

КРАТКО ОПИСАНИЕ (СПРАВКА) НА НАЙ-ВАЖНИТЕ ПОСТИЖЕНИЯ НА КАНДИДАТА И ТЯХНОТО ЗНАЧЕНИЕ ЗА РАЗВИТИЕТО НА НАУКАТА

Настоящата справка се основава на списъка на публикациите, съдържащ общо 197 заглавия (за конкурса 194 заглавия). Най-общо, приносите на кандидата могат да се групират в четири основни тематични направления, които пряко или косвено са свързани със сеизмичния хазарт (опасност) и сеизмичния риск. Тези направления са: **Развитие на Националната Сеизмологична Мрежа; Регионална сеизмичност и сеизмичен режим; Методи и подходи за оценка на параметрите на земетресенията; Оценка на магнитуда на земетресенията; Оценка на сеизмичната опасност и сеизмичния риск; Моделиране и оценка на последствията от силни земетресения.**

1. Развитие на Националната Сеизмологична Мрежа

За сеизмоактивни територии, каквато е територията на страната от първостепенно значение е инсталирането и развитието на сеизмологична мрежа. Предложени са ефективни методи за оценка на сеизмични мрежи по отношение на точността на определянето на основните кинематични параметри на земетресенията и регистриращите възможности. Методите са приложени за оценка на сеизмичната мрежа в България и за определяне на оптимални местоположения на нови станции (работи 9, 14, 19, 27, 43). Методите са приложени за определяне на оптимална мрежа в Сирия (работа 25).

Модернизацията на сеизмологичната мрежа в България стартира с инсталирането и пускане в действие на цифрова система на станция Витоша и включването и към международната система MEDNET (работа 44). Сериозен напредък е постигнат с участието в европейския проект MEREDIAN (ръководител от българска страна Д. Солаков), в рамките на който са инсталирани и пуснати в действие нови две цифрови станции (Пловдив и Ямбол), инсталиран е подходящ софтуер и е осъществен за първи път у нас международен обмен на цифрови данни в реално време с европейски и регионални сеизмологични центрове (работи 65, 66, 69, 71). **Поставено е началото на реалновременен пренос на цифрови сеизмологични данни у нас и реалновременен обмен с други сеизмологични центрове.**

През 2005 г. за изключително кратки срокове са модернизирани всички станции от Националната Сеизмологична мрежа с цифрова апаратура. В повечето то тях са инсталирани широколентови сеизмометри. Модернизиран е Центърът за данни в София. Информацията от станциите се предава и обработва в реално време в центъра. Цялата тази дейност е извършена от широк колектив от бившия Геофизичен институт, като имам водеща роля в изработването на стратегията, избора и инсталирането на апаратура и осъществяването на международния обмен на данни (работи 72, 74, 76, 79, 80, 83, 84, 96, 102, 109, 137). В резултат на дейностите по модернизацията на

сеизмологичната мрежа в България, в момента тя е една от най-добре развитите в апаратурно и организационно отношение мрежи в Европа и света.

По трансграничен проект DACEA (ръководител от българска страна), съвместно с румънски колеги от NIER (Национален Институт по Физика на Земята, Букурещ), е изградена система за ранно оповестяване на земетресенията (уникална за Европа). Българската сеизмична мрежа е разширена с още 8 сеизмични станции. В седем пункта на територията на северна България са инсталирани акселерографи и устройства за ранно предупреждение, основно в обекти на ГДПБЗН на МВР (работи М10, 103, 110, 117).

2. Регионална сеизмичност и сеизмичен режим. Методи и подходи за оценка на параметрите на земетресенията.

В работи 3, 4 и 9 са предложени два графични метода за оценка на кинематичните параметри на земетресенията.

Поставено е началото на компютърната рутинна обработка на сеизмологичната информация у нас (работа 12 - 43 цитата). Разработена е система за машинна обработка на сеизмологичните данни, която вече над 30 години успешно се прилага, както в оперативната, в рутинната дейности в Национална Оперативна Телеметрична Система за Сеизмологична Информация (НОТССИ), така и при редица научни изследвания. Системата поставя началото на компютърната оперативна и рутинна обработка в НОТССИ. Системата непрекъснато се надгражда в съответствие с иновативните тенденции в научните изследвания (работа 13, 29, 31 – 19 цитата, 97, 101). Тези резултати са приложени за създаването на каталог на земетресенията в България за периода 1981-1990 и каталог на земетресенията за периода 1980-2019 (работи М1 – 58 цитата, 154). Това са единствените официално издадени каталози на земетресенията за периода след 1980 година и са използвани в многобройни изследвания. На основата на каталозите са установени тенденции в развитието на сеизмичността на територията на страната и близките околности. Резултатите от изследването на сеизмичността са обобщени в работи М3, М6, 11, 20, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 42, 45, 47, 68, 94, 108, 114, 150, 153, 157, 172, 173, 174).

Оценена е размерността земетресения, станали на територията на страната – Поповишкото земетресение от 1928 г. (работа 22), Велинградското земетресение от 1977 г. (работа 8) на основата на модел, представен в работа 24.

Доказано е, че в следствие на микросеизмичния шум и ограничените възможности на сеизмологичната апаратура оценката на магнитуда на земетресенията е отместена към по-високи стойности, което води до значимо завишени оценки на наклона на графика на повтораемост **b**. Предложена е нова числена процедура за оценка на магнитуда, при която оценките за **b** са с пренебрежимо отместване (работи 116).

Разработен е нов числен метод за определяне на начално приближение на епицентъра при оценка на основните кинематични параметри на земетресенията. Представен е оригинален алгоритъм за автоматично разпознаване на фазите на един и

същ тип сеизмична вълна. Оценени са най-важните основни параметри, необходими за настройката на програмите за определяне на основните кинематични параметри на земетресенията (работи 14, 15 – 36 цитировки, 29).

Моделиран е афтершоковият процес за Централни Балкани. Установено е, че времевото разпределение на афтершоковите събития от поредиците, реализирани в Североизточна България добре се описва с модифицираната формула на Omori без вторична афтершокова активност. Афтершоковият процес в Южна България се характеризира с изявено мултиполно развитие. Разпознати са два типа вторична афтершокова активност - първият тип се свързва с появата на най-силните афтершокови събития, а вторият-наричен “роев” е резултат от реализацията на няколко относително по-силни афтершокови събития в кратък времеви интервал. На фона на затихващата афтершокова поредица на земетресението от февруари 1986 г. в района на гр. Стражица е установена засилена сеизмична активност преди реализацията на второто (по-силно) земетресение в същия район. Тази аномалия във времевото поведение на сеизмичността може да се разглежда като прогностична. Резултатите са обобщени в работи М4, 17, 18, 46, 48, 49, 50, 52, 58, 62, 86. Резултатите в работа 52 са цитирани в една от най-цитираните статии по тематиката.

Детайлно са изследвани афтершоковите поредици след земетресенията през 1986 г. в района на гр. Стражица и край Кърджали през (работи 16, 21, 23 – 14 цитировки, 77, 148), на земетресение в сеизмична зона Валандово (работа 130), на Пернишкото земетресение от 2012 г. (работи 112, 115, 118, 124), на земетресението от 2023 г. в Турция с магнитуд 7.8 (178, 179 и 184).

Показано е, че размерът на афтершоковата област зависи от минималния магнитуд на разглежданите афтершооци, като е установена значима тенденция на увеличаване на размера с намаляване на магнитуда. Оценени са параметрите на лог-линейна зависимост между магнитуда на главното събитие и площта на афтершоковата област при минимален магнитуд на разглежданите афтершокови събития 3.0 (работа 58).

Изследвани са характеристиките на няколко сеизмични роя на територията на страната (работа 126).

3. Оценка на магнитудите на земетресенията

Поставено е началото на оценяването на магнитуд по сеизмичен момент за земетресения в България и околностите.

Магнитудът по сеизмичен момент все повече навлиза в сеизмологичната практика. Повечето зависимости и оценката на сеизмичната опасност в последните години се основават на тази магнитудна скала. За тази цел са оценени релации за конвертиране на магнитудите M_d и M_r , определяни в рутинната практика у нас и на макросеизмична интензивност към магнитуд по сеизмичен момент – работи 97, 101, 121, 123, 133. Релациите са използвани при създаването на каталога за периода 1980-2019 (работа 154). Разработен е софтуер за оценка на спектъра на сеизмичните записи и магнитуд по сеизмичен момент на слаби до умерени земетресения и е използван оценката на динамични параметри на земетръсни кластери – работи 130, 136, 148.

4. Оценка на сеизмичната опасност и сеизмичния риск

Поставено е началото на модерния вероятностен анализ на сеизмичната опасност по отношение на максимално ускорение и спектър на реагиране за територията на България.

Оценена е сеизмичната обстановка и сеизмичната опасност за конкретни площадки и области от територията на страната – Козлодуй, Белене, Ада Тепе, региона около София, граничните райони Румъния-България, както и влиянието на моделите на сеизмичните източници върху опасността (работи М2, 54, 61, 107, 111). Резултатите за региона около София са едни от първите вероятностни оценки за България (работа 56, цитирана 30 пъти). Различни аспекти на сеизмичната опасност са разгледани в работи 63, 64, 70, 73, 105, 113.

Дефинирани са основните принципи за новото сеизмично райониране на територията на България в съответствие с Еврокод-8 (работи 67,78). Цялостният опит по оценка на сеизмичната опасност е обобщен и използван при разработването на “Ръководство за сеизмична преоценка и проектиране на ядрени съоръжения в България“ (част Геоложки и сеизмологични изисквания) (работа М5). С това ръководство България е една от малкото страни в света с нормативен документ от такъв характер.

На основата на комплексна геолого-геофизична и сеизмологична информация е създаден нов модел на сеизмичните източници (в ГИС среда) с влияние върху сеизмичната опасност на територията на страната (работи М8, 90, 93, 100, 104, 106, 125, 129). Оценени са сеизмичните параметри, необходими за определяне на сеизмичната опасност. Генерирани са карти на сеизмичната опасност в макросеизмична интензивност - работи 75 (цитирана 38 пъти), 85, 88 (цитирана 26 пъти) и максимално ускорение (g) (работа 91) за различни периоди на повтораемост. Дефинирани са контури, очертаващи доминиращото влияние на междинно-фокусните земетресения във Вранча, Румъния (със спектрални характеристики различни от тези на коровите земетресения) върху сеизмичната опасност; оценени са отношенията на максималните ускорения с различни периоди на повтораемост към това за 475 години и е изследвано разпределението им за територията на страната (работа 93). Извършена е деагрегация на максималното земно ускорение за период на повтораемост 475 години за всички областни центрове. Въз основа на проведения анализ, градовете се разделят на три основни групи: първа – градове, за които основен принос към сеизмичната опасност имат близки земетресения с магнитуди от 5.5 до 6.5-7.5; втора - градове, за които основен принос към сеизмичната опасност имат междиннофокусните земетресения (Вранча, Румъния); трета – градове със сравнимо влияние от близка и регионална сеизмичност (работи 93, 99). Анализът на резултатите от проведените изследвания дават основание за разделяне територията на България на зони с различни стойности на коефициентите на значимост γ_i и коефициента на редукция v . Тези коефициенти са от важно значение за нормативите за антисеизмично строителство и са част от

Националното приложение към Еврокод-8 (EC8) (работа 93). В работи M12, 127 и 132 е оценена приложимостта на различни закони за затихване на земните движения към наблюдателни данни за района на Балканския полуостров и околностите важен елемент при оценката на опасността. В работа M12 са представени резултатите за оценката на сеизмичната опасност в съответствие с най-новите резултати. В работата е дадено предложение за обновяване на нормативната карта за строителство в земетръсни райони. В работа M11 е разработена методика за оценка на сеизмичната опасност. В работи 162, 163, 170 са представени резултати за оценката на инженерно-геоложки характеристики на различни площадки, важна информация за оценката на хазарта.

5. Моделиране и оценка на последствията от силни земетресения

Прогнозна оценка за възможните последствия от бъдещи силни земетресения в страната е съществена както за ефективна превантивна дейност, така и за планиране на дейностите, предприемани непосредствено след възникването на силно земетресение.

Моделирано е макросеизмичното поле на силни земетресения на територията на страната (работи 6 и 7). Това дава възможност за прогнозиране на въздействията и е в основата на оценката на последствията.

Създадена е методология и автоматизирана система (ASEC) за оценка на последствията от силни земетресения за България (работи 10, 26 – 10 цитирания, 30, 35, 38, 40, 41). Чрез ASEC може да се моделират последствията от земетресения в магнитудния интервал от 4.1 до 8.0 с епицентър в произволна точка от територията на страната. Системата оценява степента и количеството на разрушенията, броя на жертвите и ранените, щетите в инфраструктурата в паричен еквивалент. Чрез системата са оценени последствията при различни сценарии (работи 51, 53, 55, 57). Системата е внедрена в практиката на “Гражданска защита”, широко се използва от държавните и местни органи на управление за провеждане на обучения и превантивна дейност. **Методологията и автоматизираната система са едни от първите разработки в областта на прогнозирането на последствията от силни земетресения в световен мащаб. За системата има два документа за внедряване.**

Съвременните подходи за детайлна оценка на сеизмичния риск на територията на конкретен град включват оценка за физическото и икономическото въздействие на различни по сила земетресения върху всички елементи на социално-икономическата система (сгради, население, икономика и подземна и надземна инфраструктура, оценка на последствия от вторични ефекти и др.). Разработка на сеизмичен сценарий за последствията от силни земетресения за всички урбанизирани територии е основен елемент от всяка стратегия за намаляване на сеизмичния риск. Първият и много важен етап при оценка на сеизмичния риск за територията на конкретен град, освен оценката на сеизмичната опасност, е прогнозните въздействия от конкретно земетресение (с приети магнитуд и местоположение) – земетръсен сценарий.

Важен елемент при разработването на сеизмични сценарии са инженерно геоложките условия. В работи 142, 147, 158 е представена методология за оценката им

и резултатите за по-големи градове в страната.

Разработени са земетръсни сценарии за седем града, София, Русе, Враца, Велико Търново, Варна, Пловдив и Благоевград (работи 81, 82, 87, 89, 92, 95, 98, 120, 128, 151, 152, 160, 165, 168, 175, 180). Резултатите са въведени в GIS среда и при детайлна кадастрална информация за съответния град, може да се разработи подробна оценка на сеизмичния риск. Такива сценарии дават възможност за: установяване на най-уязвимите места и допълнителни мерки при необходимост; повишаване готовността за посрещане последиците от силни земетресения – превантивни мерки, обучение на населението, адекватно планиране на спасителните дейности и др.; ефективно градоустройствено планиране, съобразено с природните особености и наличното устройство на населеното място; ефективна система за застраховане. В работи M13, 59, 135, 149, 155, 156, 161, 169, 176, 177, 180, 182, 183 са представени резултати от оценката на сеизмичния риск за отделни градове и територията на страната. Работа 171 разглежда въпросите, свързани с управление на сеизмичния риск.

Обобщен е придобитият многогодишен опит в областта на сеизмологията (работа M7). Направен е опит да се изложат максимално достъпно, но с необходимата научна достоверност, най-важните и необходими сведения за земетресенията, за степента на земетръсна опасност в страната, за възможностите на науката да съдейства на човека активно да се противопоставя на земетръсното бедствие, да прогнозира земетресенията и възможните последствия от тях. В областта на превантивните и предпазни мероприятия вниманието е съсредоточено главно върху елементарните индивидуални мерки за предварителната готовност и за реакцията на хората по време и след земетресение, мерки не изискващи значителни материални и финансови средства.

6. Други приноси

Особено ценна е работа 5, в която е конструиран блок-дизайн с параметри 2-(11,6,6). Това е първият в света известен блок-дизайн с тези параметри.

Работа 28 е един от първите опити у нас за търсене на корелация между измерванията на хелия и сеизмичната активност.

В работи 131, 134, 138, 139, 141, 143, 144, 146, 164, 166, 167 са изследвани характеристиките на сеизмичния шум и техните флуктуации за прогностични цели или връзката им с други геофизични полета. В работи 145 и 159 са изследвани промените в сеизмичността преди по-силни земетресения на Балканския полуостров.

В работи 122, 140 са представени резултати, свързани със сеизмичните наблюдения от българската антарктическа сеизмична станция.

В M9 са представени резултати от международен проект BGnet.

Трябва да се отбележи, че и резултатите, получени в научните отчети по договори с различни организации са от съществена важност в научно-приложно отношение. Повечето от тях са свързани с оценка на сеизмичната опасност и повишаване сеизмичната безопасност на площадките на различни обекти от национално значение.

Въпреки ограничената им достъпност, отчетите са цитирани от наши и чуждестранни автори.

Значение за развитието на науката и материалното и духовно обогатяване на българския народ и държава

Националната сеизмологична мрежа е от съществено социално, икономическо и научно значение за България. Усъвършенстването на сеизмологичния мониторинг е необходимо условие за развитието не само на сеизмологията, но и на другите науки за Земята. В допълнение, трябва да се подчертае, че сеизмологичният мониторинг е с ясно изразен социален принос. Най-важните сеизмологични задачи, включително и прогнозиране на земетресенията, не могат да бъдат решени без надежден сеизмологичен мониторинг. Цифровизацията на наблюденията е предпоставка за намаляване на сеизмичния риск – намалява времето за оповестяване, създава възможности за прилагане на система за ранно оповестяване и значително намалява времето за оценка на последствията от силно земетресение (от часове до минути).

Резултатите, постигнати в изучаването на регионалната сеизмичност и сеизмичния режим са важен елемент при оценката на сеизмичната опасност за територията на страната. От друга страна, в теоретичен аспект постигнатите резултати водят до точни оценки на параметрите на сеизмичния режим, а оттам и към по реалистична оценка на сеизмичната опасност. Разработената автоматизирана система за обработка и съхранение на сеизмологична информация пряко или косвено е в помощ на повечето изследвания и резултати в областта на регионалната сеизмология и улеснява в голяма степен експертните оценки, необходимите справки за държавни организации, общински и областни управи, и частни фирми и организации.

Сеизмичната опасност е с най-съществено значение от природните опасности за територията на страната. Реалистичната ѝ оценка е от огромно икономическо и социално значение. Резултатите, постигнати в тази област (представени в научни публикации и отчети по проекти) са основа за надеждно противоземетръсно проектиране на сгради и съоръжения и са от съществено значение за стабилното развитие на обществото у нас. Получените карти на сеизмичната опасност залягат във важните национални норми за проектиране на сгради и съоръжения, съобразени с Европейските изисквания.

Оценката на сеизмичната опасност е задължителна за високо рискови обекти, за които не се отнасят националните норми за строителство – такива като атомни централи, големи язовири хвостохранилища и др. Резултатите постигнати в тази област (научни публикации и проекти) са в основата на осигуряване безопасното функциониране на високо рисковите обекти.

Моделирането и оценката на последствията от земетресения на територията на страната, както и оценката на сеизмичния риск са съществени елементи от държавната политиката за намаляване на сеизмичния риск. Разработената методика и автоматизирана система са в помощ на отговорните национални, регионални и локални институции.