

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.200.01
при Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна
03680 м. Київ-142,
проспект Палладіна, 32

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри цивільного захисту і комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України **Стародуба Юрія Петровича**
на дисертаційну роботу Гриня Дмитра Миколайовича
«МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РОЗЛОМНО-БЛОКОВОЇ СТРУКТУРИ
ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДАНИМИ СЕЙСМОРОЗВІДКИ»,
висунуту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – Геофізика

Дисертаційна робота Д.М.Гриня присвячена створенню і практичному використанню методу визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки. Вона є завершеною самостійною науково-дослідною роботою, що підтверджено наданими публікаціями.

Актуальність роботи. Робота присвячена актуальному напрямку в сучасній геофізиці, а саме: в дисертаційній роботі Д.М.Гриня представлений розроблений автором на основі фізико-математичної інтерпретації детальних цифрових спостережень сейсмічних полів геофізичний метод вивчення будови земної кори і мантії з використанням спектрально-часового аналізу сейсмічних полів, реологічних властивостей порід, геологічного бачення середовища та великих об'ємів досліджуваних даних, які враховують як значні просторові протяжності об'єктів інтерпретації сейсмологічних спостережень, так і максимально детальну дискретизацію результатів спостережень, характерну для сейсморозвідки сучасних сейсмічних спостережень.

Особливу увагу Д.М.Гринь приділив застосуванню математичних моделей у вивченні розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки. Метод визначення розломно-блокової структури геологічного середовища відрізняється тим, що має свої, специфічні, діапазони частот при цьому ефективність застосуванню математичних моделі зростає з вдосконаленням обчислювальної бази. Метод охоплює діапазони частот сейсмології і сейсморозвідки. Для кожного з об'єктів геологічного середовища його характеристики міняються повільно в часі, і в той же час, іноді процеси відбуваються дуже швидко. Метод визначення розломно-блокової структури має справу з об'єктами великих розмірів, аж до розмірів континентальних плит.

Через занепокоєння людства про можливі сильні землетруси виключно пасивний моніторинг має глибоку оновлену завдяки сучасним цифровим спостереженням історію, однак останнім часом назрілим стає активний експеримент. Активний експеримент, пов'язаний з генерацією сигналів зондування різного типу, як по спектральному складу, так і по тривалості і

потужності. У такому експерименті метод визначення розломно-блокової структури дає можливість отримати екологічно чистий результат, тобто без будь-якого відчутного впливу на навколишнє середовище. Метод визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсмозв'язки представляє собою множину режимних спостережень, причому режим самих спостережень і характеристики зондувальних сигналів залежать від переслідуваних цілей у даному експерименті. Актуальність роботи Д.М.Гриня полягає додатково в тому, що в ній представлені, як нові фізико-математичні моделі для пасивних спостережень, так і математичні моделі для активного сейсмічного експерименту.

Новизна роботи. У дисертаційній роботі розроблений метод визначення фізичних параметрів середовища на великих глибинах, який базується на використанні дискретних значень цифрових зареєстрованих спектрів з уточненням даних на основі детальних спостережень. Розроблений метод дозволяє зменшити енергію хвиль-завад при використанні обмежених у часі функцій. З використанням методу визначення розломно-блокової структури за сейсмічними даними вивчена будова осадового чохла, кори і коромантії суміші досліджуваних структур. Проведено порівняльний аналіз теоретичних моделей середовища, які представляють різні фізичні властивості середовища, включаючи поглинаючі властивості ґрунтів. При цьому дисипативні параметри середовища визначаються з використанням високоякісних сейсмічних даних. Розроблено метод продовження в часі слабких годографів відбитих хвиль від глибинних хвильових горизонтів. Запропоновано автоматизований пошук на тонкошарових вуглевмісних шахтних полях розломів та монолітних структур за даними просторових дисипативних властивостей тривимірного середовища, застосовуючи властивості вейвлет-перетворення.

У роботі запропоновані нові, раніше не використовувані математичні моделі визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсмозв'язки. Автор пропонує нову математичну модель експерименту, в якому відображені найбільш істотні моменти процесу обробки даних у сейсміці. Модель включає в себе як сам процес обробки даних, так і усунення супутніх при цьому завад процесу. Усувається адитивний шумовий фон, що накладається на природний експеримент та параметричні завади, що являють собою флуктуації параметрів зондуючого сигналу. Априорні знання про завади випадкового сейсмічного процесу дозволяють у значній мірі послабити їх вплив на отримання оцінок параметрів процесу, що реєструються сукупно з корисним сигналом. Це ослаблення досягається оптимізацією процедур обробки, що враховують априорне видалення випадкового процесу завад. У своїй роботі автор узагальнив раніше розглянуті підходи до дослідження сейсмічних розривів геологічного середовища, враховуючи характеристики природного фону перешкод, нестабільність параметрів зондуючого сигналу та наслідків, пов'язаних з цією нестабільністю.

У роботі Д.М.Гриня розглянуті дві сторони проблеми: Перша – поетапне перенесення спектра з низькочастотної області у високочастотну область і оптимальний вибір реакції середовища на тлі завад. Друга – це відображення

відгуку середовища в множині експериментів у один відгук для збільшення співвідношення сигнал-завада. Запропонована методика обробки даних з обробкою великих у просторі і в часі масивів цифрової інформації дозволяє здійснювати корекцію результатів експерименту і відновлювати втрати.

Запропоновано новий ефективний метод аналізу стану природних та рукотворних техногенних об'єктів, власні частоти яких лежать в спектральних діапазонах сейсморозвідки і сейсмології. Метод заснований на вивченні спектрів динаміки власних частот об'єктів з врахуванням загасання енергії. Запропоновано новий підхід для ідентифікації стану таких об'єктів. Запропонована нетрадиційна модель вивчення природного сейсмічного поля об'єктів у вигляді суперпозиції згасаючих, очищених від хвиль-завад гармонік. Така модель дає можливість оцінити такий важливий в описі об'єкта параметр, як усереднене згасання енергії сейсмічної хвилі, динаміка якого дає уявлення про відновлення реперного горизонту (цільових хвиль) у часі та близьких за напрямком відбиттів сейсмічного об'єкта. Для розглянутих моделей досліджене питання коректності розв'язання оберненої задачі сейсморозвідки: математичне сподівання визначення глобального мінімуму відхилення осей синфазності відбиттів від реперного горизонту, зокрема, в процесі обробки інтенсивність у випадкових складових для відновлення реперного горизонту зменшується або наближається до нуля.

Для реалізації поставленої мети були визначені та вирішені наступні завдання:

Запропоновано метод визначення частото-залежного загасання енергії сейсмічних хвиль у геологічному середовищі, яке обумовлене явищами поглинання енергії, геометричного розходження і розсіяння енергії на поверхні та всередині неоднорідних геологічних тіл. Метод використовує явище відносної зміни амплітуд коливань базисних функцій спектрально-часових спектрів сейсмограм. Поле сейсмограм без хвиль завад, відображає геологічну будову. Обвідні, розраховані з використанням перетворенням Гільберта над синус - подібними гармонічними функціями, використовуються для визначення відносного коефіцієнта загасання енергії на різних частотах у заданій точці простору. Частотно-залежне згасання енергії сейсмічних хвиль характеризує якісну оцінку будови геологічних об'єктів. З використанням детальної картини цифрових спостережень робиться їх просторове оконтурення, що допомагає встановити форму об'єкта не аналізуючи його фізичні властивості. Тобто, вибудовується форма геологічних структур.

Використовуючи спектрально-часовий аналіз, проаналізовано роздільну здатність методу визначення розломно-блокової будови середовища. Показано, що кожному сейсмограмі можна розкласти на набір базисних функцій, обмежений її імовірним частотним діапазоном. Встановлене частотно-залежне загасання характерне для монолітних структур при цьому горизонтальна просторова роздільна здатність методу відповідає дискретності сейсмічних даних по простору.

Роздільна здатність методу зростає з шириною амплітудних спектрів сейсмічних даних. В глибинних даних СГТ (3-35 Гц, DOBREReflection2000), для

визначення загасання наведений вузький спектр сейсмограм модулюється фільтром Гаусового типу. Використаний ширококутовий фільтр Гауса не має уявних значень у спектральній області. Використаний фільтр має ширший спектр, тому має місце більша роздільна здатність методу - виразніші аномалії згасання, пов'язані з локальними особливостями будови земних структур.

Щоб усунути значну кількість математичних процедур обробки та інтерпретації сейсмограм використовуються лише лінійні математичні перетворення, які не ушкоджують спектральні характеристики хвильового поля.

Сейсмічні хвильові поля СГТ складаються з великої кількості сейсмічних хвиль різного походження, значна частина яких є непридатною для визначення згасання енергії сейсмічних хвиль. Основні відбиття виникають безпосередньо під пунктом збудження сейсмічної хвилі, реєструються по обидва боки від джерела хвильового процесу. Основні кроки усунення хвиль-завад наступні:

- Картування за напрямком фази домінуючої хвилі на часовому розрізі;
- Послідовне визначення різниці між кожною парою суміжних трас;
- Цільові хвилі – вилучаються, поле складається з різноманітних хвиль завад.

- Часовий розріз цільових хвиль визначається як різниця між вхідним хвильовим полем і залишковим, процедура виділення цільових хвиль повторюється за напрямком домінуючих хвиль.

Ефективність роботи алгоритму розділення цільових хвиль і хвиль-завад за даними часових розрізів СГТ проведена на приповерхневих фактичних даних (до 1 км) так і на глибинних (до 40 км).

Адаптивна технологія проведення польових сейсмічних робіт, проведення сейсмічних робіт дозволяє в польових умовах досягти максимальної якості сейсмічних даних шляхом експрес оцінки їх якості та внесення поправки в СВІП сигнал.

Профіль DOBRE-99 – профіль ГСЗ, для реєстрації фаз заломлених хвиль верхньої мантії, які пройшли під Донецькою складчастою спорудою. Отримана швидкісна модель земної кори з осадовими породами, та верхньої мантії. Були виявлені особливості будови кори та верхньої мантії, які пов'язані із Донецькою складчастою спорудою.

Досліджуваний профіль DOBRE-2, що перетинає Азовський масив, прилеглий до Скіфської плити і північні околиці ерогенного поясу Альпи-Тетіс, який представлений компресійною зоною Крим – Великий Кавказ з прилеглими Азовським морем і північною частиною Чорного моря. Профіль DOBRE-2 є прямим продовженням профілю DOBRE-99, разом утворюють один безперервний профіль завдовжки 775 км. Отримана швидкісна модель добре структурована і прорахована до глибини верхньої мантії під Азовським масивом (суміжних частин земної кори, з профілем DOBRE'99) і у верхній частині земної кори (до глибини 10 - 15 км) під Азовським морем, Керченським півостровом і в північному напрямку в частині Європейської платформи.

Запропоновано різницевий алгоритм для виділення енергетично ослаблених, відбитих від глибинних горизонтів (фундаменту або границі Мохоровичича) сейсмічних хвиль.

Автор використовував дані ГСЗ, коли в сейсмічних хвилях у таких випадках спочатку вилучаються (послаблюються) спільні риси хвильових годографів і залишаються складові, у яких вони різняться в заданому напрямку. Різниця між вхідним і залишковим полями є цільовим полем, яке підлягає подальшій обробці та інтерпретації. Процес виділення цільових хвиль із залишкового поля продовжується за напрямком домінуючих годографів інших типів хвиль.

Автор виділив відбиті хвилі від фундаменту в Чорному морі, які були скриті відбитими від осадової товщі хвилями-завадами. Виділений годограф чітко простежується на відстані. Для Азовського моря автор виділив годограф відбитої хвилі від границі Мохоровичича. Енергія хвилі – незначна і непомітна на хвильовому полі.

Визначення енергетичного потенціалу територій, глибинна деталізація будови нафтогазоносних регіонів, пояснення механізмів формування нафтогазових родовищ України з точки зору тектонічної будови, виявлення потенційних надглибоких флюїдонасичених областей є одним з прикладних рішень автора фундаментальної задачі по вченню будови літосфери. Здобувач приймав активну участь у 9 міжнародних проектах, де прокладено майже 5000 кілометрів сейсмічних профілів. У результаті аналізу отриманих польових даних та швидкісних моделей автор зробив висновки про спільні геотектонічні риси всіх нафтогазоносних регіонів України:

- нафтогазові родовища розташовані над крупними коро-мантійними тектонічними розломами першого порядку, менші – відгалужені розломами другого порядку, глибинні розломи – шляхи дегазації;

- пастки вуглеводнів є вторинним місцем накопичення вуглеводнів при сприятливих петрофізичних і структурних особливостях горизонтів, над усіма місцями спостерігається товстий шар осадових порід від 5 до 10 км. Мілкі приповерхневі розломи сприяють швидкому поширенню флюїдів у горизонтальному напрямку;

- швидкісні моделі (7.10 – 7.30 км/с), під нафтогазоносними територіями знаходяться на глибині 15 км, Чорному морі – 20 км, в Карпатах – 30 км.

Отримані глибинні швидкісні моделі будови геологічного середовища використовувались у науково-технічних роботах по забезпеченню сейсмічного захисту об'єктів життєдіяльності.

Розроблений метод по визначенню розломно-блокової структури геологічного середовища використано для рішення фундаментальної задачі геофізики – встановлення глибинної будови південно-східної частини України по лінії профілю DOBRE-99. Детальність методу, відповідає детальності сейсмічних даних, що дозволило вперше, перейти від загальних фізичних властивостей середовища до конкретної форми окремих геологічних тіл. Наведено приклади будови осадового чохла, кори, коромантійної суміші та верхньої частини мантії.

Зокрема, у будові границі Мохо виявляються складки стискання, насуви та характерні куполоподібні структури, які, можливо, пов'язані з мантійним діапїризмом. Розломи, що утворились на глибинах переходу кора – мантія, мають регіональний характер, безпосередньо впливають на блокову будову кори і формують Донецьку складчасту споруду. Спостерігаються два різні механізми формування середньої і нижньої кори під цією спорудою. У південно-західній частині переважали магматизм і стискання, у північно-східній – сили стискання з незначним проявом міжпластового магматизму і формуванням високошвидкісного тіла. Проведено співставлення швидкісної і геологічної моделі по лінії комбінованого профілю DOBRE-99/DOBRE-2, довжина якого 770 км. Вперше сейсмічні дані ГСЗ використовувались для комплексної геолого-геофізичної роботи по вивченню будови літосфери, тектонічних структур та перехідної зони різними підходами з глибиною аж до 220 км.

Сейсмічні дані СГТ, отримані на шахтних полях відрізняються більшою енергією корисних хвиль, відбитих від геологічних об'єктів, розломів, та підземних конструкцій. Результати інтерпретації цих даних методом визначення розломно-блокової структури геологічного середовища є інформативними. Контрастність середовища дозволяє відслідкувати малий градієнт згасання енергії сейсмічних хвиль, який гарантовано пов'язаний з локальними особливостями геологічної будови. В шахтних полях розломні структури є провідниками метану. В зонах розуцільнення накопичується метан, який попадає в шахтні споруди у вигляді не прогнозованих, викидів метану. Точне місцеположення підземних шахтних споруд необхідне для виявлення місця можливого проникнення метану в шахту. В дисертації методика використана для пошуку – розломів, монолітних блоків, зон розуцільнення та конструкцій штучного походження.

Тривимірні сейсмічні дані ГСЗ 3D були перераховані в поглинаючі властивості шахтного поля і представлені у вигляді серії вертикальних і горизонтальних зрізів сейсмічних профілів. Проведений аналіз співпадіння положення протяжних розломних зон у просторво-часових координатах кубу 3D.

Роздільна здатність методу дозволяє виділяти окремі розломи і блоки на глибинах (1 км) сейсмічних даних кубу 3D, де енергія сейсмічних хвиль є мінімальною.

Враховуючи великий тривимірний масив даних, запропоновано автоматизований метод пошуку нестационарних процесів у функціях згасання, які пов'язані з розломними зонами. Використання вейвлетних частотно-просторових перетворень для пошуку нестационарних процесів у функціях поглинання є раціональніше ніж перетворення Фур'є. Вейвлетні базиси можуть бути добре локалізованими як за частотою, так і за часом. Це дає змогу виділяти лише цільові нестационарні процеси з метою вивчення обраних об'єктів дослідження.

Наявність високочастотних компонент у частотно-часовому спектрі вказує на швидку зміну поглинальних властивостей, відсутність високочастотної

складової — на поступовість зміни поглинальних властивостей, що характерно для нахилених горизонтально-шаруватих середовищ.

Такі особливості частотно-часового спектра дають змогу використовувати вейвлет-аналіз для автоматичного пошуку в тривимірному масиві сейсмічних хвиль зон порушень у геологічних пластах і для побудови тривимірних матриць з інформацією про локалізацію лише розломів і тріщин або для пошуку монолітних блоків без прояву нестационарних.

Метод продемонстрував високу інформативність на сейсмічному матеріалі з безколекторного Дробишівського родовища покладів газу і газоконденсату. Були виявлені вертикальні розломно-блокові зони, наявність серії нахилених розломів, складкоутворення. В цілому, розріз представлений у вигляді геологічних об'єктів дає змогу відстежувати зміну поглинальних властивостей на невеликій ділянці горизонту і надає додаткову інформацію про локальну будову і шляхи міграції вуглеводнів.

У результаті проведених вишукувальних робіт на острові Зміїний було виявлено два розломи, азимути розповсюдження яких співпадають з відомими розломами – Голіцинським (яких по напрямку співпадає з Головними Азовським розломом) та Істрійським розломом.

Виявлені на острові Зміїному розломи (розриви) тісно пов'язані з розломами, які знаходяться в морській частині Скіфської плити. Зокрема, на формування острова, як тектонічної складки, мали вплив Головний Азовський розлом, Істрійським розлом та Тротус розлом.

Виявлені розломні зони, та їхній вплив на сейсмічність острова, загальна геологічна будова острова по лінії вишукувальних профілів є важливою складовою для фундаментальних та прикладних задач, зокрема будівництва різних споруд на острові.

Методика виявлення розуцільнених зон продемонструвала можливість виявлення протяжних об'єктів, асоційованих з крижкими розломами, як вертикального, так і близького до горизонтального напрямку розповсюдження. Основний індикатор наявності розломних зон – розташування поруч неузгоджених по затуханню ділянок геологічного середовища на великих відстанях. Запропонований метод дозволяє з високою точністю визначати місцеположення глибинних та мілких розломів, де наявна велика кількість тріщин, які неможливо виявити при використанні кінематичних сейсмічних методів.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів забезпечується:

- Математичними викладками при побудові розглянутих математичних моделей моніторингу;
- Застосуванням відповідних математичних методів при отриманні теоретичних оцінок параметрів розглянутих моделей;
- Використанням для отримання оцінки якості запропонованих моделей достовірних експериментальних цифрових даних;
- Узгодженістю результатів з експериментальними даними;

– Коректністю і збіжністю алгоритмів пошуку глобального мінімуму відхилення осей синфазності відбиттів від реперного горизонту в задачі визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки.

Наукове та практичне значення:

– Запропонована модель визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки застосовна в системах спотережень на природних і техногенних об'єктах, що підтверджено експериментальними даними і польовими спостереженнями.

– Модель визначення розломно-блокової структури геологічного середовища відкриває нові можливості в оцінці отриманих результатів у активному експерименті з точки зору збільшення співвідношення сигнал-завада, що відкриває нові можливості в сейсморозвідці.

– Реалізований метод дає можливість робити експрес-оцінку наявності покладів вуглеводів у короткий термін, не проводячи коштовних експериментів у задачах пошуку нафтогазоносних покладів за даними цифрових спостережень.

– Результати дисертаційної роботи мають широкий спектр використання – від інженерної геофізики до пояснення глибинної будови Землі.

– Більшість досліджень профілів ГСЗ перетнули нафтогазоносні області України та зони розломів, з якими пов'язані рудопрояви.

До недоліків роботи можна віднести:

1. Можливо потрібно було б приділити більше уваги питанням застосування запропонованого автором методу при оцінці покладів вуглеводнів у сейсморозвідці на певній кількості об'єктів на природних родовищах нафти і газу.

2. Добре було б приділити більше уваги теоретичним питанням щодо застосування спостережень до сейсмологічних даних. У прикладах апробації методу надто значна увага приділена інтерпретації геологічних спостережень на об'єктах досліджень.

3. Бажано більш докладно описати алгоритм і програму знаходження глобального мінімуму критерію віддаленості моделі від спостережених даних. Не зовсім зрозуміло, як використовується широке розмаїття розподілів при виборі можливих моделей.

4. У кінці кожного розділу висновки подані в повному вигляді, однак хотілося б бачити в дисертації представлену автором більш повну інформацію щодо змісту програмної реалізації обробки і інтерпретації у висновках до розділів.

5. У тексті мають місце описки: наприклад в авторефераті, не зважаючи на дуже якісне оформлення, – при написанні формули прямого перетворення Фурсе, при записі формули для подвійного симетричного спектру, незрозуміло, коли вживається термін «згасання», коли «загасання», русизм – «затухання» і т.п.

Не зважаючи на висловлені зауваження, наявність зауважень і недоліків – не є суттєвою і не знижує значення роботи в цілому.

Дисертація Гриня Дмитра Миколайовича – завершена робота, що задовольняє вимогам спеціальності «04.00.22 – Геофізика», відрізняється актуальністю, новизною і значимістю отриманих результатів, має велике теоретичне і практичне значення в сейсмології і сейсморозвідці об'єктів геологічного середовища, зокрема, із розломно-блоковою структурою. **Аналіз дисертації, автореферату та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дисертаційна робота «МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ РОЗЛОМНО-БЛОКОВОЇ СТРУКТУРИ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДАНИМИ СЕЙСМОРОЗВІДКИ» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, що має вагоме теоретичне і практичне значення, заслуговує позитивної оцінки, відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567), вимогам наказу № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та іншим нормативним актам Міністерства освіти і науки щодо докторських дисертацій, а автор дисертаційної роботи**

ГРИНЬ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

Офіційний опонент, доктор фізико-математичних наук, професор зі спеціальності «04.00.22 – Геофізика», професор кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів, професор відділу організації науково-дослідної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України, академік Української нафтогазової академії

Ю.П. Стародуб



Підпис затверджую

*Підпис засвідчує
Учений секретар
28.04.2021.*



Роман ЛАВРЕНЦЬКИЙ