



## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационният труд на **Валентина Николаева Протопопова** на тема  
**„Геодинамика на територията на България и прилежащите земи по  
сеизмологични данни”,**

представен за присъждане на образователната и научна степен **„Доктор”**

на автора на труда по научната специалност

01.04.06 „Сеизмология и вътрешен строеж на Земята“

Рецензент проф. дфн Петър Я. Ставрев

Рецензията е възложена с Решение на първото заседание от 06.08.2015 г. на Научното жури, утвърдено със Заповед № 01-174 от 04.08.2015 г. на Директора на НИГТГ БАН. Съобразена е с ПП на ЗРАСРБ, действащите в БАН условия и ред за придобиване на ОНС „доктор” и Правилника за прилагане на ЗРАСРБ в НИГТГ.

### 1. Кратки бележки от професионалната биография на докторантката

Валентина Николаева Протопопова е зачислена през 2010 г. като редовен докторант по специалност „Сеизмология и вътрешен строеж на Земята“ към НИГТГ, секция Сеизмология, с научен ръководител проф. д-р Емил Ботев. Тя завършва висше образование през 2007 г. по специалност Инженерна физика с магистърска програма по квантова електроника и лазерна техника във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски”. Още като студентка е ангажирана в експериментални проучвания на ИОНХ при БАН, а след това като физик и мениджър с ограничено работно време в дейността на фирми. От 2013 г. работи на длъжност сеизмолог към НИГТГ по мониторинг на сеизмичността и определяне механизми на земетресенията, в което направление е и разработеният от нея дисертационен труд.

### 2. Обща характеристика на дисертационния труд

Представеният от докторантката Валентина Протопопова труд е в областта на раздела от сеизмологията, в който се изследват земетръсните източници и физико-геометричните характеристики на движенията в земетръсното огнище. Дисертационният труд съдържа актуални научни изследвания върху проявяващите се фокални механизми на земетресения в сеизмичните зони на България и близките земи с изводи относно динамиката на сеизмогеоложкото пространство.

Темата на дисертацията е развита с ясно зададената цел да се характеризира по-пълно в локален план и обобщено в регионален план разпределението на напреженията в геоструктурите на централните Балкани. Формулирани са

подробно задачите за нейното постигане, включващи търсене, описание и анализ на всички досегашни решения на фокални механизми, тяхната проверка и оценка относно качество и пълнота на решенията, получаване на нови решения за механизмите, сеизмично зонироване и моделиране на регионалните напрежения с прилагане на инверсния метод на Gephart и Forsyth, геодинамичен анализ и обобщение на получените резултати за изследваната област от Балканите.

Съобразно тези задачи е развита и структурата на дисертацията. Съдържанието се състои от уводни бележки, шест главни раздела, включително заключение със заявени от автора приноси в труда, списъци на негови по темата и с негово участие други научни публикации, участие в изследователски проекти и литература. Изложението е направено общо на 184 страници компютърно обработен текст, включително 56 фигури, 6 таблици, 5 заглавия на публикации на автора и в съавторство по темата, 54 заглавия в списъка на литературата на кирилица, 110 – на латиница и 8 интернет адреса. Отделно е представен Автореферат на 87 страници.

### 3. Анализ и оценки по съдържанието на труда

Първият раздел на труда, Глава 1, е озаглавен „Сеизмологична мрежа, използвани данни“. Разделът има осведомителен характер относно Националната сеизмологична мрежа с кратки исторически бележки на първия етап на сеизмологичните наблюдения в България и създаването след 1980 г. на НОТССИ с нейния състав, оперативна дейност и предоставяни данни. Посочени са и чуждестранните станции, чиито сеизмични записи по международния обмен са използвани. Общо 175 на брой са нашите и чуждите станции източници на данни за решаване на задачите в дисертацията. Тяхното географско разпределение и кодове е дадено на карти и в таблици. Този раздел, добре и сбито представен на 16 страници, ни убеждава, че извършените изследвания се опират на една солидна основа от сеизмоложки наблюдателен материал.

Традиционно на първо място в дисертационен труд се прави обзор на състоянието на изследванията по темата на труда в исторически, методичен и познавателен план. Така се очертават насоките на необходимите изследвания и се обосновават поставените задачи. В дисертацията тук виждаме приложен друг подход - поделение на този обзор в по-конкретния план, съответстващ на съдържанието на следващите раздели на труда.

Вторият раздел е посветен на съвременната представа за сеизмичните източници, възприемани като система от концентрирани сили в близки приложни точки, образуващи комбинации на диполи със и без механичен момент. Разглеждат се такива точкови източници, които позволяват да се построяват и описват с математични модели началните времеви моменти от възникването на земетресението и излъчването на сеизмичните вълни.

Дефинирани са величините, които описват източниците от този вид – тензорът на сеизмичния момент, с неговите компоненти, скаларният сеизмичен момент, движенията причиняващи компресия и декомпресия на околната среда. Посочва се комбинацията двоен дипол без момент като най-реалистичния модел на сеизмичен източник, при това с възможности да се изучава по различния знак на излъченото движение в двете противни посоки на елементарните диполи. Този известен от началото на миналия век ефект на простото секторно разпределение на първото встъпление на разпространяващата се от фокуса надлъжна вълна е описан пълно и достатъчно подробно от докторантката Протопопова. Отбелязват се особеностите свързани с нееднозначността при определяне на действителната нодална плоскост и отражението на геометрията на разломната плоскост в наблюдаваната вълнова картина. Това е теоретичната основа на методите за определяне на фокалните механизми на земетресенията и тяхното изобразяване на фокалната сфера или по-удобно на долната полусфера, които са приложени в представената дисертация. Ползвани са цитирани литературни източници, главно от последните години (Havskov and Ottemoller, 2010, Shearer, 2009, Христосков, 2007, Frohlich, 2001).

Вярното изобразяване на положението и поляриността на първите встъпления от различните сезмологични станции върху фокалната сфера изисква отчитането на пътя и скоростите на вълните от източника. За целта докторантката е подбрала аналитично скоростен модел на средата за територията на страната, близък до заложения в програмата DHYPO (Солаков и Добрев, 1987, Солаков, 1993).

В този втори раздел е описан и използваният софтуер за визуализиране на сеизмограми, за определяне на кинематичните параметри на земетресенията, за изчисляване параметрите на фокалните плоскости и за определяне полето на напреженията. Качеството на приложения числен и илюстративен графичен материал към дисертацията показва доброто познаване от докторантката на този набор от способности и специализиран софтуер.

Третият раздел третира сеизмогеоложките условия в изследвания регион и съответното сеизмотектонско зониране с ползване на резултати за фокалните механизми на регистрирани земетресения. Дадени са най-напред геолого-тектонски сведения за основните крупни геоструктури на Балканите – Мизийска плоча, Родопска област, Балканиди, Южни Карпати и Краициди. Те са описани по трудовете на Ек. Бончев (1940, 1946, 1955, 1962, 1964, 1986), Bonchev et al. 1982) и Йовчев и др. (1971). Тук би следвало да се отбележат и литературни източници от последните години, отразяващи развитието на възгледите за геоструктурите на Балканите, техните граници, строеж и наименования, главно на български автори. Някои отделни по-нови публикации виждаме включени в

следващите раздели и подраздели на труда, съгласно възприетия начин за излагане състоянието на изследванията по съответните на тях проблеми.

Важното научно съдържание на този раздел се дава от описанието и анализа на известните определения на фокални механизми и на получаването на нови такива от докторантката. Представени са общо 338 броя фокални механизми, разпределени в девет сеизмични зони. Очертаното зонирание от докторантката е близко до предложеното от цитирани автори в периода от 1980 г. до 2002 г. Съставени са две карти (Фиг. 3.2.1) - на възприетото зонирание с изображение на механизмите по фокалните сфери и карта с географското разположение на определените фокални механизми според магнитуда на земетресенията. Подробното количествено представяне на механизмите е дадено в Таблица 3.2.1., в която е отбелязано коректно и авторството на 338-те определения, включително и 128 броя на докторантката. Оценявам даденото компактно числено и графично представяне на резултатите от изследванията като много полезно за целите на систематизацията, анализа и обобщението на информацията за земетръсните източници и геодинамичните процеси в изследвания регион. При нарастналия значителен брой решения за фокалните механизми смятам оправдано и твърде навременно съставянето на една първа пълна банка данни, включваща механизмите на земетръсни събития в 85-годишния период от 1928 г. до средата на 2013 година, главно след 1980 г. по определенията на 9 самостоятелни автори и авторски колективи.

Възможностите за ползване на съставената банка данни виждаме развити в анализите на сеизмогеоложките условия в деветте сеизмични зони Вранча, Неготинска крайна, Горна Оряховица, Североизточна България, Софийска, Струмска, Родопска, Средногорска и Бургаска зони. За всяка от тях е съставена карта на териториалното разпределение на фокалните механизми и карта на хоризонталните проекции на осите на компресия и декомпресия. Във вътрешен план се обсъжда отражението на известните в дадената зона разломи и разломни системи в характера на получените фокалните механизми, главно по направленията и групирането на осите на опън и натиск и съотношенията между интензивностите на компресия и декомпресия. Оценява се видът на дислокацията - разседна, възседна, отседна или смесена според фокалния механизъм и наличните геофизични и геоложки допълнителни сведения. Изложението за всяка от деветте зони е наситено с много конкретна информация от извършени през минали години изследвания и от получените резултати при разработката на дисертацията. Това обяснимо е довело да сравнително големия обем от 52 страници на третия раздел.

В четвъртия раздел е потърсено разпределението на регионалните напрежения в сеизмогеоложкото пространство въз основа на решенията за механизмите на

земетресенията, представени в предния трети раздел. Използван е за целта известният инверсен метод на Gephart and Forsyth (1984) и Gephart (1990). Методът е описан в дисертацията достатъчно подробно по направеното изложение и опита от прилагането му от Ц. Христова (1997) в съседния Егейски регион. Изпълнението му от докторантката е позволило в зададен сеизмичен район с група определени механизми да се намери тензор на напреженията с ъглов параметър минимално отклоняващ се от параметрите на групата механизми. Бих отбелязал, че в теорията на обратните задачи така се получава квазирешение, което по своята физикомеханична същност в случая представя усреднен тензор на напреженията, обуславящи възникващите там земетресения. За извеждане на решенията са използвани известни алгоритми и компютърни програми на посочените автори на инверсия метод.

Изследванията по проблема са извършени в отделените сеизмични зони и огнищни подзони в тях (без Бургаската), общо 15 резултата за параметъра  $R$  отразяващ отношенията между главните напрежения на компресия - максимално, междинно и минимално, и за техните ъгли на затыване и азимут. Посочен е броят включени механизми и постигнатото минимално ъгловото отклонение, отбелязано като *misfit*. Ъгловата грешка на едно приемливо решение е взета да е до  $6^0$ , съгласно заимствани оценки на цитирани автори. При по-високи стойности е търсено подобряване на резултата относно хомогенност чрез ограничаване на отборката механизми, при условие за осигурен достатъчен техен брой. За отбелязване е, че 1/3-та от 338-те механизми в изследваната област не са включени в избраните групи за определяне на регионален тензор. Въпреки това от съставената сборна таблица 4.2.1. за отделените 2 зони и 13 огнищни подзони с грешки между  $1.90^0$  и  $9.90^0$  се вижда, че близо половината от решенията показват по-високи стойности от възприетия ъглов критерий, което говори за съществуване на значима хетерогенност в техните предели. Най-силно тази особеност е изразена за Средногорската сеизмична зона.

Извършеният от докторантката анализ на получените резултати за регионалния тензор на напреженията в изследваните осем зони съдържа множество интересни резултати за тяхното характеризирание относно регионалното напрежение и доминиращия режим на екстензия или компресия със съответните ъглови параметри. Направеният сравнителен анализ с решенията на други автори ни показва едно добро, с малки изключения, съгласуване на нейни резултати с техните при ползване на един и същ метод и софтуер. Новото тук е териториалният обхват на изследването, пълнотата и систематизирането на ползвания значим брой механизми на земетресения, известни и получени от докторантката. Този раздел е текстово и илюстративно подготвен да послужи като основа на геодинамични анализи.

В раздел пети на дисертацията е представен обобщен анализ на получените резултати по всички сеизмични зони, както за фокалните механизми, така и за регионалните тензори на напреженията. Съставени са карти на хоризонталните проекции на осите на компресия и на декомпресия, а също на хоризонталната проекция на осите на опън по изведените тензори на регионалните напрежения. За оценка на посоката и скоростта на движенията са привлечени данни от GPS измервания с доверителните интервали на екстензия по Solakov et al. 2015. Направено е заключението, че има съвпадение като цяло на направленията на хоризонталните движения и на осите на екстензионно напрежение.

След обзор на публикации от наши и чуждестранни автори относно съвременните представи за геодинамичните процеси на Балканите и околните земи съгласно тектониката на плочите, докторантката е съставила „схема“ на геодинамичен модел на Централната част на Балканите (Фиг. 5.2.4). За сеизмоложка основа са послужили получените от докторантката оси на екстензия по тензорите на регионалните напрежения в отделните сеизмични зони (Фиг. 5.1.2). Прибавени са векторите на хоризонталните скорости от GPS данни (по Georgiev et al., 2013), главните разломни линеаменти и посоките на движение на големите тектонски плочи (по Barrier et al, 2004). Получената картина на разпределение на напреженията с увеличаване на екстензията общо от север на юг и очертаващата се ъгловата разлика в направленията на осите за западната и източната част на изследваната територия са тълкувани като проява на известните крупни геодинамични процеси свързани с влиянието на Адриатическата плоча, постколизийния колапс на орогените и с наблюдаваното геодезично значимо увеличаване на скоростите на придвижване към Егейската зона. Привлечени са и геоморфоложки и сеизмотектонски данни по територията на България. Елементи на подобни изследвания се срещат в трудовете на цитираните множество автори, но в дисертацията е направена стъпка напред с ползването на нови данни и резултати относно фокалните механизми и разпределението на регионални напрежения по всички зони и техни огнища покриващи територията на България. Получена е така една по-подробна и в по-пълнен обхват картина на геодинамични характеристики по сеизмични данни в добра корелация с отбелязаните други методи за наблюдение и проследяване на геодинамичните процеси.

В последния шести раздел на дисертационния труд са представени основни действия, резултати и заключения на 15 страници в 15 точки за извършените изследвания по темата на дисертацията. Започва се с търсене и набиране на отчети по сеизмичните записи, ползване на каталожни данни, приложен софтуер, сеизмично зонироване, вид и параметри на фокални механизми, определяне съотношения на напрежения и ъглови параметри на тензора на регионалните напрежения, създаване на съответна банка данни, описание на резултатите по

деветте сеизмични зони, анализ и обобщение на резултатите относно геодинамичния режим на изследваната територия. Като изключим някои подробности и повторения на части от съдържанието на предните раздели, можем да съзрем тук изказа на основните научни и научно-приложни постижения на автора на дисертационния труд.

Представеното съдържание на дисертацията като цяло показва добрата литературна осведоменост на докторантката по темата, което проличава не само от дългия списък на литературни източници, но и от тяхното ползване при направените описания и сравнителни анализи относно геодинамичните процеси в изследвания регион и методите за тяхното изучаване.

#### 4. Характер на приносите в дисертационния труд

Основните приноси в труда имат несъмнен обогатяващ знанията характер в научната област на дисертационната тема. Те са резултат на научно изследване от индуктивен тип с натрупване на знания чрез данни от физични сеизмични наблюдения за едно природно явление, каквото е възникването на земетръсите, с количествени определения по модели на фокални механизми. На тази основа се търси намирането на съществуващите напрежения и изясняване динамиката на изучаваното геолошко пространство.

Към първия вид приноси отнасям създаването на актуална банка данни чрез събиране на инструментална и макросеизмична информация за над 500 земетресения, необходима за извършения анализ, проверка, изчисляване и качествен отбор на 338 броя фокални механизми на земетресения, включително 128 получени от докторантката, в девет сеизмични зони обхващащи територията на България и части от съседните страни. Тук трябва да се отбележи и отразения в дисертацията придобит методичен и практически опит с научно-приложно значение за осъществяване на изследванията на фокалните механизми на земетресения.

Вторият вид приноси се отнасят до резултатите от моделирането по Gephart and Forsyth на регионалните тензори на напреженията с определянето на техните параметри и съпоставянето им по територията на изследваните сеизмични зони. Разкритите на тази основа геодинамични характеристики в Централните Балкани и тяхната интерпретация по отделните зони съдържа ценен сеизмоложки принос към процеса на изследванията на геодинамиката на Балканите заедно с тектонски, геоморфоложки и геодезични данни, анализи и интерпретации.

Заявените от докторантката приноси в дисертационния труд са формулирани с повече подробности в 10 точки на две страници в автореферата на дисертацията. Те представят вярно постигнатите научни резултати, но биха могли да бъдат представени по-сбито и синтезирано.

## 5. Кратки бележки по оформянето на труда

Дисертацията е написана на много добър професионален по научната тема език и е богато илюстрирана с преобладаващо подготвени от докторантката фигури, карти, схеми и таблици. Има сравнително малко допуснати грешки в печата и някои особености в езиковия стил, примерно: заглавията на първите три основни раздела съдържат изреждане заглавията на подразделите, което би следвало да се избегне със записване на заглавието, което ги обединява тематично; при сеизмичните анализи в труда понятието зона не е градирано подходящо, при което на места се получава зона в зона, ако при съкращения изказ се пропуска наименованието; във формула 2.1.1 за тензора на сеизмичния момент долната дясна компонента е  $M_{zz}$  вместо записаната  $M_{yy}$ ; допусната е тавтология в изрази „потенциални възможности” на страница 149; в таблиците 1.1.1 и 1.2.1 надписите на част от колоните са на кирилица, а на останалите – на латиница, което смесване не е желателно.

Тези и направените по-горе бележки по съдържанието на труда не са от естество да намалят положителната оценка, която заслужава да получи представеният дисертационен труд.

## 6. Публикации по дисертацията и личен принос

Посочени от докторантката са 5 на брой публикации, чието съдържание е включено в дисертацията. Публикациите са направени в периода 2011-2015 години. В авторитетното Българско Геофизично Списание е отпечатана една самостоятелна статия на Протопопова през 2013 г. Четири са колективните публикации в трудове на международни научни сесии – две в България и две извън страната на конгреси на Балканската геофизична асоциация в Албания и Унгария. Всички публикации са на английски език. Протопопова е водещ автор в две от колективните публикации от трима и четирима съавтори, а в другите две е на второ и четвърто място.

Авторефератът, който се признава за публикация на автора на дисертацията, съдържа на 87 страници във формат А4 текст, графични илюстрации, числена таблица и „Библиография” (последното без уточняване на разликата спрямо „Литература” в труда). Като цяло авторефератът представя вярно основните подходи, методи и резултати от изследването на механизмите на земетресенията, моделирането на регионалния тензор в сеизмичните зони и направените геодинамични анализи и изводи относно преобладаващия екстензионен режим за територията на България.

Посочените публикации, както и цялостното съдържание на дисертацията, очертават значимия безспорен личен принос на докторантката в разработването на темата за фокалните механизми, за съставената банка данни от 338 броя механизми при 128 нейни решения, определянето на нови и актуализирани

регионални тензори на напреженията и съответните геодинамични изводи. Смятам, че трудът дава много добри възможности за развитие на постигнатото и оформяне на следващи интересни публикации по темата.

#### 7. Друга научна дейност и обучение на докторантката

Освен отбелязаните публикации по съдържанието на дисертацията докторантката е съавтор и в 13 други публикации, от тях 3 в Българско геофизично списание. Общо 14 научни доклада с нейно участие са представени на международни научни конференции у нас и в чужбина.

Докторантката Протопопова е привличана също за участие в изпълнението на 7 научни проекта в НИГГГ БАН, главно по сеизмологични теми за районите на Козлодуй, Провадия и Пирдоп, за Черноморската мрежа за сеизмична безопасност, за строежа и динамиката на земната кора и горната мантия в тектонски активни райони, за сеизмичността и структурата на земната кора на остров Ливингстън, където е разположена Българската Антарктическа База.

По програмата за обучение на докторанти в БАН Протопопова е взела с отличен успех и с висок брой получени точки всички изпити и завършени специализирани курсове.

#### 9. Заключение

Отбелязаните по-горе съдържание, актуалност на тематиката и научни приноси в представения дисертационен труд ми дават основание да оценя труда на докторантката като научно изследване на високо ниво. Намирам, че дисертацията отговаря на изискванията за развитие на академичния състав, съгласно Закона и Правилниците за приложението му в БАН и НИГГГ.

Предлагам убедено почитаемото Научно жури да гласува за присъждане на автора на труда Валентина Николаева Протопопова образователната и научна степен „Доктор” по научна специалност 01.04.06. „Сеизмология и вътрешен строеж на Земята”.

09.10.2015 г.

София

С уважение:

(проф. дфн П. Ставрев)