($1 \times 1^\circ$, 60×80 км), характеризуются чуть ли не самой высокой концентрацией на всем земном шаре. Эпицентральная область ограничена меридианами $26^\circ - 27^\circ$ в.д. и параллелями $45^\circ - 46^\circ$ с.ш. (рис. 1) и совпадает по географическому положению с горным массивом Вранча. По глубине очаги прослеживаются от 60 до 180 км в мантии, причем к востоку и юго-востоку глубина очагов уменьшается. Подкоровые очаги Вранча образуют фокальную зону, круто погружающуюся на северо-запад под Карпаты. Землетрясения обусловлены преимущественно близгоризонтальными сжимающими напряжениями, ориентированными с северо-запада на юго-восток.

Сильнейшие землетрясения зоны Вранча (в эпицентре до 8 – 9 баллов) ощущаются не только на территории Румынии, но и охватывают большую часть Восточной и Центральной Европы: Молдову, Украину, Болгарию, Сербию, Македонию, Россию, Белоруссию, Венгрию, Словакию, Польшу, Чехию, Грецию, Турцию. Каждое столетие отмечается, как правило, двумя-тремя землетрясениями, по силе своей близкими к максимально возможным в данной очаговой зоне.

Территория Республики Молдова, входящая в состав Карпатского сейсмического региона, подвержена сейсмической опасности очень высокого уровня. По макросейсмической шкале MSK-64 в отдельных локальных зонах юго-запада страны возможны сотрясения до 9 баллов.

Во второй главе сопоставляются решения механизма очага, полученные двумя методами, выделяются типы механизма очага землетрясений Карпатского региона и определяется их влияние на макросейсмический эффект.

В первом методе для построения механизма очага сильных карпатских землетрясений, которые ощущались на территории Республики Молдова, применялась стандартная методика Введенской (1969), разработанная на основе теории дислокаций. По ней определяется положение двух нодальных плоскостей разрыва, ориентация подвижек по ним, направления главных осей напряжений, снимаемых в момент землетрясения. Исходными данными служат знаки первых смещений продольных волн.

Второй метод решения механизма очага землетрясений получен с помощью тензора сейсмического момента (ТСМ) по методу Дзевонского с использованием волновой формы от вступления *P*-волны до фундаментальных мод поверхностных волн, зарегистрированными цифровыми сейсмическими станциями мировой сети ТСМ, изложенному в (Dziewonski A. et al. 1981). Так как механизм, полученный по знакам первых смещений, соответствует началу процесса вспарывания, а главные оси тензора сейсмического момента получены по всей сейсмограмме, то их сравнение может дать информацию о развитии процесса разрывообразования.

Рассматривались прежде всего решения механизма очага четырёх сильнейших сейсмических событий с $M \geq 5,9$: 4 марта 1977 г., 30 августа 1986 г., 30 и 31 мая 1990 г.

Землетрясение 4 марта 1977 г. было мультиплетным и состояло из нескольких последовательных разрывов. Эпицентр приурочен к северо-восточной части области Вранча. О направленности распространения разрыва в очаге можно судить по координатам очага, относящимся к начальному моменту процесса, и полученным по методу ТСМ (ISC). Эпицентр землетрясения 1977 г., определённый по методу ТСМ, смещён от эпицентра, соответствующего началу вспарывания, на 70-75 км к юго-западу. На рисунке 2 пунктиром показана линия развития процесса разрывообразования и отмечены координаты четырёх основных составляющих этого мультиплетного события по (Mueller G. et al. 1979).

Несовпадение эпицентров объясняется тем, что второе решение относится к одному из последующих этапов развития процесса разрывообразования, поскольку для нахождения элементов тензора сейсмического момента используется вся сейсмограмма землетрясения, которая в процессе расчёта усредняется. Характер подвижки, взбросо-сдвиговый, остаётся сходным при разных определениях.

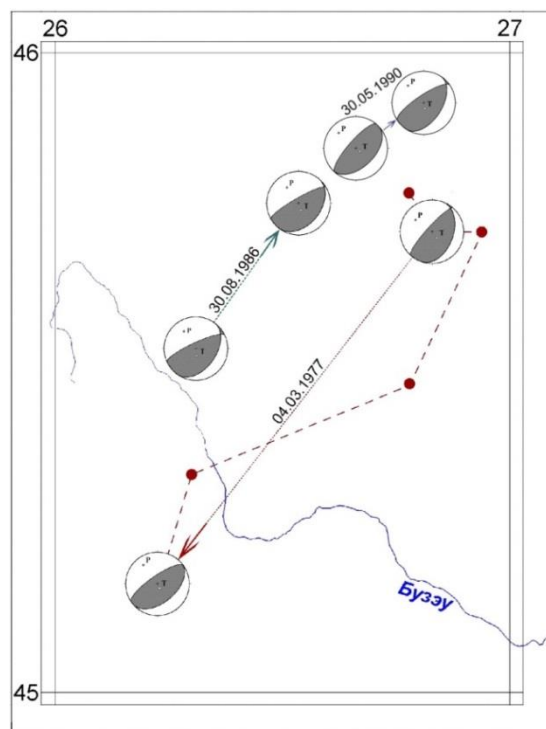


Рис. 2. Сравнение разных определений эпицентра и механизма землетрясений 4 марта 1977 г., 30 августа 1986 г. и 30 мая 1990 г. Точки – эпицентры основных толчков землетрясения 1977 г. Стрелки – направления разрывообразования

Гипоцентр землетрясения 30 августа 1986 г. приурочен к юго-западной окраине области Вранча и глубине порядка 130 км. Механизм очага землетрясения 1986 г., определённые первым и вторым методами, хорошо согласуются между собой. Обе возможные плоскости разрыва имеют северо-восточное простирание. О направленности разрыва можно судить, исходя из того, что эпицентр, определённый по методу ТСМ, смещён по отношению к эпицентру, определённому по первым вступлениям *P*-волн, на 25-30 км к северо-востоку (рис. 2). Отсюда можно сделать предположение, что разрыв в очаге распространялся с юго-запада на северо-восток.

В 1990 г. произошёл сейсмический дубль 30 и 31 мая. Местоположение очагов близко к таковому для землетрясения 1977 г. Механизм очага землетрясения 30 мая подобен решениям механизма землетрясений 1977 и 1986 гг. Тип движения в очаге взбросо-сдвиговый. Простирание нодальных плоскостей по касательной к Карпатской дуге. Определение решений механизма очага на основе знаков первых вступлений *P*-волн и по методу ТСМ дали достаточно близкие результаты, что свидетельствует об унаследовании направления вспарывания на разных стадиях образования разрыва. Смещение эпицентра, определённого по методу ТСМ, наблюдается к северо-востоку на расстояние порядка 15 км, глубина очага уменьшается от 89 до 74 км (рис. 2).

Анализ решений механизма очага карпатских землетрясений зоны Вранча, произошедших за период 1977-2014 гг., по знакам вступлений продольных волн и по методу тензора сейсмического момента (ТСМ), показал, что в небольшом сейсмогенном объёме наблюдается различная ориентация плоскостей разрыва в соответствии с приуроченностью эпицентров к различным частям Карпатской горной дуги. Большинство из рассмотренных землетрясений области Вранча произошли под действием сжимающих субгоризонтальных напряжений; три коровых землетрясения имели сдвиго-сбросовый характер.

Сравнение решений, полученных по знакам *P*-волн, с решениями ТСМ показывает практическую их схожесть. Для некоторых землетрясений, при одинаковом типе подвижки, отдельные различия отмечаются лишь в ориентации нодальных плоскостей и осей главных напряжений. Это связано с использованием различных методик определения решений механизма очага: начальный этап процесса разрывообразования и срединный. Надёжно определённый механизм очага характеризует генеральный разрыв в очаге и поэтому позволяет существенно уточнить глубинное строение активных геологических разрывов и ориентацию в глубине: простирание, направление и угол падения, тип подвижки и даже уточнить глубину залегания очага. Поэтому для более полной характеристики очагов землетрясений в Карпатском регионе, следует применять оба метода, дополняющие друг друга.

По данным о типах подвижек в очагах землетрясений можно судить о характере сеймотектонических движений в регионе. Для определения типа сейсмодислокации использовалась система классификации ориентировок, предложенная в работе (Вермишева Л., Гангус А. 1977), где всевозможные типы смещений в очагах формально разделены на семь групп. Каждый тип однозначно определяется величиной углов между вертикалью (горизонталью) и осями главных осей напряжений *P*, *B*, *T*. На рисунке 3 показана гистограмма распределения типов решений механизма очага вранчских землетрясений. Отсутствуют механизмы сдвигового типа А.

Наибольшее число очагов характеризуются надвиговой подвижкой (тип В). Далее по убыванию следуют типы Г, Б₁, Б, Д – сдвиго-надвиг, взброс, сбросо-сдвиг и пологий сброс со сдвигом. Таким образом, большинство очагов характеризуется наклонным положением нодальной плоскости.

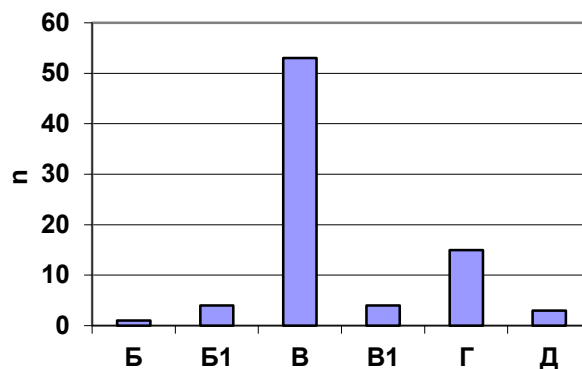


Рис. 3. Распределение по типам подвижек в очагах вранчских землетрясений за 1977-2014 гг.

Б – сбросо-сдвиг, Б1 – взброс, В – надвиг, В1 – нормальный сброс,

Г – сдвиг-надвиг, Д – пологий сброс со сдвигом.

На разных участках Карпатской дуги идентифицированы три основных типа механизма очага землетрясения и соответствующих им макросейсмического эффекта. Тип 1 представляет собой комбинацию двух наклонных плоскостей, ориентированных в направлении северо-запад – юго-восток, 25 землетрясений (31%). При этом типе увеличение интенсивности колебаний почвы наблюдается в северной части Республики Молдова. Второй тип механизма очага проявляется представляет собой комбинацию двух плоскостей простирания запад-восток, т.е. параллельно оси Южных Карпат, с увеличением интенсивности колебаний к востоку, 17 (21%) землетрясений. Тип 3 решений механизма очага проявился у 20 (25%) землетрясений. Он представляет собой комбинацию крутой и пологой плоскости. Направление плоскости разрыва параллельно касательной к изгибу горной дуги, с увеличением интенсивности колебаний в северо-восточном направлении. У некоторых исследованных сейсмических событий (т.е. у 23% толчков) решение механизма не входят ни в один из типов. Наиболее опасными для Молдовы являются землетрясения центральной части области Вранча (3-й тип), приуроченной к зоне стыка Восточных и Южных Карпат. Именно такой тип механизма соответствует очагам самых сильных землетрясений XX века: 10 ноября 1940 г., 4 марта 1977 г., 31 августа 1986 г. и 30 мая 1990 г.

Был сделан сравнительный анализ двух крупных землетрясений Карпатского региона с одинаковой магнитудой $M_w = 5,7$, близкими координатами эпицентра, но с разными этажами глубин очага: 22 ноября 2014 г. ($h = 41$ км) и 23 сентября 2016 г. ($h = 91$ км), которые ощущались на территории Республики Молдова. На рисунке 4 показана сводная карта изосейст двух исследуемых землетрясений. Заметно различие площадей территорий, охваченных колебаниями слабой интенсивности $I = 3$ балла. В

случае корового события граница ощущаемости доходит до Южного Буга. Для промежуточного события граница доходит до границ России и Белоруссии. При этом на юго-востоке от эпицентров к побережью Чёрного моря, а также на северо-западе изосейсты практически совпадают. Это связано с быстрым затуханием интенсивности из-за многочисленных разломов тектонических структур Добруджи и Карпат.

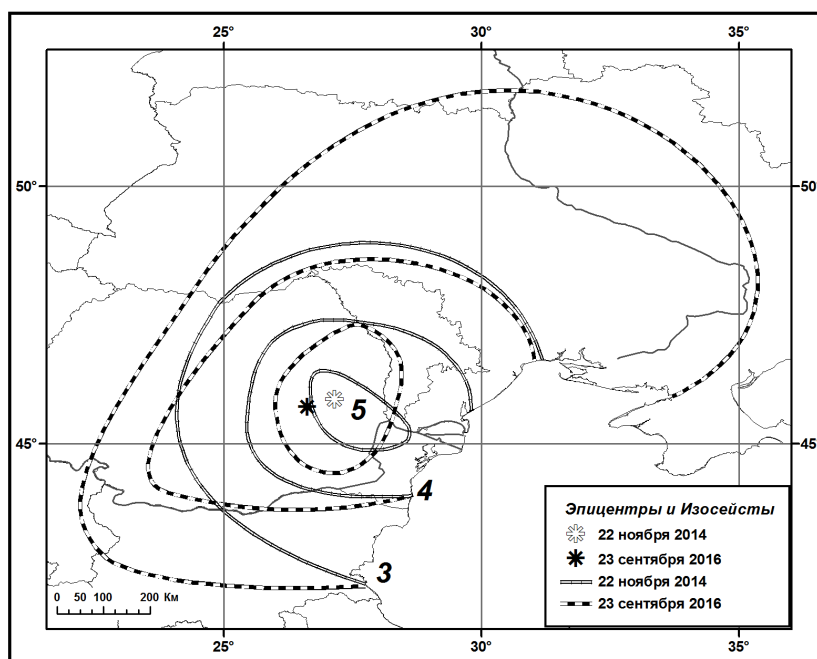


Рис. 4. Сравнение изосейст землетрясений 22 ноября 2014 и 23 сентября 2016

На рисунке 5 показана зависимость интенсивности от эпицентрального расстояния в направлении на северо-восток от эпицентра (азимут на Кишинёв) для двух типов землетрясений с близкими значениями магнитуд. Глубокое залегание очага землетрясения обуславливает большую территорию, охваченную сотрясениями.

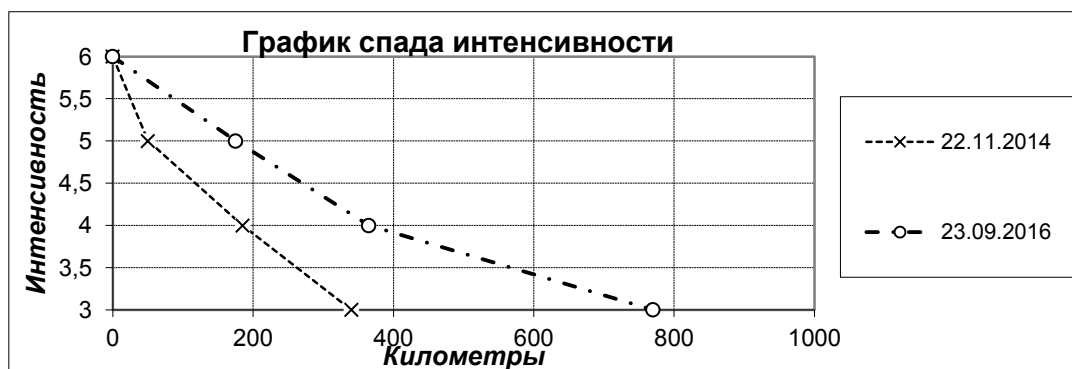


Рис. 5. График спада интенсивности в направлении Кишинёва землетрясений 22 ноября 2014 г. и 23 сентября 2016 г.

Сравнительный анализ двух сопоставимых по магнитуде землетрясений, корового и подкорового, показал, что для подкорового землетрясения наблюдается отклонение инструментального очага от макросейсмического, область максимальных

сотрясений смещена к северо-востоку от эпицентра. Так как распространению сейсмических волн в северо-западном и юго-восточном направлениях препятствуют многочисленные разломы, затухание в этих направлениях происходит примерно одинаково. А в северо-восточном и юго-западном направлениях затухание интенсивности от землетрясений промежуточной глубины происходит гораздо медленнее. Поэтому ощутимые сотрясения от них охватывают намного большие площади территорий, чем от коровых землетрясений, для которых характерны концентрические зоны интенсивности правильной формы и с расстоянием макросейсмический эффект быстро убывает. Макросейсмический эпицентр у коровых землетрясений близок или же совпадает с инструментально определённым. Механизм очага корового землетрясения сдвига-сбросовый, а вранчского землетрясения – надвиговой и обусловлен силами сжатия в горизонтальном направлении.

У механизма очага сильнейших землетрясений XX столетия (10 ноября 1940 г., 4 марта 1977 г., 30 августа 1986 г. и 30 мая 1990 г.) доминирующая ориентация плоскостей вспарывания северо-восток – юго-запад с большим или меньшим вкладом сдвиговой компоненты. Эта ориентация хорошо согласуется с вытянутостью изосейст в сторону Восточно-Европейской платформы. По магнитуде наибольшим было разрушительное событие 1940 г., наименьшим – 1990 г. Глубины очагов землетрясений 1977 и 1990 гг. порядка 90 км, координаты эпицентров близки между собой. Очаг землетрясения 1977 состоял из нескольких субочагов (Бунэ В. и др. 1986, с. 126).

При землетрясениях 1940 и 1986 гг. направление разрыва было с юго-запада на северо-восток. Их очаги залегают примерно на 50 км глубже, поэтому при одинаковой магнитуде интенсивность в эпицентре будет ниже, чем при землетрясениях типа 1977 и 1990 гг. Главные события предварялись форшоками 22 октября 1940 г. и 16 августа 1986 г. Таким образом, направления распространения разрывов в очагах этих землетрясений попарно противоположны. В 1940 и 1986 гг. усиление макросейсмического эффекта происходило в направлении вспарывания (на Кишинёв). В 1977 и 1990 гг. процесс разрывообразования был с северо-востока на юго-запад. В створ максимального излучения попал Бухарест. Были построены обобщенные макросейсмические карты для различных направлений нодальных плоскостей. Рассматривались события с $M \cong 5$ (Друмя А. и др. 2009, с. 39). Анализ наблюдаемых сотрясений в зависимости от ориентации плоскости разрыва подтвердил, что землетрясения с ориентацией нодальных плоскостей на северо-восток – юго-запад являются наиболее опасными для территории Республики Молдова.

В третьей главе приводится методология и вычисляются по ней параметры рассматриваемых исторических землетрясений на основе макросейсмических данных.

К основным параметрам землетрясения относятся: координаты эпицентра (в том числе и макросейсмического), глубина очага (H), магнитуда (M), интенсивность в эпицентре (I_0). Другие параметры: ориентация очага, горизонтальная протяжённость очага, вертикальная протяжённость очага, падение плоскости разрыва, площади зон интенсивности, азимут большой оси, расстояние до наиболее удалённого пункта и др. Для современных землетрясений все эти параметры определяются на основе полученных инструментальных данных. Параметры исторических землетрясений можно вычислить только по собранным макросейсмическим сведениям.

Классическая функция затухания учитывает значения 3-х параметров: магнитуды, глубины и эпицентрального расстояния. Необходимо было проверить вклад параметров механизма очага землетрясения в уравнение макросейсмического поля. Анализу подлежали значения 15 параметров, характеризующих основные параметры землетрясения, механизм и геометрию очага области Вранча. Между 15 параметрами, отражающими механизм и геометрию очага Вранча, наблюдается статистически значимая корреляционная зависимость и с помощью факторного анализа выявлены скрытые факторы, обуславливающие связи между этими параметрами. На основе полученных результатов были вычислены значения коэффициентов функции затухания по методу скользящего среднего от всех сейсмических зон.

Основой для определения параметров землетрясения по макросейсмическим данным служит уравнение макросейсмического поля, зависимости интенсивности в определённом пункте от магнитуды и глубины очага. Уравнение имеет следующий вид:

$$I_i = aM - b \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + c \quad (1),$$

где M – магнитуда; Δ – эпицентральное расстояние; H – глубина очага; a , b , c – постоянные коэффициенты.

Для землетрясений Карпатского региона Н. В. Шебалиным (Друмя А., Шебалин Н. 1985, с. 169) были выведены эмпирическим путём коэффициенты затухания в направлении Кишинёва от Вранчских землетрясений промежуточной глубины. В результате получена следующая формула:

$$I_i = 1,5M - 4,5 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 7 \quad (2).$$

Зная магнитуду M и глубину очага землетрясения H , мы можем определить интенсивность I_i в пункте, лежащем на расстоянии Δ km от эпицентра.

Для коровых событий Карпатского региона можно использовать общемировые коэффициенты в соответствующей формуле (Друмя А., Шебалин Н. 1985, с. 95):

$$I_i = 1,5M - 3,5 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 3 \quad (3).$$

В работе Р.З. Буртиева (2017, с. 216) были уточнены коэффициенты затухания для землетрясений промежуточной глубины зоны Вранча, полученных для четырёх азимутальных створов (таб. 1). При вычислении коэффициентов на основе сильнейших землетрясений использовались значения магнитуды M_w .

Таблица 1. Коэффициенты затухания для промежуточных землетрясений зоны Вранча

Азимутальный интервал	Коэффициенты затухания		
	a	b	c
0-90°	1,52	-4,74	6,79
90-180°	1,63	-5,80	8,24
180-270°	2,10	-6,94	8,07
270-360°	1,41	-5,40	8,11

Рассматриваемое в этой работе направление Кишинёва попадает в азимутальный створ 0 – 90°. Соответственно были взяты коэффициенты: $a = 1.52$, $b = -4.74$, $c = 6.79$. Подставив значения, получаем следующую формулу:

$$I_i = 1,52M_w - 4,74 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 6,79 \quad (4).$$

В итоге у нас есть формулы с двумя неизвестными: магнитудой (M) и глубиной (H). И чтобы найти магнитуду необходимо вычислить зависимость интенсивности в эпицентре (или в любом другом пункте) и глубины очага исходя из этих формул.

Для исследования были отобраны исторические землетрясения с XVIII века по начало XX века, которые ощущались на значительной территории с интенсивностью, достигающей в эпицентре до 6 баллов, и с достаточным количеством пунктов с имеющимися свидетельствами о проявлении землетрясения. Сейсмических событий, соответствующих этим условиям, было выделено 12. Была проведена переоценка балльности по шкале MSK-64 и определена интенсивность в эпицентре.

В качестве дополнительного пункта с интенсивностью был выбран для рассмотрения Кишинёв, упоминаемый практически во всех значительных землетрясениях. За эпицентральное расстояние (Δ) было принято 230 км.

Результаты вычислений основных параметров (координаты, глубина, магнитуда и интенсивность в эпицентре) представлены в таблице 2. Координаты указаны для макросейсмического эпицентра, вычисленного по центру плейстосейстовой зоны.

Таблица 2. Основные параметры исторических землетрясений.

<i>Дата землетрясения</i>	<i>Координаты</i>		<i>Глубина (км)</i>	<i>Магнитуда $M_w (M_S)$</i>	<i>Интенсивность в эпицентре (I_0)</i>
	<i>с.ш.</i>	<i>в.д.</i>			
11-06-1738	45.72	27.24	90–130	6.9–7.3	8
06-04-1790	45.90	27.04	120–130	6.3–6.4	6 (6–7)
26-10-1802	45.18	26.61	120–130	7.6–7.7	8–9
26-11-1829	45.28	27.06	130–140	7.0–7.1	7–8
23-01-1838	45.35	27.32	90–100	6.9–7.0	8
17-08-1893	46.35	27.68	120–130	6.3–6.4	6–7
10-09-1893	46.25	27.58	70–80	5.9–6.0	7
04-03-1894	46.08	27.66	20	5.9 (5.7)	7 (7–8)
31-08-1894	46.29	27.84	70–90	6.2–6.3	7 (7–8)
06-02-1904	46.56	27.59	120	6.0	6
06-10-1908	45.85	27.31	100	6.0	6–7
25-05-1912	45.56	27.22	30	6.2 (6.1)	7

В таблице 3 сравниваются уточнённые параметры исторических землетрясений с параметрами, представленными в каталоге Romplus и Новом каталоге (1977).

Таблица 3. Сравнение параметров исторических землетрясений по данным различных каталогов

<i>Дата землетрясения</i>	<i>Глубина по [Новый каталог 1977] (км)</i>	<i>Глубина по каталогу Romplus (км)</i>	<i>Глубина вычисленная автором работы (км)</i>	<i>Магнитуда по [Новый каталог 1977] (M)</i>	<i>Магнитуда по каталогу Romplus (M_w)</i>	<i>Магнитуда вычисленная автором работы (M_w)</i>
11-06-1738	75-200	130	90–130	7.0	7.7	6.9–7.3
06-04-1790	75-200	150	120–130	6.9	7.1	6.3–6.4
26-10-1802	100-170	150	120–130	7.4	7.9	7.6–7.7
26-11-1829	100-170	150	130–140	6.9	7.3	7.0–7.1
23-01-1838	100-170	150	90–100	6.9	7.5	6.9–7.0
17-08-1893	80-150	100	120–130	6.1	7.1	6.3–6.4
10-09-1893	50-150	100	70–80	6.1	6.5	5.9–6.0
04-03-1894	50-150	130	20	5.8	6.5	5.9
31-08-1894	100-170	130	70–90	6.5	7.1	6.2–6.3
06-02-1904	40-90	75	120	5.9	6.6	6.0
06-10-1908	120-180	125	100	6.8	7.1	6.0
25-05-1912	20-80	90	30	6.3	6.7	6.2

Кроме этих параметров, рассчитанных по формулам, есть ещё ряд важных параметров. Они уже были получены непосредственно с карт изосейст. В первую очередь по построенным картам был определен макросейсмический эпицентр каждого землетрясения, площадь зон интенсивности и направления главных осей зон интенсивности. Также показательными являются результаты азимутов наиболее удалённой точки дальней изосейсты и наиболее удалённого пункта, где ощущалось землетрясение, а также измерены расстояния до этих пунктов. Все дополнительно полученные результаты занесены в таблицу 4.

Таблица 4. Дополнительные параметры исторических землетрясений

<i>Дата землетрясения</i>	<i>Площадь (км²)</i>	<i>Угол оси первой изосейсты (гр.°)</i>	<i>Расстояние (км)</i>	<i>Азимут на дальний пункт (гр.°)</i>	<i>Азимут на дальнюю изосейсту (гр.°)</i>
11-06-1738	420 761*	54	602	57	245
06-04-1790	619 443	51	825	66	70
26-10-1802	2 451 404	64	1 658	14	45
26-11-1829	622 997	47	931	52	48
23-01-1838	979 174	69	1 228	49	48
17-08-1893	220 960	149	471	59	86
10-09-1893	211 048	172	460	48	252
04-03-1894	90 496	65	442	62	84
31-08-1894	203 277	85	608	232	232
06-02-1904	132 716	63	352	63	243
06-10-1908	402 167	56	588	62	17
25-05-1912	126 705	175	596	34	333

На рисунке 6 представлен пример карты изосейст (23 января 1838 г.) с вычислениями дополнительных параметров землетрясений.

Полученные параметры исторических землетрясений Карпатского региона, имевших существенный эффект на территории Республики Молдова, при сравнении с закономерностями выявленными из исследований землетрясений за инструментальный период, позволяют определить тип каждого землетрясения и влияние ориентации (простираения) очага на направление максимального эффекта.

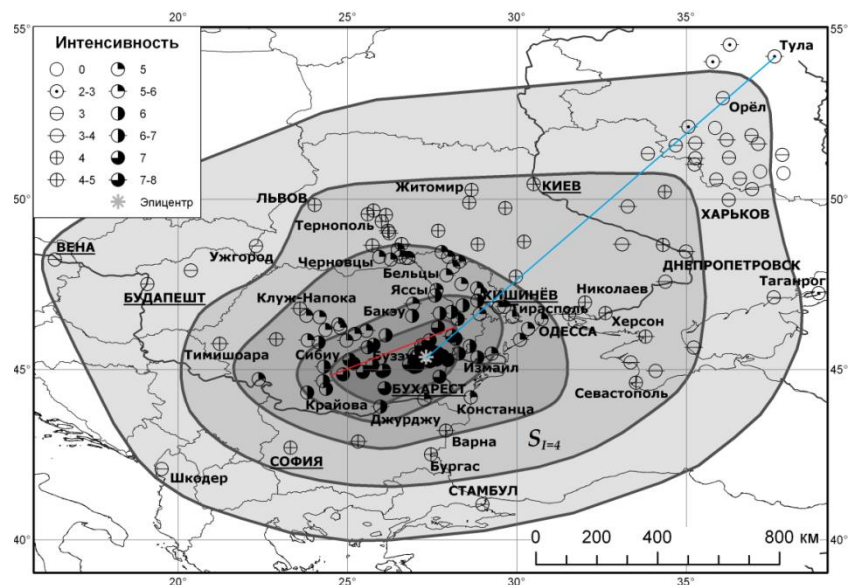


Рис. 6. Вычисления по карте изосейст землетрясения 23 января 1838 г.

При анализе параметров 12 исторических землетрясений были определены их ориентировочные глубины: десять событий относятся к подкоровым и два к коровым (4 марта 1894 г. и 25 мая 1912 г.). Выяснилось, что простираение разрывов в очаге большинства подкоровых землетрясений, и, в первую очередь, самых сильных из них, имело направление юго-запад–северо-восток, в т.ч. четыре землетрясения (6 апреля 1790 г., 26 октября 1802 г., 26 ноября 1829 г., 23 января 1838 г.) с основным эффектом преимущественно на северо-восток и четыре землетрясения (11 июня 1738 г., 10 сентября 1893 г., 31 августа 1894 г., 6 февраля 1904 г.) с основным эффектом преимущественно на юго-запад, в основном с гипоцентрами на глубине ~ 90 км. Эта преобладающая ориентация разрывов в очаге сильных землетрясений подтверждается исследованиями сильных землетрясений инструментального периода. Простираение разрывов в очаге землетрясения 17 августа 1893 г. носило субширотную направленность, а землетрясения 6 октября 1908 г. – субмеридиональную.

Несмотря на возможные погрешности, связанные с точностью оценки интенсивности в пунктах наблюдения, а также точностью коэффициентов уравнения макросейсмического поля, удалось определить тип каждого исторического землетрясения и получить более точные значения их параметров. Полученные результаты согласуются с закономерностями, выявленными в ходе исследований землетрясений инструментального периода. Это доказывает состоятельность методов исследования макросейсмических данных и расчётов параметров, применённых в этой работе. Уточнённые параметры исторических землетрясений позволят составить более целостную картину сейсмической опасности Карпатского региона.

ОБЩИЕ ВЫВОоды И РЕКОМЕНДАЦИИ

Данная работа посвящена комплексному анализу макросейсмического эффекта от карпатских землетрясений на территории Республики Молдова и сопредельных стран, анализу решений механизма очага землетрясений данной зоны и определению параметров крупнейших исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона для уточнения исторического каталога землетрясений.

1. В ходе работы была описана методология сбора и обработки макросейсмических данных; проанализированы макросейсмические источники карпатских землетрясений. Собраны обширные макросейсмические данные из всех доступных исторических и современных каталогов, переоцененные по макросейсмической шкале MSK-64. На основе единой базы макросейсмических данных были построены карты пунктов-баллов и карты изосейст. Выявлены особенности очагов промежуточных вранчских землетрясений.

2. В результате сопоставления решений механизма очага землетрясений, полученных двумя методами: по первому вступлению *P*-волн и по тензору сейсмического момента (TCM), были установлены различия, свидетельствующие о сложном характере процессов вспарывания в очагах землетрясений и изменении ориентации плоскости разрывов во времени. Анализ решений механизма очага землетрясений показал, что очаги землетрясений относятся к разным этажам глубин. Большинство из рассмотренных землетрясений области Вранча произошли под действием сжимающих напряжений; одно событие под действием растягивающих напряжений. Три коровых землетрясения имели сдвиго-сбросовый характер.

3. В процессе исследования решений механизма очага землетрясений области Вранча выявлено три основных типа системы напряжений, относящихся к различным зонам данной области: *Восточный тип* (северо-восточная часть области Вранчи – Восточные Карпаты) - характеризуется близгоризонтальными сжатиями, ориентированными перпендикулярно простиранию горной дуги. *Южный тип* (юго-западная часть области Вранча – Южные Карпаты) характеризуется близгоризонтальными сжатиями в субмеридиональном направлении север – юг. *Центральный тип* (зона стыка Восточных и Южных Карпат) - горизонтальные сжатия направлены перпендикулярно касательной изгиба Карпатской дуги, т. е. с северо-запада на юго-восток. Именно такой тип механизма соответствует очагам наиболее сильных разрушительных землетрясений XX века.

4. Выявлены закономерности макросейсмического проявления для коровых и подкоровых землетрясений Карпатского региона. Максимальная интенсивность сотрясений коровых землетрясений фиксируется в ближайших от эпицентра населённых пунктах, с расстоянием макросейсмический эффект довольно быстро убывает. Первые изосейсты повторяют форму очага. Как правило, макросейсмический эпицентр близок с инструментально определённым или же совпадает с ним. Для крупных землетрясений промежуточной глубины области Вранча имеет место несовпадение макросейсмического эпицентра с инструментально определенным. Для этих землетрясений наблюдается нетипичный эффект: более значительному воздействию подвергались населенные пункты, расположенные к востоку от инструментального эпицентра. Так как распространению сейсмических волн в северо-западном и юго-восточном направлениях препятствуют многочисленные разломы, затухание в этих направлениях происходит примерно одинаково. А в северо-восточном и юго-западном направлениях затухание интенсивности от землетрясений промежуточной глубины происходит гораздо медленнее. Сотрясения от подкоровых землетрясений охватывают намного большие площади территорий, чем от коровых.

В центре стереограмм механизма очага промежуточного землетрясения находится область сжатия, тогда как для корового очага в центре располагается область разрежения. Механизм очага корового землетрясения носит сдвига-сбросовый характер, а механизм очага вранчского промежуточного землетрясения – надвиговый и обусловлен силами сжатия в горизонтальном направлении.

5. С помощью метода главных компонент факторного анализа установлены корреляционные связи между параметрами механизма очага землетрясения и определено минимальное число факторов, которые составляют наибольшую долю в дисперсии данных. В дополнение к трём основным параметрам (магнитуды, глубины и эпицентрального расстояния) был определён вклад параметров механизма очага землетрясения в уравнение макросейсмического поля. На основе полученных результатов были вычислены значения коэффициентов функции затухания по методу скользящего среднего от всех сейсмических зон. И по методике, предложенной Н.В. Шебалиным, были определены основные и дополнительные параметры крупнейших исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона, ощущавшихся на территории Республики Молдова. Использовалось уравнение макросейсмического поля с коэффициентами, рассчитанными для этого региона.

6. Проведён анализ параметров 12 исторических землетрясений, что позволило более точно определить основные параметры каждого сейсмического события и выявить тип каждого из них. Десять землетрясений были отнесены к подкоровым землетрясениям и два к коровым. Выяснилось, что простирание разрывов в очаге большинства подкоровых землетрясений, и, в первую очередь, самых сильных из них, имело направление юго-запад–северо-восток, в т.ч. четыре землетрясения с основным эффектом преимущественно на северо-восток и четыре землетрясения с основным эффектом преимущественно на юго-запад, в основном с гипоцентрами на глубине ~90 км. Это преобладание ориентации разрывов в очаге сильных землетрясений подтверждается исследованиями сильных землетрясений инструментального периода. Эти данные качественно дополняют имеющиеся каталоги исторических землетрясений.

Несмотря на возможные погрешности, связанные с точной оценкой интенсивности в пунктах наблюдения и точностью коэффициентов уравнения макросейсмического поля, удалось определить тип каждого исторического землетрясения и получить более точные значения параметров. Полученные результаты согласуются с закономерностями, выявленными в ходе исследований землетрясений инструментального периода, что подтверждает состоятельность методов исследования макросейсмических данных и расчётов параметров, применённых в этой работе.

7. В процессе работы была создана база макросейсмических данных исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона, оценённых по шкале MSK-64 и построены карты изосейст, включающие все дополнительно найденные пункты. Собранные на тот момент данные были опубликованы в сборнике макросейсмических данных (Kronrod T. 2013).

Полученные при сравнении решений механизма очага данные используются другими авторами при исследовании сейсмичности региона (Гинтов, Фольфман).

Уточнённые параметры исторических землетрясений позволят составить более целостную картину сейсмической опасности Карпатского региона. И будут использованы при последующих обновлениях карт сейсмического районирования территории Республики Молдова. В дальнейших исследованиях необходимо будет более детально определить вклад в сейсмическую опасность небольших очаговых зон, как на территории РМ, так и вблизи её границ. Это обязательная составляющая при определении микрорайонирования отдельных участков населённых пунктов.

Также объём собранных и обработанных данных является существенным вкладом в основу дальнейших исследований сейсмичности Карпатского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АЛКАЗ В.Г. *Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова*. Кишинев, 2007, 229 с. ISBN 978-9975-9636-3-3
2. БАХТИН А.И., НИЗАМУТДИНОВ Н.М., ХАСАНОВА Н.М., НУРИЕВА Е.М. *Факторный анализ в геологии*. Казань: Изд-во Казанского университета, 2007, 32 с.
3. БУРТИЕВ Р.З. *Методология оценки сейсмической опасности*. LAP, 2017, 321 с.
4. БУРТИЕВ Р.З. Определение расстояния от точки наблюдения до элементарного источника землетрясений. In: *Buletin IGS ASM*. 2014, №1, pp. 23-29. ISSN 1857-0046
5. ВВЕДЕНСКАЯ А.В. *Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций*. М.: Наука, 1969, 135 с.
6. ВЕРМИШЕВА Л.Ю., ГАНГУС А.А. Применение типизации подвижек в очагах землетрясений для решения сейсмотектонических задач. В: *Физика Земли*. 1977, №3, с. 103.
7. ВОРОНИНА Е.В. *Механика очага землетрясения*. Спецкурс. Москва: Физический факультет МГУ, 2004, 92 с.
8. ГАБРИЕЛЯН Р.Г. *Эконометрика*: Методическое пособие. М.: Видное, 2008, 85 с.
9. ГИНТОВ О.Б., МУРОВСКАЯ А.В., ЕГОРОВА Т.П. и др. Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса. В: *Геофизический журнал*. № 3, Т. 37, 2015. С. 22-44.
10. ДЖАНУЗАКОВ К.Д. Региональные особенности затухания интенсивности сотрясений сильных землетрясений Кыргызстана и прилегающих к нему районов В: *Вестник Института сейсмологии НАН КР*. Бишкек, 2013, № 2, с. 11–16.
11. ДРУМЯ А.В., МОСКАЛЕНКО Т.П., СТЕПАНЕНКО Н.Я. Молдавия. В: *Кн. Сейсмическое районирование территории СССР*. М.: Наука, 1980, с. 107-109.
12. ДРУМЯ А.В., УСТИНОВА Т.И., ЩУКИН Ю.К. *Проблемы тектоники и сейсмологии Молдавии*. Вып. 2. Кишинёв: Карта Молдовеняскэ, 1964. 120 с.
13. ДРУМЯ А.В., ШЕБАЛИН Н.В. *Землетрясение: где, когда, почему?* Кишинёв: Штиинца, 1985, 196 с.
14. ЕВСЕЕВ С.В. *Землетрясения Украины*. Изд. АН УССР, Киев, 1961. 76 с.
15. ЕШАНУ В.М., СКОВИТИН А.И., ЧЕКАН М.С. Каталог карпатских землетрясений (макросейсмические данные). В: *Отчёт Молдавской опытно-методической партии*. Кишинёв, 1988, Т. 1-4.
16. ЗАХАРОВА А.И., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. и др. Сильные землетрясения мира. В: *Землетрясения в СССР в 1990 году*. РАН. Москва, 1996, с. 217-122.
17. *Землетрясения в СССР за 1960-1994 гг.* М.: Наука, РАН, 1963-2000.
18. *Землетрясения Северной Евразии за 1995 – 2019 гг.* Обнинск: ГС РАН, 2001-2023.
19. *Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия*. Ред. ДРУМЯ А.В. М.: Наука, 1980, 272 с.
20. *Карпатское землетрясение 1986 г.* Ред.: А.В. ДРУМЯ, Н.В. ШЕБАЛИН, Н.Н. СКЛАДНЕВ, С.С. ГРАФОВ, В.И. ОЙЗЕРМАН. Кишинев: Штиинца, 1990, 334 с.
21. *Каталог карпатских землетрусів за 1955-1967 р.* Киев: Наукова думка, 1958-1971.
22. КИРОВ К. *Земетресения в България през годините 1931-1940*. София: Ц.М.И., 1941, 110 с.
23. КЛОССОВСКИЙ А. Метеорологическое обозрение. В: *Труды метеорологической сети юго-запада России в 1892 – 1896 гг.* Одесса, 1895 – 1897.
24. КРАСНОРАМЕНСКАЯ Т.Г. *ГИС в решении задач корреляции разломно-блоковых структур и сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области*. Иркутск, 2008, 152 с.
25. МЕДВЕДЕВ С.В.(Москва), ШПОНХОЙЕР В.(Иена), КАРНИК В. (Прага). *Шкала сейсмической интенсивности MSK - 64*. М.: Изд-во МГК АН СССР, 1965, 11 с.
26. МУШКЕТОВ И.В., ОРЛОВ А.П. *Каталог землетрясений Российской империи*. Записки Русского географического общества, т. 26. С-Пб: Тип-фия Императорской АН, 1893, 582 с.
27. МХИТАРЯН В.С., АРХИПОВА М.Ю., СИРОТИН В.П. *Эконометрика*. М.: ЕАОИ, 2008.
28. *Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времён до 1975 г.* Ред. Н.В. КОНДОРСКАЯ, Н.В. ШЕБАЛИН. М.: Наука, 1977, 536 с.
29. РИЗНИЧЕНКО Ю.В. Энергетика макросейсмики. В: *Изв. АН СССР. Физика Земли*. Москва, 1974, № 8, с. 3–10. ISSN 0002-3337

30. САГАЛОВА Е.А. К вопросу о сейсмическом районировании территории Буковины. В: *Сб. Сейсмичность Украины*. Киев: Наукова думка, 1969, с. 70-80.
31. *Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым – Карпаты за 1970-1992 гг.)*. Киев: Наукова Думка, 1980-1995.
32. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1993 – 2013 гг.* Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС ОСОБЗ, 1996 – 2014.
33. СТЕПАНЕНКО Н.Я., ДРУМЯ А.В., СИМОНОВА Н.А. Сильнейшие землетрясения Карпатского региона в XVIII – XX вв. В: *Buletinul Institutului de Geofizică si Geologie al ASM*, 2006, N1, pp. 37-64. ISSN 1857-0046
34. ЧЕКУНОВ А.В. Тектоническая модель сейсмоактивного района Вранча. В: *Геологический журнал*. №4, т.47, 1987. С. 3 – 11.
35. ШЕБАЛИН Н.В. Количественная макросейсмика. Проблемы макросейсмики. В: *Вычислительная сейсмология*. М.: ГЕОС, 2003. Вып. 34. С. 57–201.
36. ШЕБАЛИН Н.В., ХРОМЕЦКАЯ Е.А. Методические аспекты получения и интерпретации макросейсмических данных. В: *Землетрясения в СССР*. М.: Наука, 1988.
37. ATANASIU I. *Cutremurele de pământ din România*. Acad. RPR, București, 1961. 275 p.
38. BASIMOV, M. *Mathematical methods in psychological research*. LAP, Lambert Academic Publishing, 2011, 192 p.
39. BONJER, K.P., ONCESCU, L., RIZESCU. T. e. a. Source- and Site-Parameters of the April 28, 1999. In: *Inter. Conf. Earthquake Loss Estimation and Risk Reduction*. Bucharest, 2002. P. 24-26.
40. BURTIEV R. Seismic Hazard assessment method based on the stochastic models of seismicity In: *Bulletin of the Intern. Institute of Seismology*. Tsukuba, Japan, 2017. V. 51. P. 22–38.
41. *Catalogue the earthquake, p. 3. Atlas of isoseismal maps*. UNDP-UNESCO. Skopje, 1974. 275 p.
42. DZIEWONSKI A., CHOU T., WOODHOUSE J. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. In: *J. Geophys Res.* 1981-86. №B4. P. 2825-2852.
43. *European Macroseismic Scale 1998*. Ed. G. GRÜNTAHL. Conseil de L'Europe Cahiers de centre Europeen de Geodinamique et de Seismologie. Vol. 15. Luxembourg, 1998.
44. FLORINESCO A. *Catalogue des tremblements de terre ressentis sur le territoire de la RPR*. Bucuresti, 1958. 167 p.
45. ISMAIL-ZADEH A., KEILIS-BOROK V. I., SOLOVIEV A. A. Numerical modelling of earthquake flow in the southeastern Carpathians (Vrancea): effect of a sinking slab In: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 1999. – Vol. 111, Is. 3–4. – P. 267–274.
46. ISMAIL-ZADEH A., MATENCO L., RADULIAN M., CLOETINGH S., PANZA G. Geodynamics and intermediate-depth seismicity in Vrancea (the southeastern Carpathians): Current state-of-the art In: *Tectonophysics*. – 2012. – Vol. 530. – P. 50–79.
47. ISMAIL-ZADEH A., SOKOLOV V., BONJER K. Tectonic stress, seismicity and seismic hazard in the southeastern Carpathians In: *Nat. Hazards. Springer*. – 2007. – P. 1–22.
48. KRONROD T., RADULIAN M., PANZA G. Integrated transnational macroseismic data set for the strongest earthquakes of Vrancea (Romania) In: *Tectonophysics*. 590 (3). 2013. P. 1–23.
49. MOSTRYUKOV A.O., PETROV V.A. Catalogue of focal mechanisms of earthquakes 1964-1990. In: *Materials of the World Data Center*. Moscow, 1994. 87 p.
50. POPESCU G. Cutremurele de pământ din Dobrogea. In: *Analele Dobrogei, an. XIX, v. 1*. Cernăuți, 1938. P. 22-26.
51. RADU C., UTALÉ A. The Vrancea (Romania) earthquake of October 26 1802. In: *XXXIII General Assembly of the Europ. Seism. Commis. Activity report 1990 – 1992 and Proceedings*. Prague, 1994. V. 1. P. 110 – 114.
52. RADULIAN M., POPESCU E., BALA A., UTALÉ A. Catalog of fault plane solution for the earthquakes occurred on the Romanian territory. In: *Rom. Journ. Phys.*, 47, 2002. P. 663-683.
53. RETHLY A.A *Karpatmedencek Foldrengecei (455-1918)*. Budapest: Acad., Kiado. 1952. 152 p.
54. SANDU I. Cronologia evoluției conceptuale asupra seismelor. In: *Buletin IGS ASM*, №1, 2012, P. 47-62.
55. SANDU I. *Influența parametrilor sursei seismice Vrancea și condițiilor de sol asupra efectului seismic în Republica Moldova*. Teza de doctor în științe fiz.-mat. Chișinău, 2015. 170 p.
56. SMITH L. I. *A Tutorial on Principal Components Analysis*. 2002. P. 26.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА НА ТЕМУ ДИССЕРТАЦИИ

1. Монографии

1. ДРУМЯ А.В., СТЕПАНЕНКО Н.Я., СИМОНОВА Н.А., АЛЕКСЕЕВ И.В., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** *Атлас карт интенсивности землетрясений Молдовы (XVIII – XXI вв.)*. Кишинёв, 2009. 154 с.
2. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** *Землетрясения Молдовы. Каталог сейсмических событий очаговой зоны Вранча (с 1738 по 1948 гг.)*. Кишинёв: Изд-во МолдГУ, 2024. 243 с.

2. Статьи в международных журналах

3. СТЕПАНЕНКО Н.Я., СИМОНОВА Н.А., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Пространственные вариации осей главных напряжений в очагах землетрясений области Вранча. В: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2012 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. С. 46-56.
4. STEPANENCO N., **CARDANET V.** Macroseismic effect of the November 10, 1940 earthquake in the territory of Moldova, Ukraine and Russia. In: *The 1940 Vrancea Earthquakes*. Springer International Publishing. Switzerland, 2016. P. 101-112.
5. BURTIEV R., ALCAZ V., **CARDANETS V.** Probabilistic seismic hazard analysis on the base of the stochastic models of seismicity. In: *Indian Journal of Applied Research*. V. 6, issue 8, August 2016. P. 454-466.
6. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Сопоставление региональных определений механизмов очагов Карпатских землетрясений с решениями тензора момента центроида. В: *Учёные записки Крымского фед. университета*. Сер. География, Геология. Т. 2(68) №4. Симферополь, 2016. С. 220-248.
7. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Сильные землетрясения XXI века в области Вранча и их аналоги в каталоге исторических землетрясений. В: *Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского*. Сер. География. Геология. Т. 4 (70) №4. Симферополь, 2018. С. 174-196.
8. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Определение параметров исторических землетрясений по макросейсмическим данным. В: *Российский сейсмологический журнал*. 2020. Т. 2, № 1. С. 62–75. Doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.06>
9. БУРТИЕВ Р.З., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Модель главных компонент в сейсмичности зоны Вранча. В: *Геофизический журнал*. № 1, Т. 42, 2020. С. 76-85.
10. BURTIEV R., ALCAZ V., TROIAN S., **CARDANETS V.** Factor analysis in seismology. In: *International Journal of Advanced Research*. (IF: 7,08). 2020, nr. 2.

3. Статьи в национальных журналах

11. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.**, СИМОНОВА Н.А. Исследование очаговых параметров землетрясений промежуточной глубины области Вранча. În: *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie*. N2, 2014. P. 60-72.
12. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Вклад И.М. Сухова в макросейсмические исследования Карпатских землетрясений. În: *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie*. N1-2, 2015. P. 36-41.
13. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Особенности макросейсмического проявления карпатских землетрясений в зависимости от механизма и глубины очага. În: *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie*. N2, 2016. P. 106-112.

4. Тезисы в сборниках конференций

14. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Основные типы сейсмогенеза в Карпатской очаговой зоне и наблюдаемый эффект для территории Республики Молдовы. În: *Conferința Științifică Internațională a doctoranzilor “Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători” (teze)*. UnASM, 10 martie 2015. Chișinău, 2015. P. 98.
15. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Определение параметров исторических землетрясений по макросейсмическим данным. В: *Материалы XIV Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (Тезисы)*. Кишинёв, 9-13 сентября 2019. Обнинск, 2019. С. 51.

АННОТАЦИЯ

КАРДАНЕЦ Владлен, «Макросейсмический эффект карпатских землетрясений на территории Республики Молдова как основа восстановления параметров исторических землетрясений» - диссертационная работа на соискание учёной степени доктора физических наук. Кишинёв, 2025.

Структура работы: введение, 3 главы, выводы, список литературы из 127 источников, 3 приложения. Общий объём работы: 159 страниц; основная часть: 117 страниц; 74 рисунка и 24 таблицы. Результаты опубликованы в 52 научных работах.

Ключевые слова: Карпатский сейсмический регион, Вранча, макросейсмическое поле, интенсивность землетрясения, магниту́да землетрясения, механизм очага.

Цель исследования: Оценить основные параметры землетрясений и определить тип сильнейших исторических землетрясений доинструментального периода зоны Вранча Карпатского сейсмического региона, на основе дополнительных макросейсмических данных, для качественного пересмотра каталога исторических землетрясений.

Задачи исследования: собрать имеющиеся макросейсмические данные и оценить по шкале MSK-64; построить карты пунктов-баллов и карты изосейст рассматриваемых землетрясений; выполнить сравнительный анализ решений механизма очага землетрясений зоны Вранча и выделить основные типы подвижек; исследовать весомость вклада дополнительных параметров в уравнение макросейсмического поля; вычислить основные и дополнительные параметры исследуемых землетрясений; проанализировать каждое рассматриваемое историческое землетрясение и определить его тип.

Научная новизна полученных результатов: на основе собранных и обработанных макросейсмических данных создана обширная база данных по землетрясениям Карпатского региона; построены обновлённые карты изосейст исследуемых землетрясений; на основе сравнительного анализа механизма очага землетрясений выявлены три типа подвижек в очаге зоны Вранча; более точно вычислены основные и дополнительные параметры исторических землетрясений; определены тип и другие характеристики сильнейших исторических землетрясений Карпатского региона.

Решённая научная проблема: по имеющимся макросейсмическим данным восстановлены параметры и определен тип сильнейших исторических землетрясений доинструментального периода зоны Вранча Карпатского сейсмического региона.

Теоретическая значимость работы: классифицирована сейсмичность Карпатского региона по типу подвижек в очаге землетрясения; описаны методические аспекты получения и обработки макросейсмических данных, проведен анализ макросейсмических источников изучаемой территории; проведен анализ параметров механизма очага вранчских землетрясений и определены типы подвижек в очаге.

Практическая значимость работы: создана база макросейсмических данных исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона, оценённых по шкале MSK-64; построены карты изосейст землетрясений, включающие все дополнительно найденные пункты; вычислены основные и дополнительные параметры каждого рассматриваемого землетрясения и его очага и определяется тип каждого землетрясения. Полученные параметры землетрясений для более точного каталога исторических землетрясений позволит точнее определить сейсмическую опасность территории РМ для отдельных пунктов и построить более точные карты сейсмического районирования.

Внедрение полученных результатов. Результаты были использованы в работах по сейсмическому районированию и оценке сейсмического риска территории РМ, микрорайонированию территории городов Кишинева, Кагула и Комрата; при построении модели сейсмогенной зоны Вранча в работах Гинтова и др., в макросейсмической сводке землетрясений зоны Вранча в работе Кронрод и др.; а также будут использованы в дальнейших исследованиях землетрясений Карпатского региона при построении моделей сейсмичности территории Республики Молдова и сопредельных стран.

ADNOTARE

**CARDANEȚ Vladlen, „Efectul macroseismic al cutremurelor carpatice pe teritoriul Republicii Moldova ca bază pentru recuperarea parametrilor cutremurelor istorice”
– teza de doctor în științe fizice. Chișinău, 2025.**

Structura tezei: introducere, 3 capitole, concluzii și recomandări, lista de referințe din 127 de surse, 3 anexe. Volumul total al lucrării: 159 de pagini; partea principală: 117 pagini; 74 figuri și 24 de tabele. Rezultatele au fost publicate în 52 de lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: Regiunea seismică Carpatică, zona Vrancea, câmp macroseismic, intensitate, magnitudine, mecanism focal, parametrii cutremurelor.

Scopul lucrării: evaluarea parametrilor principali ai cutremurelor și determinarea tipului celor mai puternice cutremure istorice din perioada pre-instrumentală a zonei Vrancea din regiunea seismică Carpatică, pe baza datelor macroseismice suplimentare, pentru o revizuire calitativă a catalogului cutremurelor istorice.

Obiectivele cercetării: colectarea datelor macroseismice disponibile și evaluarea lor pe scara MSK-64; elaborarea hărților de izoseiste ale cutremurelor luate în considerare; efectuarea analizei comparative a soluțiilor mecanismului focal de cutremure din zona Vrancea și identificarea principalelor tipurilor de mișcări; investigarea greutății contribuției parametrilor suplimentari în ecuația câmpului macroseismic; calcularea parametrilor principali și suplimentari ale cutremurelor studiate; analizarea fiecărui eveniment istoric și determinarea tipului acestuia.

Noutatea și originalitatea științifică: pe baza datelor macroseismice colectate și prelucrate, a fost creată o bază de date extinsă privind cutremurele din regiunea Carpatică; au fost elaborate hărți de izoseiste actualizate ale cutremurelor studiate; pe baza unei analize comparative a mecanismului focal de cutremur au fost identificate trei tipuri de mișcări în zona Vrancea; parametrii principali și suplimentari ai cutremurelor istorice au fost calculați mai precis; au fost determinate tipul și alte caracteristici ale celor mai puternice cutremure istorice din regiunea Carpatică.

Problema științifică soluționată: restabilirea parametrilor și determinarea tipului celor mai puternice cutremure istorice din perioada preinstrumentală a zonei Vrancea din regiunea seismică Carpatică, pentru obținerea unui catalog cu date mai precise ale cutremurelor istorice.

Semnificația teoretică: seismicitatea regiunii Carpatice este clasificată în funcție de tipul mișcărilor din focarul cutremurului; sunt descrise aspecte metodologice ale obținerii și prelucrării datelor macroseismice, se efectuează analiza surselor macroseismice ale teritoriului studiat; se efectuează analiza parametrilor mecanismului focal al cutremurelor Vrancea și se determină tipurile de mișcări în focarul.

Valoarea aplicativă: a fost creată o bază de date macroseismice ale cutremurelor istorice din regiunea seismică Carpatică, estimată pe scara MSK-64; au fost construite hărți de izoseiste ale cutremurelor, inclusiv toate punctele suplimentare găsite; au fost calculați parametrii principali și suplimentari ai fiecărui cutremur și ai focarului acestuia și a fost determinat tipul fiecărui cutremur. Parametrii obținuți asupra evenimentelor seismice cercetate pentru un catalog cu date mai precise ale cutremurelor istorice vor permite determinarea mai precisă a pericolului seismic pe teritoriul Republicii Moldova pentru punctele aparte și elaborarea unor hărți mai precise ale zonării seismice.

Implementarea rezultatelor: rezultatele au fost utilizate în lucrările de zonare seismică și evaluarea riscului seismic al teritoriului Republicii Moldova, microzonizarea teritoriului orașelor Chișinău, Cahul și Comrat; în construirea unui model al zonei seismogene a Vrancei în lucrarea lui Gintov și al.; în sinteza macroseismică din zona Vrancea în Kronrod și al.; și vor fi, de asemenea, utilizate în studiile ulterioare ale cutremurelor din regiunea Carpatică în construirea modelelor de seismicitate a Republicii Moldova și a țărilor vecine.

ANNOTATION

CARDANET Vladlen, "Macro seismic effect of Carpathian earthquakes on the territory of the Republic of Moldova as a basis for restoring the parameters of historical earthquakes." PhD thesis for the degree of Doctor of Physical Sciences. Chisinau, 2025.

Structure of the thesis: introduction, three main chapters, conclusions and recommendations, list of references from 127 sources, 3 appendices. The total volume of the work: 159 pages; main part: 117 pages; 74 images and 24 tables. The results have been published in 52 scientific papers.

Keywords: Carpathian seismic region, Vrancea zone, macro seismic field, earthquake intensity, earthquake magnitude, focal mechanism, earthquake parameters.

Purpose of the research: to evaluate the main earthquake parameters and determine the type of the strongest historical earthquakes of the pre-instrumental period of the Vrancea zone of the Carpathian seismic region, based on additional macro seismic data, for a qualitative revision of the catalog of historical earthquakes.

Research objectives: to collect the available macro seismic data and evaluate it according to MSK-64 scale; to create isoseismal maps of the earthquakes under consideration; to perform a comparative analysis of solutions of the focal mechanism of the Vrancea zone and identify the main types of movements; to investigate the weight of the contribution of additional parameters to the equation of the macro seismic field; to calculate the main and additional parameters of the studied earthquakes; to analyze each historical seismic event and determine its type.

Scientific novelty and originality: based on the collected and processed macro seismic data, an extensive database of earthquakes in the Carpathian region has been created; updated isoseismal maps of the studied earthquakes have been elaborated; based on a comparative analysis of the mechanism of the earthquake source, three types of movements in the Vrancea zone have been identified; the main and additional parameters of historical earthquakes have been more accurately calculated; the type and other characteristics of the strongest historical earthquakes in the Carpathian region have been determined.

Scientific problem solved: according to the available macro seismic data, the parameters were restored and the type of the strongest historical earthquakes of the pre-instrumental period of the Vrancea zone of the Carpathian seismic region was determined.

Theoretical significance: seismicity of the Carpathian region is classified according to the type of movements in the earthquake focus; methodological aspects of obtaining and processing macro seismic data are described, the analysis of macro seismic sources of the studied territory is carried out; the analysis of the parameters of the focal mechanism of the Vrancean earthquakes is carried out and the types of movements in the focus are determined.

Practical significance: a database of macro seismic data of historical earthquakes of the Carpathian seismic region, estimated on the MSK-64 scale, was created; earthquake isoseismal maps were elaborated, including all additional points found; the main and additional parameters of each earthquake and its focus were calculated and the type of each earthquake was determined. The obtained earthquake parameters for a more accurate catalog of historical earthquakes will make it possible to more accurately determine the seismic hazard of the RM territory and elaborate more accurate maps of seismic zoning.

Implementation of the results obtained. the results were used in works on seismic zoning and seismic risk assessment of the territory of the Republic of Moldova, micro-zoning of the territory of the cities of Chisinau, Cahul and Comrat; in creating a model of the seismogenic zone of Vrancea in the work of Gintov et al.; in macro seismic data set for the strongest earthquakes of Vrancea the work of Kronrod et al.; and they will also be used in further studies of earthquakes in the Carpathian region in elaborating models of seismicity of the territory of the Republic of Moldova and neighboring countries.

**INSTITUTUL DE GEOLOGIE ȘI SEISMOLOGIE
UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 550.34 (478) (0.43.2)

CARDANEȚ VLADLEN

**EFFECTUL MACROSEISMIC AL CUTREMURELOR
CARPATIENE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA
CA BAZĂ PENTRU RECUPERAREA PARAMETRILOR
CUTREMURELOR ISTORICE**

134.10 – GEOFIZICĂ ȘI SEISMOLOGIE

Rezumatul tezei de doctor în științe fizice

CHIȘINĂU, 2025

**КАРДАНЕЦ
ВЛАДЛЕН ЮРЬЕВИЧ**

**МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ КАРПАТСКИХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ
МОЛДОВА КАК ОСНОВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

134.10 – ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

Автореферат диссертационной работы
на соискание учёной степени доктора физических наук

Подписано к печати 27.05.2025

Формат 60 x 84^{1/16}

Офсетная бумага. Цифровая печать.

Тираж 15 экз.

Печатных листов 2,1

Заказ № 68/25

Редакционно-издательский центр МолдГУ
ул. Матеевич, 60. Кишинёв, MD - 2009