

ПОВИШАВАНЕ РАЗРЕШАВАЩАТА СПОСОБНОСТ НА СЕИЗМОГРАМИТЕ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА СКОРОСТЕН АНАЛИЗ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА СУХОЗЕМНИ СЕИЗМИЧНИ ДАННИ

Мая Григорова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", maya.grigorova86@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Кинематичните поправки в сеизмопроучването, подбрани на базата на реалните отражения, в общия случай гарантират добро сумиране на данните и реална представа за характера на отражателните повърхнини. При наличие на шумове в регистрираните данни много често е почти невъзможно извършването на коректен и детайлен скоростен анализ за определяне на точните кинематични поправки, които следва да се внесат в данните. Поради тази причина често се търсят решения, с които да се повиши разрешаващата способност на сортираните за извършване на скоростен анализ сеизмограми посредством разнородни филтриращи процедури, с помощта на които максимално да се отстрани влиянието на пречещите вълни, а в сеизмограмите да останат предимно реалните отразени вълни.

Ключови думи: скоростен модел, филтрация, резолюция

HIGH RESOLUTION VELOCITY ANALYSIS IN SEISMIC DATA PROCESSING

Мая Григорова

University of Mining and geology "St. Ivan Rilski", maya.grigorova86@gmail.com

ABSTRACT. In reflection seismology seismic data are usually contaminated with noise, which refers to any unwanted features in the data. One of the most important criteria for data quality is visibility of primary reflections, often quantified as signal-to-noise ratio. For achieving this goal one possible solution is to perform high resolution velocity analysis. Building adequate, high resolution velocity analysis is basic step for creating realistic and reliable geological section. Creating correct velocity model requires good differentiation between primary reflections and seismic noise. For achieving better velocity model resolution it is sometimes suitable to perform linear noise attenuation procedures before to perform velocity analysis.

Keywords: velocity model, filtration, resolution

Въведение

През последното десетилетие постигането на висока резолюция в обработката на сеизмични данни е придобило първостепенно значение при съставянето на сеизмичните разрези. Това е особено актуален въпрос при обработката на стари сеизмични данни, при които се наблюдават конкретни специфики на записа като малък брой канали, ниска кратност на данните, ограничен офсет и други. От друга страна, в съвременни условия използването на повърхностни източници на енергия (Вибросейз) понякога води до повишаване нивото на шум в записаните данни. Това налага необходимостта от прилагане на повече на брой и по-агресивни филтриращи процедури върху данните. Често пъти, обаче, прилагането на подобни процедури върху сеизмограмите води не само до премахване на пречещите вълни, но и до загуба на полезен сигнал. Същевременно при наличие на остатъчни шумове в данните се затруднява изпълнението на последващите обработващи процедури, една от които е извършването на детайлен скоростен анализ на данните за определяне на кинематични поправки. Скоростният анализ в сеизмичната обработка има ключова роля за

съставянето на адекватни и високо разрешаващи сеизмични изображения. Поради тези причини усилено се търсят нови техники и методики, с помощта на които да се осигури максимална разделителна способност на изследваните данни за целите на уверена и достоверна структурна интерпретация.

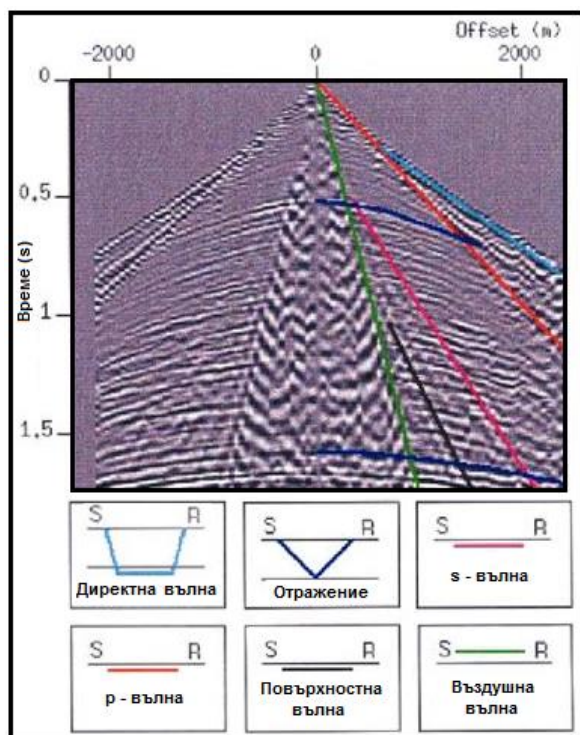
Предпоставки за наличие на шум с различен характер в сеизмограмите

Шумът в сеизмичните данни е неизменна част от записаните сеизмограми. Всяка сеизмограма съдържа, както полезен сигнал, така и определено количество шум. В общия случай, за да бъде постигната задоволителна разрешаваща способност в крайния продукт от обработката на данните е необходимо съотношението полезен сигнал / шум да е достатъчно голямо.

Наличието на шум в записите може да се дължи на много и разнообразни фактори като вида на източника на възбуждане, избраната система на запис, броя на работещите канали, кратността на данните, минималното и

максималното отдалечение от източника (офсет), полевите условия, климатичните условия, наличието на смутители на сигнала, антропогенни фактори и други. Като цяло тези фактори се обобщават като параметри на проучването. Параметрите на проучване се определят специфично за всеки регион на проучване, така че да бъде постигнато най-доброто отношение сигнал-шум на сеизмичните записи, както и да бъде регистриран възможно най-широкият честотен спектър на целевите хоризонти. Първите важни параметри са източникът на енергия и видът на сеизмоприемниците. Избира се най-подходящият за региона на проучване източник, с който да се осигури оптимално регистриране от сеизмоприемниците. Следващият параметър е интервалът на регистриране, както по време (стъпката на квантуване), така и в пространството (разстоянието между групите сеизмоприемници). Определят се също така минималното и максималното отдалечение на сеизмоприемниците от източника, които трябва да бъдат съобразени с целите на проучването.

Често различните по вид смутители на сигнала предизвикват различни по вид шумове в данните (фиг. 1).



Фиг. 1. Сеизмограма, на която могат да се наблюдават различни видове шум

Един от най-важните аспекти от обработката на сеизмичните данни включва разкриването на полезния сигнал чрез потискане на различните видове шум.

Търсените отражения върху записите се разпознават по хиперболичния си вид, дължащ се на разликата във времената им на пристигане с отдалечаване от източника. Най-често на сеизмограмите се регистрират освен отразените вълни, също така директната вълна, повърхностни вълни, пречупени вълни, въздушни вълни и други.

При разпространение в нехомогенна среда, скоростта на разпространение на повърхностните вълни рядко надвишава скоростта на s-вълните като достига до 1500 m/s. Тя често зависи от честотата на вълните и е възможно рязко да се изменя, различавайки се силно от тази на полезния сигнал, което се явява и основен начин за тяхното диференциране (Telford et al., 1990). За успешна филтрация на повърхностни и s-вълни е необходимо да се уточни детайлно тяхната скорост на разпространение в земята и по възможност честота им. Методът за филтрацията им си служи с информация за скоростите и честотния диапазон на пречещите вълни, като трансформира данните от време-пространствената област в честота-пространствената област, където процедурата работи по смесени трасета. Броят на трасетата, които се смесват на всяка честота до граничната се определя от израза:

$$mix = \frac{V}{\text{честота} * \text{разстояние между трасетата}}$$

където: V е скоростта на пречещите вълни.

Директната вълна се състои от хоризонтално придвижващата се част на полусферата от P вълни. Трябва да се отбележи, че директната вълна се придвижва в права линия от приемник на приемник и на сеизмичния запис е представена от постоянен наклон. Директните вълни затихват много бързо или се губят в пречупените вълни и по тази причина не могат да бъдат идентифицирани след първите няколко трасета. Основен подход към потушаването им се явява изрязването им от записите под формата на мют анализ (Leskinen, 1975).

Въздушните вълни се разпространяват в земята със скорост близка до тази на звука във въздуха (приблизително 330 m/s), откъдето идва и името им. Тяхната скорост не зависи от честотата им на разпространение, а от външни фактори като температура на въздуха и посока на вятъра. Вълновия им спектър варира в широки граници, което затруднява отстраняването им от данните. Основният метод за потушаването им се базира на отличителната им скорост на разпространение в земята (Landmark, Promax reference manual, 1995).

Вълните разпространяващи се в един пласт (Guided waves) се пораждат при редуване на пластове с ниска и с висока скорост на разпространение на еластичните вълни. Тези вълни в голяма част от случаите интерферират с реалните отражения и по тази причина са трудни за отстраняване от данните. Този тип вълни са широко разпространени, главно в записите от морски сеизмични изследвания и са породени от силния контраст в скоростите на разпространение на вълните във водните пластове и под морското дъно. По този начин, по-голямата част от енергията се разпространява хоризонтално през водните пластове. Характерно за тях е, че колкото е по-голям контрастът в скоростите на разпространение на вълните във водата и под дъното, толкова повече вълни от този тип се генерират. Вълни, които се разпространяват в един пласт се наблюдават и в сеизмични изследвания на сушата, като основният подход за потискането им се явява сумирано по обща дълбочинна точка. Основните проблеми, които този тип вълни, а също и останалите

регистрирани шумове с праволинейни ходографи, създават се проявяват главно в сеизмограмите сортирани за извършване на скоростен анализ. Определянето на вярна кинематична поправка може да се окаже не лека задача, в случай че ходографите на отразените вълни са „скрити“ под тези на регистрирания шум. В тези случаи е възможно определените кинематични поправки да са неточно подбрани, което от своя страна да доведе до неверни и объркващи резултати при сумиране на данните с тях.

Методи за повишаване резолюцията на сеизмограмите при извършване на скоростен анализ на сеизмични данни посредством различни филтриращи процедури

Потискането на шумове с праволинейни ходографи се налага поради факта, че в голяма част от случаите този тип вълни се характеризират с висока енергия и много често „закриват“ реалните отражения. За извършването на детайлен скоростен анализ с висока резолюция е необходимо сортираните сеизмограми за анализа да съдържат предимно ходографи на отразените вълни и колкото е възможно по-малко такива на пречещите вълни (Jones, 2010).

В обработката на сеизмични данни са познати множество процедури, насочени към потушаване на шумове с праволинейни ходографи, които се прилагат преди сумиране на данните. Тъй като и самата процедура по сумиране на сеизмограмите по метода на общата дълбочинна точка също спомага за елиминиране влиянието на пречещите вълни, става много трудно да се оцени качеството на сеизмограмите за извършване на скоростен анализ за определяне на точни кинематични поправки, в случай че след сортиране в сеизмограмите за анализ има остатъчни влияния на пречещи вълни. Поради тази причина е възможно да се приложи допълнително филтриране на сортираните за скоростен анализ сеизмограми, като в последствие то не се прилага при сумиране на сеизмограмите, а служи само за целите на по-уверен скоростен анализ.

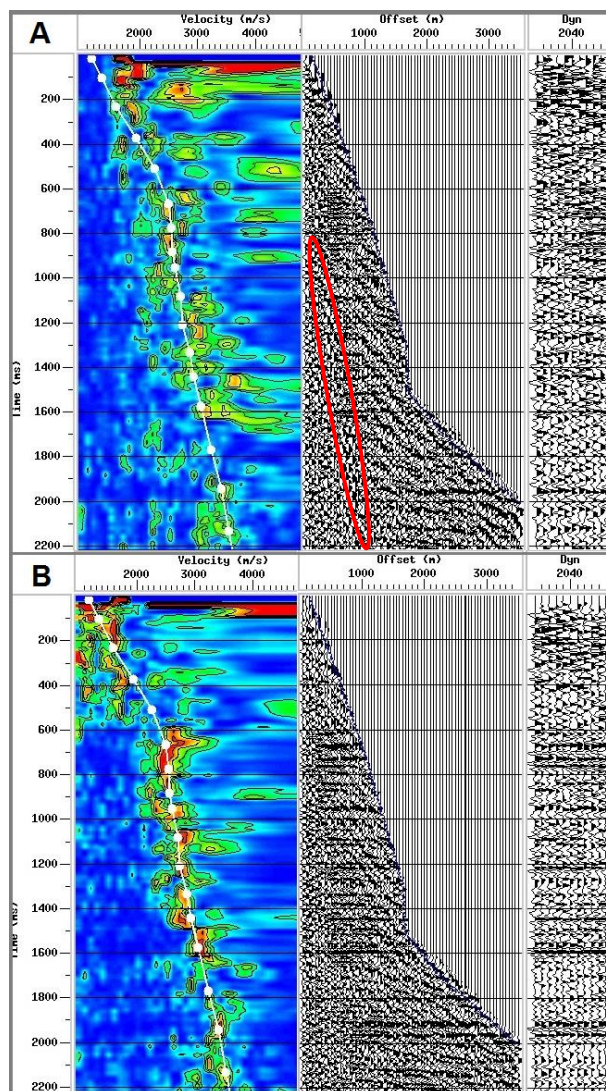
При анализа на различни видове шум с праволинейни ходографи, които най-често се наблюдават върху сортираните за извършване на скоростен анализ сеизмограми, са разгледани конкретни филтриращи процедури, които в най-голяма степен постигат търсеният ефект – максимално съотношение сигнал/шум за целите на достоверен скоростен анализ (Григорова, 2013). Една част от филтриращите процедури са приложени върху данните още на етапа на предварителната подготовка. При условие, че в данните се наблюдават остатъчни ефекти или такива, които не са се повлияли от избрания набор филтрационни процеси се налага допълнително филтриране с цел подобряване на изображението и отчетливо проследяване на ходографите на отразените вълни.

На фигура 2 е показана сеизмограма, на която се наблюдават пречещи вълни с линейни ходографи, от типа въздушни вълни, разпространяващи се в земята със скорост 342 m/s. За потискане на въздушните вълни е

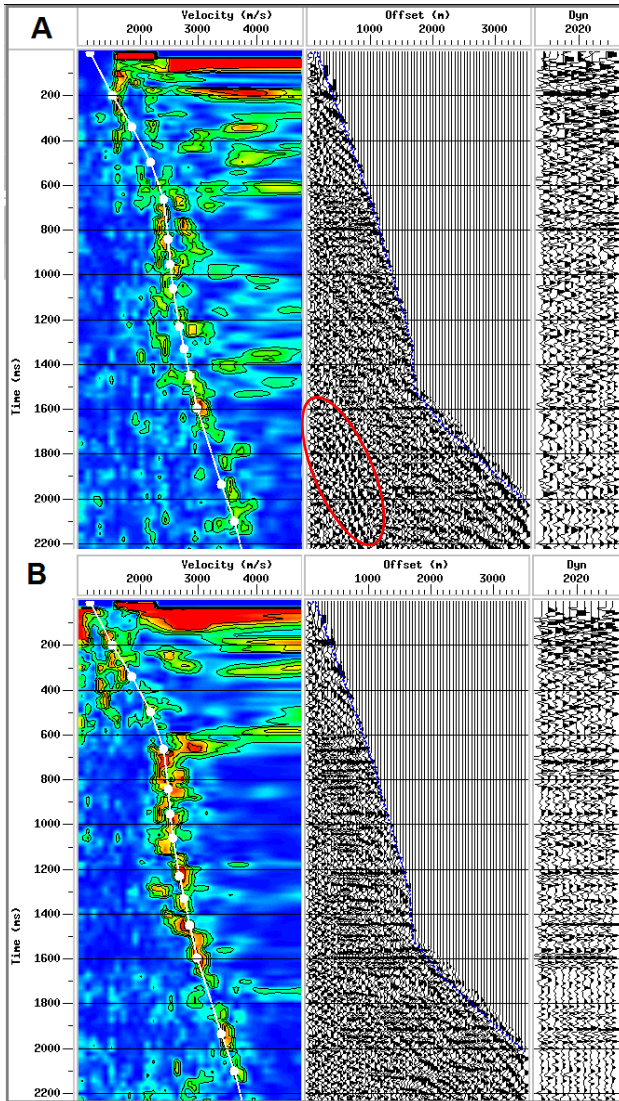
приложена процедурата Air Blast, чиято цел е да премахне всички вълни, придвижващи се в земята с посочената скорост на разпространение. Необходимостта от посочената процедура се налага поради факта, че така проектирана, върху сортираните сеизмограми за извършване на скоростен анализ, въздушната вълна не позволява да се направи правилна преценка за необходимата кинематична поправка. Това би довело до неуверени резултати при сумиране на данните с така съставените кинематични поправки.

Тъй като скоростта на въздушните вълни е отличително ниска, в сравнение с тази на полезния сигнал, вероятността да се премахнат и част от реалните отражения е незначително ниска, а качеството на сеизмограмата след прилагане на филтъра значително се е подобрило.

На сеизмограмата на фигура 3 се наблюдават пречещи вълни с линейни ходографи от типа повърхностни и граунд-рол вълни. За потискане на тези смущения е приложена процедурата Surface Wave Noise Attenuation, чиято цел е да премахне вълните от този тип въз основа на отличителните разлики в скоростта им на разпространение в земята и разликите в честотния им състав спрямо полезния сигнал.



Фиг. 2. Скоростен анализ: А - сортирана сеизмограма с наличие на въздушна вълна; В – филтрирана сортирана сеизмограма



Фиг. 3. Скоростен анализ: А - сортирана сеизмограма с наличие на повърхностни вълни; В – филтрирана сеизмограма

След прилагане на процедурата се наблюдават много по-отчетливо ходографите на отразените вълни.

На сеизмограмата на фигура 4 ясно се виждат пречещи вълни с линейни ходографи, които буквално “закриват” енергията на реалните отразени вълни под тях. За потискане на тези линейни вълни, данните са трансформирани в F-K областта, където ръчно е определен полигон за прилагането на F-K филтър.

Честотните граници на полигона варират в диапазона от 0 до около 70 Hz. След нулиране на данните в областта извън полигона, резултатът показва силно потискане на пречещите вълни с линейни ходографи и по-ясно изобразяване на реалните отражения.

За илюстриране на скоростен анализ след извършване на допълнителните процедури по филтрация на сортираните сеизмограми е избрана една скоростна функция (фиг. 5).

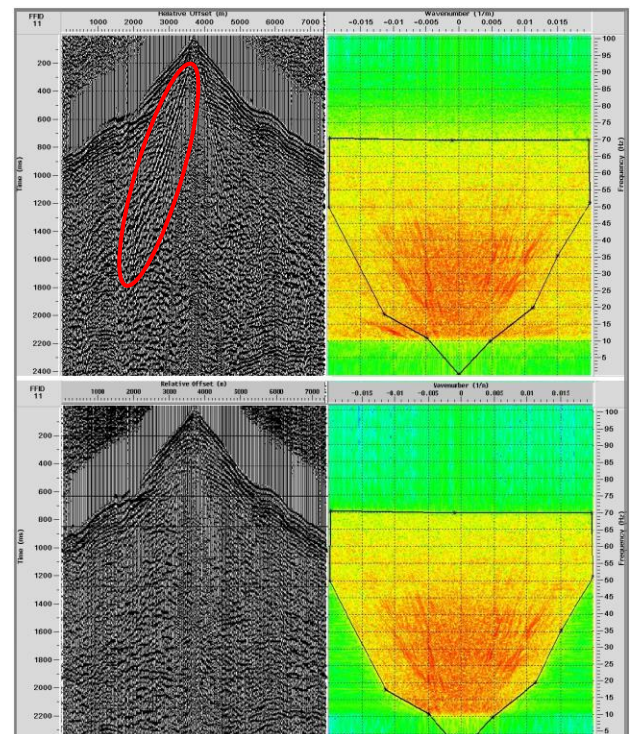
Скоростната функция има следните характеристики:
 - Брой на трасетата формиращи една функция – 15;
 - Разстояние между скоростните функции – 500 m.

Контурната карта на скоростния панел дава възможност да се определят приликите в скоростта между съседни трасета, като най-големите сходства в скоростите между трасетата се отбелязват като максимуми на подобие. Както се вижда на избрания скоростен анализ, функцията минава през максимумите на подобие, като така осигурява сходство в избраната скорост между отделните функции

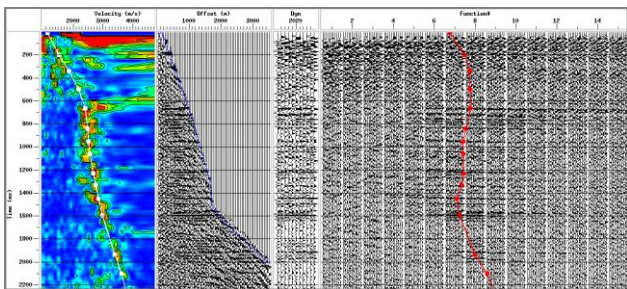
Както се вижда от динамичния панел, сумирането на данните с непосредствено пикираните скорости позволява отчетливо да се открият основните отражателни граници.

По такъв начин, след прилагане на кинематична поправка с така избраните скоростни функции в сумираните данни отчетливо се наблюдават реални отражателни граници.

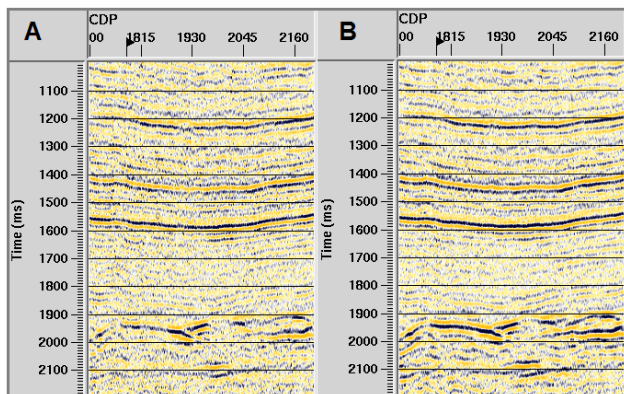
На фигура 6 е показано сравнение между данни, сумирани с кинематични поправки, получени преди и след допълнително филтриране на сортираните за скоростен анализ сеизмограми. От анализа на получените изображения ясно може да се проследи характерът на отражателните повърхнини, както в по-плитката част на разреза, така и в по-дълбоките му части. Много по-уверено проследяване на отражателните граници се наблюдава върху разреза, получен със скоростен модел подбран върху филтрирани сеизмограми.



Фиг. 4. F-K филтър за потискане на линейните пречещи вълни



Фиг. 5. Скоростен анализ върху филтрирана сортирана сеизмограма



Фиг. 6. Сумирани данни: А – с кинематична поправка, получена при извършване на скоростен анализ с нефилтрирани сеизмограми; В - с кинематична поправка, получена при извършване на скоростен анализ с филтрирани сеизмограми

Заклучение

Сеизмичните данни, най-общо, се състоят от наслагването на реалните отражения с други най-разнообразни пречещи вълни. Основна задача на обработващите процедури е да отслабят действието на смущаващите фактори, за да се подобри съотношението сигнал/шум.

От точността, с която се определя пространственото изменение на скоростта в средата и до основните отразяващи граници, до голяма степен зависи и точността на построяване на сеизмичните разрези (Григорова, 2015).

При съставянето на скоростен модел на средата могат да се направят следните изводи:

- Съставянето на адекватен, високо разрешаващ скоростен модел на средата се явява основна стъпка към изграждането на реалистичен геоложки разрез;
- Построяването на коректен скоростен модел на средата изисква разпознаване и диференциране на полезния сигнал от пречещите вълни;
- Ключов момент при подбора на надежден скоростен модел на средата е проследяването за структурната логичност на разреза.

По такъв начин анализът на кинематичната поправка на сеизмичните вълни има ключова роля в процеса на високо разрешаващата обработка на сеизмични данни. Поради това се търсят възможности за съставяне на адекватен и максимално надежден скоростен модел на средата, който да осигури по-уверена и надеждна интерпретация на данните.

Литература

- Григорова, М. Роля на кинематичните поправки в обработката на сухоземни сеизмични данни за повишаване на съотношението сигнал/шум. - *Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress, Vol. 2, Sozopol, Bulgaria, 2013.* - 1260-1262.
- Григорова, М. Кинематична характеристика на сеизмичните вълни. - *“Дни на физиката 2015”, Технически универ.-ситет, 2015.* - 60-67.
- Jones, I. F. An introduction to: velocity model building. - *EAGE Publication bv., 2010.* - 59-66
- Landmark, ProMAX Reference Manual, Advanced Geophysical Corporation, 1995.
- Leskinen, D. Introduction to command seismic processing. *Petty-Ray Geophysical, Inc., 1975.* - 43-54.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff. Applied Geophysics. – *Second edition, Society of Exploration Geophysicists, 1990.* - 149-151.

Статията е рецензирана от проф. д-р Стефан Димовски и е препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".