

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

---

---

На правах рукопису

Ш П О Т

Юрій Андріанович

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА В НАСИЧЕНИХ  
ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ В УМОВАХ ПРУЖНОЇ ДІЇ

Спеціальність 04.00.12 — Геофізичні методи пошуків  
і розвідки родовищ корисних копалин

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата геолого-мінералогічних наук

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Інституті геології і геохімії горючих копалин  
Національної Академії Наук України

Наукові керівники: 1. Доктор геолого-мінералогічних наук

ЛИЗУН Степан Олексійович

2. Кандидат фізико-математичних наук

КОНДРАТ Василь Федорович

Офіційні опоненти: 1. Доктор ~~ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ~~ наук

ШУМАН Володимир Миколайович

(Інститут геофізики ім. С.І.Суботіна  
НАН України, м.Київ)

2. Доктор геолого-мінералогічних наук

СЕМДУЛІН Рустем Сулейманович

(Український державний геологорозвідувальний  
Інститут, м.Львів)

Провідна організація: Дніпропетровська гірнича академія

(м.Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "27" листопада 1995 р. о 14 годині

на засіданні спеціалізованої вченої ради К.09.02.04 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу

Адреса: 284019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15)

Автореферат розіслано "24" листопада 1995 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

доктор геолого-мінералогічних наук

Б.И.Маєвський

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00754915 (V)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. У розвитку сучасної геофізики важлива роль відводиться розробці нових методів пошуків нафти і газу та вивченню геологічної будови верхньої частини земної кори, які покликані розв'язувати задачі, що традиційними способами не вирішувалися, або вирішувалися з недостатньою точністю. Триває пошук нових інформативних параметрів, які дають змогу підвищити достовірність геофізичних досліджень, зокрема діагностики нафтогазоносних об'єктів у складних геологічних умовах та виявлення і параметризації різного роду неоднорідностей земної кори. У зв'язку з цим постає завдання встановлення взаємозв'язку вимірюваних фізичних величин з властивостями досліджуваного геологічного середовища. Перспективною в цьому плані є розробка та вдосконалення методів, що базуються на використанні ефектів взаємодії фізичних полів різної природи - в першу чергу електромагнітного та поля пружних коливань.

У зв'язку з цим важливого значення набуває математичне моделювання процесів взаємодії полів різної фізичної природи, яке дозволяє провести оцінку вкладів різних механізмів взаємовпливу механічного та електромагнітного полів в інтегральний спостережуваний ефект, виділити нові інформативні параметри, встановити їх зв'язок з геологічними характеристиками середовища. Таким чином створюються передумови для подальшого розвитку методів взаємодії полів та теоретичних основ інтерпретації результатів досліджень.

Мета роботи - виявлення нових інформативних параметрів геофізичних досліджень методами взаємодії полів шляхом математичного моделювання механоелектромагнітних процесів у пористому насиченому середовищі та натурна апробація отриманих теоретичних залежностей. У зв'язку з цим були визначені наступні завдання досліджень:

1. З використанням принципів та методів термодинаміки незворотних процесів, механіки і електродинаміки суцільних середовищ отримати співвідношення математичної моделі для опису взаємозв'язаних механічних та електромагнітних процесів і процесів тепломасопереносу в пористих насичених середовищах.

2. На основі розробленої математичної моделі провести вивчення впливу механічних коливань на основні механізми утворення потенціалів спонтанної поляризації у флюїдонасичених середовищах як теоретичної основи віброгеоелектричних досліджень.

3. Провести теоретичний опис та дослідження генерації ЕМВ при утворенні подвійного електричного шару як одного з основних механізмів електромагнітної емісії напружених водонасичених середовищ та впливу на неї механічних коливань.

4. На основі модельних уявлень розробити елементи методики геофізичних досліджень методом вібростимульованого електромагнітного випромінювання Землі.

Фактичний матеріал і методи досліджень. В основу дисертації покладено результати теоретичних модельних досліджень та матеріал, зібраний автором в ході польових робіт за час роботи в ІПТГК НАН України в 1990-1994 р.р. Теоретичні побудови базувалися на використанні методів термодинаміки незворотних процесів, механіки і електродинаміки суцільних середовищ. Польові роботи проводилися методом реєстрації природного та вібростимульованого електромагнітного випромінювання, методика робіт розроблялася нами відповідно до поставлених задач. Обробка результатів теоретичних та натурних досліджень проводилася з використанням ПЕОМ. Робота виконувалася в плані тематики ІПТГК НАНУ, що проводилася в рамках програми НАН України "Нафтогазоутворення і нафтогазоносність". Матеріали дисертації увійдуть у кінцевий звіт по темі "Розробка

основ теорії і методика нетрадиційного комплексування і комбінування фізичних полів при геофізичній розвідці нафтогазоносних об'єктів" (№ ДР ІА01001899Р).

Наукова новизна роботи:

1. Побудована математична модель, яка описує у взаємозв'язку механічні, концентраційні, електромагнітні та теплові поля в пористих насичених середовищах та дозволяє вивчати різні ефекти взаємодії цих полів.

2. Запропонована дифузійна модель процесу утворення подвійного електричного шару на межі контакту рідина-тверда фаза; отримані співвідношення опису електромагнітного випромінювання, генерованого при становленні подвійного електричного шару, як одного з механізмів електромагнітної емісії водонасичених гірських порід.

3. На основі розв'язку модельних задач досліджено вплив механічних коливань у різних діапазонах частот на механізми формування дифузійно-адсорбційної та фільтраційної складових потенціалів спонтанної поляризації у водонасичених гірських породах.

4. В натурних умовах отримано широкомасштабні ефекти впливу механічних коливань на електромагнітне випромінювання Землі. Результати спостережень на площах з добрим геологічним вивченістю показали високий ступінь відповідності аномалій спостережуваного поля до ділянок з аномальним механічним станом.

Положення, що виносяться на захист:

1. Вплив механічних коливань та ефекти, створені зовнішніми чинниками на потенціали ОП та електромагнітну емісію насичених гірських порід можуть описуватися за допомогою розробленої системи рівнянь механотермоелектродифузії пористого насиченого середовища.

2. Утворення подвійного електричного шару та його активація

супроводжується імпульсним електромагнітним випромінюванням, що дозволяє пояснити природну та вібростимульовану електромагнітну емісію напружено-деформованих ділянок земної кори; параметри випромінювання пов'язані з характеристиками середовища.

3. Механізми формування потенціалів спонтанної поляризації суттєво залежать від частотного діапазону зовнішньої дії. Їх вібраційна зміна тісно пов'язана з емісно-фільтраційними характеристиками гірської породи та типом флюїду, що її насичує.

4. Періодичний вплив пружної енергії на поверхню геологічного середовища ініціює в ньому різномасштабні ефекти, що викликають вторинні геоелектромагнітні поля в енергетично активних зонах - нафтогазових покладах та областях з аномальним механічним станом.

Практична цінність роботи. Розроблена математична модель може бути використана для подальшого дослідження широкого кола експериментально спостережуваних ефектів і явищ взаємовпливу стаціонарних та динамічних процесів деформування, тепломасопереносу, електропровідності, виділення на цій основі нових інформативних параметрів та розробки методів геофізичних досліджень.

Результати дослідження впливу вібрації на фільтраційні та дифузійно-адсорбційні потенціали можуть бути використані для оцінки віброелектромагнітних ефектів у різних діапазонах параметрів зовнішньої дії і при розробці інтерпретаційних основ віброелектричних досліджень.

Отримані спектральні характеристики електромагнітного випромінювання при утворенні та заповненні розчином електроліту тріщин у гірських породах можуть бути використані для визначення діапазонів частот, на яких доцільно проводити вивчення вібростимульованого електромагнітного випромінювання Землі та оцінки глибини отримуваної інформації.

Теоретичні уявлення про електромагнітну емісію водонасичених гірських порід стали основою для проведення польових робіт і розвитку методу вібростимульованого електромагнітного випромінювання Землі. Цими дослідженнями було зrealізовано принципово новий підхід до використання інформації, яку несе зі собою електромагнітне випромінювання - для діагностики наявності вуглеводнів і параметризації неоднорідностей типу зон з аномальним механічним станом.

#### Апробація роботи і публікації.

Основні результати роботи доповідалися на науково-технічній конференції "Сейсмічні методи пошуку і розвідки родовищ корисних копалин" (Київ, 1991), 2-ій і 3-ій міжнародній нараді "Інженерно-фізичні проблеми нової техніки" (Москва, 1992, 1994), нараді-семінарі з проблем розвитку геологорозвідувальних і видобувних робіт у Західному регіоні України (Івано-Франківськ, 1992), квілєйній науковій конференції, присвяченій 40-річчю фізичного факультету ДДУ (Львів, 1993), 3-му семінарі "Нетрадиційні методи вивчення неоднорідностей Земної кори" (Москва, 1993), 16-му симпозиумі "Вібрації у фізичних системах" (Познань-Блажеєво, 1994), науково-практичній конференції "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України" (Львів, 1995).

Основний зміст роботи викладено в 13 публікаціях.

Об'єм і структура роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків і списку літературних посилань. Текст викладений на 134 сторінках машинописного тексту, ілюстрації складають 25 рисунків і 1 таблицю. Список літературних посилань містить 165 назв.

Висловлюю щирю вдячність за всебічну підтримку та цінні поради при виконанні роботи науковим керівникам доктору геол.-мін. наук С.О.Лизуну та кандидату фіз.-мат. наук В.Ф.Кондрату.

## ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ присвячений розгляду сучасного стану проведених досліджень взаємодії фізичних полів різної природи у геологічному середовищі та їх фізико-геологічних основ, які зараз стають особливо важливими у зв'язку з необхідністю створення сучасних високоефективних методів геофізичних досліджень. Як поверхневі, так і свердловинні, вони дають змогу розширити коло розв'язуваних задач прикладної та розвідувальної геофізики.

Явища взаємодії сейсмічних коливань та електромагнітного поля вивчалися ще у першій половині ХХ століття, коли було виявлено сейсмоелектричний ефект (СЕЕ) першого, а пізніше (Г.Я.Іванов, 1940) і другого роду. Перша спроба послідовного теоретичного пояснення СЕЕ II роду була зроблена Я.І.Френкелем, який розглядав рух рідини в порах при проходженні пружних коливань через водонасичене пористе середовище. Надалі СЕЕ II роду в різноманітних гірських породах в залежності від їх властивостей, механічного стану, вивчалися як в лабораторних, так і в польових умовах багатьма авторами, серед яких відзначимо роботи М.С.Анциферова, А.А.Кокорева, О.Л.Кузнецова, Д.Н.Лящука, М.І.Мігунова, Е.І.Пархоменко, Г.Я.Черняка та інших відомих вчених. Ці роботи створили основу використання сейсмоелектричного ефекту для розв'язання ряду геофізичних задач.

Вивчення електромагнітного випромінювання (ЕМВ), зумовленого механоелектричними процесами, становить самостійний інтерес, зокрема у зв'язку з розвитком методів дослідження напруженого стану гірських порід. Ці питання знайшли широке відображення в роботах М.С.Перельмана, Н.Г.Хатташвілі, В.В.Іванова, Ш.Р.Мастова та ін. У кристалічних породах електромагнітна емісія пов'язується, в основному, з релаксацією зарядової мозаїки на берегах новоутворених

тріщин, а у водонасичених - з виникненням подвійних електричних шарів та зміною їх електричних параметрів.

Механічні коливання впливають на процеси переносу - фільтрацію порової рідини і дифузії іонів через гірську породу. У зв'язку з існуванням подвійних електричних шарів на межі контакту порова рідина - твердий каркас породи це повинно привести до зміни фільтраційних та дифузійно-адсорбційних потенціалів у полі механічних коливань (віброелектричні ефекти), що і спостерігалось на практиці (А.М.Булошников та ін.,1987, І.М.Куровець та ін.,1992).

Серед основних механізмів віброелектричних ефектів відзначимо зміну площі внутрішньої поверхні породи та пов'язаної з нею величини адсорбованого заряду, вібраційну зміну стану зв'язаної води в порах та енергії активації дифузії іонів, виникнення акустичних потоків та спричинений ними вплив на коефіцієнти проникності породи та дифузії частинок. Відзначимо, що хоча дослідження впливу механічних коливань на процеси фільтрації та дифузії досить широко представлені в літературі (М.Е.Архангельський, 1967, Ю.С.Адепков, 1989 тощо), вивчення впливу вібрації на розподіл електричних полів у породах представлено поодинокими роботами (А.Л.Колосов, А.М.Тупчієнко, 1992, Г.Л.Вашкиров, Ю.Г.Соботка, 1993), в яких практично не розглядаються фізичні механізми явищ.

Відомо, що нафтогазовий поклад характеризується специфічним набором фізико-хімічних і геологічних умов та зміною фізичних властивостей порід. Неоднорідність властивостей та стану порід може спричинюватись також порушеннями суцільності (розломами тощо) та іншими причинами. В таких областях формуються специфічні зони розподілу механічних напружень, перетоків рідини, електричних та магнітних полів. Зовнішні вібраційні впливи техногенного та природного походження на ці зони приводять до зміни їх стану,

що проявиться у збуренні відповідних геофізичних полів, зокрема електромагнітного, в яких закладена інформація про стан і процеси, що сформувалися в цих областях.

З огляду на вищесказане, вивчення впливу механічних коливань на розподіл та величину електромагнітних полів у гірських породах, дослідження основних фізичних механізмів такого впливу, розробка відповідних математичних моделей процесів, зокрема, придатних для інженерних розрахунків, є актуальною проблемою сучасної геофізики.

В другому розділі проводиться побудова математичної моделі пористого насиченого середовища, в якому мають місце взаємозв'язані електромагнітні, механічні, теплові та дифузійні процеси.

Розглянемо статистично однорідне та ізотропне пористе насичене рідиною середовище. Матеріал твердофазного каркасу є пружним неферомагнітним  $n$ -компонентним поляризованим твердим розчином, а порова рідина -  $n$ -компонентним розчином електроліту. Вважається, що характерні розміри пор і зерен такі, що для опису фізико-механічних процесів у рідині і каркасі застосовні наближення механіки та електродинаміки суцільних середовищ. У цьому випадку повна система співвідношень для опису у взаємозв'язку механічних, теплових, дифузійних та електромагнітних процесів у пористому середовищі включає рівняння балансу маси, імпульсу, ентропії, рівняння електромагнітного поля, визначальні рівняння для кожної з компонент та відповідні контактні умови на поверхні розділу фаз і початкові умови.

Така система рівнянь дозволяє визначити всі характеристики шуканих полів, однак практично знайти розв'язок цієї системи неможливо, особливо для складної конфігурації порового простору. Крім того, функції, що входять до цих рівнянь, не вимірюються за

допомогою традиційних вимірювальних пристроїв. Вимірюваними є величини, усереднені по деякій просторовій області. У зв'язку з цим отримана система рівнянь для усереднених величин, для чого було використано метод просторового усереднення, традиційний для механіки гетерогенних середовищ.

$$\begin{aligned} & \alpha_j \rho^{(j)} d_j \vec{c}_k^{(j)} / dt + \operatorname{div} [\alpha_j \vec{j}_k^{(j)}] = j_{1j}^k; \\ & \alpha_j \rho^{(j)} d_j \vec{v}_k^{(j)} / dt = \operatorname{div} \hat{\sigma}_r + \vec{R}^{(j)} + \alpha_j \rho_e^{(j)} \vec{E}_*^{(j)} - \alpha^{(j)} \operatorname{grad} P^{(1)} + \\ & + \alpha_j [\vec{j}^{(j)} + \partial \vec{P}^{(j)} / \partial t] \times \vec{B} + \sum_{m=1}^3 P_m^{(j)} \vec{\nabla} E_{*m}^{(j)} + \alpha_j \rho^{(j)} \vec{P}^{(j)}; \\ & \rho^{(j)} T^{(j)} \alpha_j d_j S^{(j)} / dt = - \operatorname{div} (\alpha_j \vec{q}^{(j)}) - Q_s^{(j)} + \alpha_j \rho^{(j)} \vec{R}^{(j)} + \\ & + [\hat{\Pi}^{(j)} d_j (\alpha_j \hat{e}_d^{(j)}) / dt + \vec{R}^{(j)} (\vec{v}_n - \vec{v}^{(j)})] \partial_{1j} + \alpha_j \rho^{(j)} \vec{E}_*^{(j)} d_j \vec{P}^{(j)} / dt + \\ & + \sum_{k=1}^n \alpha_j \vec{j}_k^{(j)} [e_k \vec{E}_*^{(j)} + \vec{P}_k^{(j)} - \operatorname{grad} \mu_k^{(j)} - d_k (\vec{v}_k^{(j)} - \vec{v}^{(j)}) / dt]; \quad (2.1) \end{aligned}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} + \partial \vec{B} / \partial t = 0; \operatorname{div} \vec{B} = 0; \operatorname{rot} \vec{H} - \vec{j}^{(j)} + \partial \vec{D} / \partial t = 0; \operatorname{div} \vec{D} = \rho_e; \quad (2.2)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}, \vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \epsilon = \sum_{i=1}^n \alpha_i \epsilon_i, \vec{E}_*^{(j)} = \vec{E} + \vec{v}^{(j)} \times \vec{B};$$

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_r = & \alpha_2 \left[ (K_r - \frac{2}{3} G_r) e^{(2)} \hat{1} + 2 G_r \hat{e}^{(2)} + \nu_r [P^{(1)} - \alpha_t^{(2)} (T^{(2)} - T_0^{(2)}) + \right. \\ & \left. + \sum_{k=1}^{n-1} \beta_k^{(2)} (C_k^{(2)} - C_{k0}^{(2)}) + b^{(2)} (\vec{E}_{*p}^{(2)} - \vec{E}_{*p0}^{(2)})^2 \right] \hat{1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^{(j)} = & \rho_0^{(j)} \left[ 1 - \beta^{(j)} P^{(j)} + \alpha_t^{(j)} (T^{(j)} - T_0^{(j)}) + \sum_{k=1}^{n-1} \beta_k^{(j)} (C_k^{(j)} - C_{k0}^{(j)}) + \right. \\ & \left. + b^{(j)} (\vec{E}_{*p}^{(j)} - \vec{E}_{*p0}^{(j)})^2 \right]; \quad P^{(2)} = P^{(1)} - (1/\alpha_2) \sigma_r; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S^{(j)} = & [C^{(j)} / T^{(j)} + (\alpha_t^{(j)})^2 \nu_r K_r \rho^{(j)}] (T^{(j)} - T_0^{(j)}) + \Phi^{(j)} + \alpha_t^{(j)} / \rho^{(j)} \times \\ & \times \nu_r K_r b^{(j)} (\vec{E}_*^{(j)} - \vec{E}_{*0}^{(j)})^2 - \sum_{k=1}^{n-1} \left[ d_k^{(j)} - \frac{\nu_r K_r \beta_k^{(j)} \alpha_t^{(j)}}{\rho^{(j)}} \right] (C_k^{(j)} - C_{k0}^{(j)}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_k^{(j)} = & \sum_{m=1}^n \left[ d_{km}^{(j)} + \frac{\nu_r K_r \beta_k^{(j)} \beta_m^{(j)}}{\rho^{(j)}} \right] (C_m^{(j)} - C_{m0}^{(j)}) + \frac{\beta_k^{(j)}}{\rho^{(j)}} \nu_r K_r b^{(j)} \times \\ & \times (\vec{E}_*^{(j)} - \vec{E}_{*0}^{(j)})^2 + [d_k^{(j)} + \nu_r K_r \beta_k^{(j)} \alpha_t^{(j)} / \rho^{(j)}] (T^{(j)} - T_0^{(j)}) + M_k^{(j)}; \end{aligned}$$

$$\vec{P}^{(j)} = \chi^{(j)} \epsilon_0 (\vec{E}_*^{(j)} - \vec{E}_{*0}^{(j)}) - 2b^{(j)} / \rho^{(j)} (\vec{E}_*^{(j)} - \vec{E}_{*0}^{(j)}) [P_k^{(j)} - \nu_r K_r (\alpha_t^{(j)})]$$

$$\times \left[ T^{(j)} - T_0^{(j)} \right] + \sum_{k=1}^n \beta_k^{(j)} \left[ C_k^{(j)} - C_{k0}^{(j)} \right] + b^{(j)} \left[ \vec{E}_*^{(j)} - \vec{E}_{*0}^{(j)} \right]^2 \Big]; \quad (2.3)$$

$$j = \sum_{j=1}^n \alpha_j j^{(j)}, \quad j^{(j)} = \sum_{k=1}^n e_k j_k^{(j)} + \rho_e^{(j)} v^{(j)};$$

$$\begin{aligned} \vec{q}^{(j)} = & -\lambda^{(j)} \text{grad } T^{(j)} + \sum_{k=1}^n L_{qj}^{(kj)} \left[ e_k \vec{E}_*^{(j)} + \vec{F}_k^{(j)} - \text{grad } \mu_k^{(j)} - \right. \\ & \left. - d_k (\vec{v}_k^{(j)} - \vec{v}^{(j)})/dt \right] + L_{qR}^{(j)} \left[ \vec{v}^{(1)} - \vec{v}^{(j)} \right] + L_{qp}^{(j)} \vec{E}_{*1}^{(j)}; \\ \vec{R}^{(j)} = & A^{(j)} \left[ \vec{v}^{(1)} - \vec{v}^{(j)} \right] + L_{Rq}^{(j)} \text{grad } T^{(j)} + L_{Rp}^{(j)} \vec{E}_{*1}^{(j)} + \\ & + \sum_{k=1}^n L_{Rj}^{(kj)} \left[ e_k \vec{E}_*^{(j)} + \vec{F}_k^{(j)} - \text{grad } \mu_k^{(j)} - d_k (\vec{v}_k^{(j)} - \vec{v}^{(j)})/dt \right]; \\ d_p^{(j)}/dt = & \chi_1^{(j)} \vec{E}_{*1}^{(j)} + L_{pq}^{(j)} \text{grad } T^{(j)} + L_{pp}^{(j)} \left[ \vec{v}^{(1)} - \vec{v}^{(j)} \right] + \\ & + \sum_{k=1}^n L_{pj}^{(kj)} \left[ e_k \vec{E}_*^{(j)} + \vec{F}_k^{(j)} - \text{grad } \mu_k^{(j)} - d_k (\vec{v}_k^{(j)} - \vec{v}^{(j)})/dt \right]; \\ \vec{j}_k^{(j)} = & \sum_{m=1}^n D_{Rj}^{(jm)} \left[ e_m \vec{E}_*^{(j)} + \vec{F}_m^{(j)} - \text{grad } \mu_m^{(j)} - d_m (\vec{v}_m^{(j)} - \vec{v}^{(j)})/dt \right] + \\ & + L_{jR}^{(j)} \left[ \vec{v}^{(1)} - \vec{v}^{(j)} \right] + L_{jq}^{(j)} \text{grad } T^{(j)} - L_{jp}^{(j)} \vec{E}_{*1}^{(j)}; \quad (2.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{U} = \eta \hat{d}_d^{(1)}/dt; \quad Q_d^{(j)} = & L^{(j)} (T^{(1)} - T^{(j)}); \quad j_k^{jk} = \alpha_k (\tilde{\mu}_k^{(1)} - \tilde{\mu}_k^{(j)}); \\ \hat{e}^{(2)} = & \frac{1}{2} \left[ \vec{\nabla} \vec{U}^{(2)} + \left( \vec{\nabla} \vec{U}^{(2)} \right)^T \right] \quad (2.5) \end{aligned}$$

Система рівнянь записана з використанням гіпотези, що  $\vec{E}^{(1)} \sim \vec{E}^{(1)}$ ,  $\vec{E}^{(1)} \sim \vec{E}$ ,  $\vec{H}^{(1)} \sim \vec{H}^{(2)} \sim \vec{H}$ . Тут індекс  $j=1$  відповідає рідині,  $j=2$  - твердій фазі, нижній індекс  $k$  - номер компонента;  $\alpha_j$ ,  $\rho^{(j)}$  - пористість і густина;  $\frac{d_j}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v}^{(j)} \vec{\nabla}$  - повна похідна по часу;  $\vec{\nabla}$  - оператор Гамільтона;  $C_k^{(j)}$  - концентрація;  $\vec{j}_k^{(j)}$  - вектор густини потоку маси;  $J_{ij}^k$  визначає масообмін між фазами;  $\vec{v}_k^{(j)}$  - швидкість;  $P^{(1)}$  - тиск;  $R^{(j)}$  - густина теплових джерел;  $\rho_e^{(j)}$  - густина вільних електричних зарядів;  $e_k$  - питомий заряд іонів;  $\vec{E}_*^{(j)}$  - вектор напруженості електричного поля у системі відліку центра мас  $j$ -ої фази;  $\hat{\sigma}_f$  - тензор ефективних напружень;  $\vec{j}^{(j)} = \sum_{k=1}^n e_k \vec{j}_k^{(j)} + \rho_e^{(j)} \vec{v}^{(j)}$  - густина електричного струму;  $\vec{P}^{(j)}$ ,  $\vec{V}$ ,  $\vec{F}^{(j)}$  - вектори поляризації, індукції магнітного поля та масових сил;  $T^{(j)}$ ,  $S^{(j)}$  - абсолютна температура і питома ентропія;  $\vec{q}^{(j)}$  і  $Q_d^{(j)}$  - вектор густини потоку

тепла та середній потік тепла через поверхню розділу фаз;  $\hat{p}^{(j)}$ - тензор в'язких напружень;  $\hat{e}_d$ - дівіатор тензора деформації  $\hat{e}_{1j}$ ;  $\delta_{ij}$ - символ Кронекера;  $\vec{P}^{(j)} = \vec{P}^{(j)}/\rho^{(j)}$ ;  $\mu_k^{(j)}$ - хімічний потенціал;  $E, H, D, B$  - вектори напруженості та індукції електричного та магнітного полів;  $\epsilon_0$  і  $\mu_0$ - електрична і магнітна сталі;  $\epsilon$  - діелектрична проникність;  $K_f, G_f$ - модулі стиску і зсуву;  $\hat{i}$  - одиничний тензор,  $\nu_f$ - зцементованість каркасу;  $\beta_k^{(2)}, b^{(2)}$  і  $\alpha_t^{(j)}$ - концентраційний, електрострикційний і термічний коефіцієнти об'ємного розширення;  $\beta^{(j)}$ - стисливість;  $d_{km}^{(j)}$  і  $d_k^{(j)}$ - концентраційний і температурний коефіцієнти зміни хімічного потенціалу;  $\chi^{(j)}$ - діелектрична сприйнятливість;  $\lambda^{(j)}$ - коефіцієнт теплопровідності;  $L_{qj}^{(kj)}$ - кінетичні коефіцієнти;  $D_{Rj}^{(j)}$ - коефіцієнт дифузії;  $\eta$  - коефіцієнт в'язкості;  $\alpha_k$ - коефіцієнт, що характеризує перенос маси між фазами;  $\tilde{\mu}_k^{(j)}$ - електрохімічний потенціал;  $\vec{U}^{(2)}$ - вектор переміщення;  $\Phi^{(1)} = -\frac{\alpha_t^{(1)}}{\rho^{(1)}} P_*^{(1)}, \Phi^{(2)} = -\frac{\alpha_t^{(2)}}{\rho^{(2)}} P_q^{(2)}, M_k^{(1)} = -\frac{\beta_k^{(1)}}{\rho^{(1)}} P^{(1)}, M_k^{(2)} = -\frac{\beta_k^{(2)}}{\rho^{(2)}} P_q^{(2)}, P_q^{(1)} = -P^{(1)}, P_q^{(2)} = K_f e^{(2)} - (1 - \nu_f) P^{(1)}$ .

Отримана система рівнянь враховує різні ефекти взаємодії механічних, теплових, концентраційних та електромагнітних полів і може бути прийнята за основу при вивченні таких ефектів. При розгляді стаціонарних періодичних процесів у пористих середовищах використовувався метод часового усереднення, який дозволяє вивчати як періодичні в часі, так і усереднені складові шуканих полів.

Надалі перейдемо до розгляду конкретних задач, рівняння для розв'язування яких в частинними випадками наведеної системи (2.1)-(2.5).

В третьому розділі на основі записаної системи рівнянь розглядається математична модель, що описує подвійний електричний шар при його становленні та у стаціонарному стані. Утворення ПЕШ

супроводжується імпульсним електромагнітним випромінюванням, характеристики якого залежать від параметрів середовищ. Цей механізм електромагнітної емісії може бути визначальним при утворенні та рості тріщин у напружено-деформованих масивах водонасичених гірських порід.

З використанням інтегральних перетворень Лапласа одержано розв'язок поставленої задачі і проведено його аналіз. Встановлено, зокрема, що отримані характеристики стаціонарного розподілу зарядів подвійного електричного шару та його залежність від концентрації електроліту добре корелюють з відомими в літературі, що свідчить про коректність прийнятої континуальної моделі.

Вивчення динаміки подвійного електричного шару показало, що його потенціал росте в часі, асимптотично наближаючись до свого найбільшого значення. Час фактичного становлення шару залежить від складу та концентрації розчиненої речовини, а значення його електричного потенціалу - від її природи та природи і властивостей контактуючих тіл. При цьому суттєва відмінність величин коефіцієнтів дифузії частинок в твердому тілі та рідкій фазі і приповерхневий характер розподілу збурення концентрації в твердій фазі дозволяє не розглядати дифузію іонів у ній, а частину ПЕШ в твердому тілі трактувати як поверхневий (адсорбований) шар іонів.

Отримано та проаналізовано вирази для векторів електромагнітного поля в провідному середовищі типу водонасичених гірських порід при локальному утворенні в ньому подвійного електричного шару скінченної площі, зумовленому, наприклад, тріщиноутворенням. Встановлено, що випромінювання носить імпульсний характер, параметри якого визначаються характеристиками рідкої та твердої фаз - концентраціями електроліту, різницею хімічних потенціалів іонів, провідність та діелектричною проникність середовища. При зникненні

концентрації розчину максимум інтенсивності випромінювання зміщується в бік більших часів, зростає його тривалість і знижується амплітуда. Це можна пояснити зменшенням кількості носіїв заряду, які приймають участь у формуванні подвійного електричного шару.

Аналіз амплітудно-частотних характеристик електромагнітного випромінювання показав, що основний вклад у величину сигналу при зростанні провідності середовища та віддаленні від джерела випромінювання роблять низькочастотні складові - до 100 кГц, тому дослідження найдоцільніше проводити в цьому діапазоні.

Емісія гірських порід (імпульсне електромагнітне випромінювання) виникає при тріщиноутворенні, інтенсивність якого залежить від напруженого стану. З використанням відомих співвідношень кінетичної теорії міцності отримані вирази для інтенсивності ЕМВ в залежності від величини початкових статичних та амплітуди вібраційних напружень. Проведені оцінки енергії вібростимульованої електромагнітної емісії показали, що випромінювана енергія збільшується з ростом статичних напружень. Відносна зміна енергії при зростанні амплітуди коливань не залежить від рівня статичних напружень, тому в області з вищим рівнем вихідних напружень має місце більший абсолютний приріст енергії випромінювання. Таким чином, напружено-деформовані області земної кори повинні характеризуватися підвищеним рівнем вібростимульованого ЕМВ.

Четвертий розділ присвячений дослідженню впливу механічних коливань на фільтраційний та дифузійно-адсорбційний потенціал - основні складові природного електричного поля. Порівняльна кількісна оцінка вкладу різних складових в рівняннях електромеханіки та механоелектродифузії, які використовуються для опису цих ефектів і одержуються як частковий випадок системи рівнянь (2.1) - (2.5), дозволила виділити найважливіші з цих складових  $i_1$  в ре-

зультаті, спростити вихідні рівняння. Встановлено, що розглядувані віброелектричні ефекти пов'язані, в основному, зі зміною кінетичних характеристик пористого середовища, а саме його проникності та ефективних коефіцієнтів дифузії іонів.

Використання методу часового усереднення дозволило розділити задачі визначення гармонічних та усереднених складових збуджуваного вібрацією електричного поля. Дослідження останніх є важливим при розробці віброелектричних свердловинних та поверхневих досліджень, зокрема, для пошуку та розвідки покладів вуглеводнів.

Вивчення віброелектричних ефектів фільтраційної та дифузійно-адсорбційної природи проводилося як для низьких, так і для високих частот. При цьому залежності коефіцієнта проникності середовища та дифузії частинок від параметрів коливань отримувалися або на основі аналізу відповідних експериментів, або шляхом розв'язування модельних задач.

Встановлено, що при низьких частотах, коли можна знехтувати інерційними силами, фільтраційний потенціал збільшується пропорційно квадрату амплітуди коливань. Для великих амплітуд (сотні атмосфер) відносна зміна  $U_{\phi}$  може складати 100% і більше; для створених пересувними сейсмовібраційними джерелами динамічних напружень така зміна складає одиниці або перші десятки відсотків.

Для високих частот, коли інерційні ефекти суттєві, відносно-го збільшення фільтраційного потенціалу на сотні відсотків можна досягнути при амплітудах коливань менше однієї атмосфери. Віброелектричний ефект при цьому росте зі збільшенням частоти і суттєво залежить від структури порового простору. Встановлено існування області значень параметра  $\nu I^{1/2}$  (де  $\nu$  - частота, а  $I$  - інтенсивність коливань), для якої має місце найбільша зміна фільтраційного потенціалу, що важливо при розробці методик віброелек-

тричних досліджень.

Вивчення впливу низькочастотних механічних коливань на дифузійно-адсорбційні потенціали (ДАП) базується на використанні відомих експериментальних даних про залежність дифузійно-адсорбційної активності середовища від механічних статичних напружень. Екстраполяція цих даних на низькочастотні коливання дозволяє встановити, що усереднена складова ДАП зменшується з ростом амплітуди коливань, однак її відносна зміна навіть для  $\sigma_a = 3 \cdot 10^7$  Па складає лише одиниці процентів. Періодична складова ДАП частоти вібрації може переважати сейсмoeлектричний потенціал електрокінетичної природи, що вказує на важливість його врахування при низькочастотних сейсмoeлектричних дослідженнях.

Для високочастотних коливань показано, що їх вплив на ДАП пов'язаний, в основному, з віброзміною ефективної рухливості іона в середовищі. Це дозволяє використати для визначення усередненої складової ДАП вирази, за формою аналогічні тим, що записуються у відсутність коливань.

Проведені кількісні дослідження потенціалу  $U_{да}$  для систем розчин електроліту - порода - розчин електроліту, розчин електроліту - порода, порода - порода показали, що віброелектричний ефект проявляється лише для достатньо великих інтенсивностей (амплітуд) коливань  $i$ , в залежності від кінетичних властивостей породи, може проявлятися як в зростанні, так і в зменшенні ДАП, і навіть в зміні його знаку. Відносні зміни потенціалу, в залежності від амплітуд коливань, можуть складати від одиниць до сотень відсотків. Порівняння отриманих результатів з відомими з літератури даними експерименту (Г.Л.Башкиров, В.Г.Соботка, 1992) виявляє добре їх узгодження.

П'ятий розділ. З метою експериментальної перевірки правиль-

ності сформованих модельних уявлень нами були виконані натурні дослідження природного та вторинного електромагнітного випромінювання. Джерелом імпульсного електромагнітного випромінювання Землі (ІЕМВЗ) є масиви гірських порід, в яких під дією механічних напружень має місце тріщиноутворення та інші фізико-механічні процеси. Напруження можуть мати різну природу: літостатичний тиск, тектонічні сили, гідродинамічні і структурні тиски, а також техногенні зрушення. Розподіл електромагнітного поля на поверхні Землі буде залежати як від тектонічної будови об'єктів досліджень, так і від типу флюїдонасичення, зокрема від наявності вуглеводнів. Це дає можливість використати дослідження ІЕМВЗ для виявлення та параметризації тектонічних порушень і для розв'язання ряду задач нафтогазової геофізики.

Нами розроблена методика вивчення геологічних об'єктів шляхом реєстрації природного та вібростимульованого ІЕМВЗ, причому виділено такі інформативні параметри, як інтенсивність випромінювання та характеристики її азимутального розподілу. Дослідження проводилися на площах з добре вивченою геологічною будовою: Угерсько, Любеля та Лудин. Угерське газове родовище використовується як підземне газосховище з певним режимом наповнення та споживання газу, тому воно було нами використане як природна модель для вивчення впливу наявності вуглеводнів на розподіл природних та вібростимульованих електромагнітних полів. На площах Любеля та Лудин метод ІЕМВЗ був використаний для виявлення та уточнення локалізації тектонічних порушень.

Дослідження ІЕМВЗ на підземному газосховищі Угерсько проводилися при різній заповненості газом. Виділено ряд аномалій, більшість з яких припадає на замкову частину родовища і лінію насуву. В кінці циклу заповнення інтенсивність генерації в замковій

частині знижується, при цьому цей процес інтенсифікується над пекрикліналями. Зони активізації випромінювання при вібрації добре корелюють з ділянками профілю, де виникає аномалія ІЕМВЗ зі збільшенням газонаповненості. Отже, можна стверджувати, що вібростимуляція ІЕМВЗ дозволяє локалізувати ділянки з підвищеною фільтраційною здатністю, які при нормальних умовах не виділяються.

На Любельській площі метод ІЕМВЗ був використаний для виявлення малоамплітудних розривних порушень. Всі відомі на цій площі розломи, виділені за геологічними і сейсмічними даними, відбиваються в полі ІЕМВЗ. Крім того, вдалося впевнено зафіксувати кілька розломів, які не виділяються іншими методами. Оцінюючи глибинність методу в цьому районі, можемо стверджувати, що виділені зони аномальних механічних напружень, пов'язаних з розломами, простежуються у товщах мезозойських відкладів, чого раніше зробити не вдавалося. Вібраційна активація кожного з блоків, розділених розломами, супроводжувалася змінами параметрів вторинного поля, насамперед, інтенсивності його генерації; максимальна інтенсивність генерації ЕМВ у кожному з блоків припадала на інший діапазон частот вторинного випромінювання; для кожного блоку характерний свій час релаксації післявібраційного ЕМВ. Отримані результати дозволяють з впевненістю стверджувати, що вібростимульоване ЕМВ несе інформацію про механічний стан окремих неоднорідностей геологічного середовища, дозволяє параметризувати їх. Вирішення цих задач лише на основі природного ЕМВ є практично неможливим.

Розподіл інтенсивності ІЕМВЗ по профілю 1-Д Лудинської площі в діапазоні частот 2-50 кГц характеризується рядом локальних чітко виражених екстремумів, деякі з яких підтверджуються вимірюваннями, проведеними під час вібрації. Перехід до нижчих частот спостереження (17 та 2-5 кГц) супроводжується виродженням окремих

екстремумів, однак те, що деякі аномалії стабільно простежуються у всіх діапазонах частот, свідчить що: а) вимірюване поле спричинене неоднорідністю в геологічному середовищі; б) частотне зондування дозволяє відфільтрувати псевдоаномалії, спричинені поверхневими процесами, або процесами у приповерхневій області.

Стабільні екстремуми ІЕМВЗ, які спостерігалися на всіх діапазонах частот, та зміщення аномалії з ПК 21 (2-50 кГц) до ПК 32 (2-5 кГц) однозначно свідчить про її зв'язок з просторовим розташуванням виділеного за геологічними даними тектонічного порушення. Вихід розривного порушення до поверхні відображається ділянкою максимальної ізотропії вимірюваного поля і зміною напрямку максимальної інтенсивності ІЕМВЗ.

Таким чином, на прикладі цих польових досліджень показано, що головним критерієм виявлення зон напруженого стану гірських порід методом ЕМВ є наявність аномалій інтенсивності ІЕМВЗ, які зберігаються при вібродії і проявляються при спостереженнях в різних діапазонах частот. Додатковим критерієм служить зменшення анізотропії ІЕМВЗ і різка зміна напрямку максимальної інтенсивності випромінювання.

#### ВИСНОВКИ

1. З використанням уявлень і співвідношень термодинаміки незворотних процесів, механіки і електродинаміки суцільних середовищ, методу просторового усереднення отримана повна система рівнянь математичної моделі для опису взв'язаних механічних, електромагнітних, теплових та дифузійних процесів у пористих насичених середовищах. Врахування різного роду параметрів уможливило опис широкого кола явищ, що мають місце у реальних гірських породах при різних зовнішніх та внутрішніх умовах. На цій основі проведено комплекс досліджень динамічних процесів в околі контак-

ту різномірних середовищ та впливу механічних коливань на електричні поля, спричинені процесами переносу заряджених частинок в пористих насичених середовищах.

2. Аналіз розв'язку задачі про становлення подвійного електричного шару на межі контакту різномірних середовищ показав, що:

а) Застосований континуальний підхід адекватно відображає основні закономірності становлення і стаціонарного розподілу ПЕШ.

б) Електромагнітне поле, пов'язане з утворенням подвійного електричного шару при тріщиноутворенні в насичених породах, відіграє суттєву роль у формуванні їх електромагнітного випромінювання.

в) Абсолютна зміна інтенсивності електромагнітного випромінювання, зумовлена вібрацією, більша в областях з підвищеним рівнем напружень, що дозволяє використати метод природного електромагнітного випромінювання для локалізації напружених ділянок верхніх шарів земної кори, зокрема, пов'язаних з покладами вуглеводнів; дослідження доцільно проводити на частотах менше 100 кГц.

3. Низькочастотні механічні коливання застосовуваних на практиці інтенсивностей приводять до несуттєвих змін усереднених складових фільтраційних та дифузійно-адсорбційних потенціалів, натомість їх гармонічні складові частоти зовнішньої дії можуть переважати сейсмoeлектричний потенціал електрокінетичної природи.

4. В області частот, де важливу роль відіграють динамічні ефекти, відносні зміни фільтраційного та дифузійно-адсорбційного потенціалів можуть досягати десятків і сотень відсотків і суттєво пов'язані з структурними характеристиками порового простору, що створює передумови їх практичного використання.

5. Польові роботи, проведені на природній моделі - газовому сховищі Угерсьько, показали можливість ефективного використання

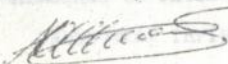
методу вібростимульованого електромагнітного випромінювання Землі при діагностиці покладів вуглеводнів у процесі їх експлуатації: інтенсивність випромінювання залежить від ступеня газонаповненості родовища в цілому, параметри випромінювання дозволяють локалізувати зони підвищеної фільтрації газу.

6. На підставі польових досліджень природного та вібростимульованого електромагнітного випромінювання Землі на площах з добре вивченою геологічною будовою показано, що розроблюваний метод дозволяє успішно виділяти різного роду ділянки з аномальним механічним станом - зони підвищених напружень, тектонічні порушення, розломи, поклади вуглеводнів, та проводити їх параметризацію.

#### ОСНОВНІ РОБОТИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шпот Ю.А. Збурення концентраційних та електричного полів в околі контакту різнорідних середовищ //Геол. і геохім. гор. копалин. - 1993. - N 1(82). - С.79-83.
2. Шпот Ю.А. Вплив пружних коливань на фільтраційні потенціали /В.Ф.Кондрат //Геол. і геохім. гор. копалин. - 1993.- N 2-3 (83-84). - С.130-133.
3. Шпот Ю.А. Вплив пружних коливань на дифузійно-адсорбційні потенціали (високі частоти) /В.Ф.Кондрат //Геол. і геохім. гор. копалин. - 1994.- N 1-2(86-87).- С.98-101.
4. Шпот Ю.А. Електромагнітне випромінювання гірських порід як результат формування подвійного електричного шару /В.Ф.Кондрат //Геол. і геохім. гор. копалин.- 1994.- N 3-4(88-89).-С.80-87.
5. Шпот Ю.А. О влиянии внешнего электрического поля на распространение сейсмических волн в слоистых средах /В.Ф.Кондрат, С.О.Лизун //Сб.тез.докл. науч.-техн.конф. "Сейсмические методы поиска и разведки месторождений пол. иск.". - Киев,1991.- С.26.
6. Шпот Ю.А. Механоелектрические эффекты на границе раздела по-

- ристых насыщенных сред /В.Ф.Кондрат, С.О.Лизун, Я.И.Лопушанский, Д.Н.Ляшук //Тез.докл. II Всес.совет.- сем. "Инженерно-физические проблемы новой техники". - М., 1992. - С. 148.
7. Шпот В.А. Некоторые результаты разработки каротажа методом "Вибро-ПС" /И.М.Куровец, Г.П.Косьяненко, Ю.И.Барабаш //Там же, С. 156.
8. Шпот В.А. Вивчення ефектів взаємодії полів методами фізичного моделювання /В.Г.Соботка, Г.Л.Вашкіров //Тез. докл. Наради-семинару з проблем розвитку геологорозвідувальних і видобувних робіт у Західному регіоні України.-Івано-Франківськ,1992.-С.38.
9. Шпот В.А. Электродиффузионные процессы в пористых насыщенных телах в условиях действия пружных колебаний /В.Ф.Кондрат //Тез. докл. Двiл. наук. конф., присв. 40-річчю фіз. ф-ту. - Львів, 1993.- С.116.
10. Шпот В.А. Виброэлектрический эффект в пористых насыщенных средах и его использование в ГИС /В.Ф.Кондрат, В.Г.Соботка //Тез. докл. III семинара "Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры".- Москва, 1993.- С.46-47.
11. Шпот В.А. Динамика становления двойного электрического слоя и электромагнитное излучение /В.Ф.Кондрат //Тез.докл. III Междунар. совет. "Инженерно-физические проблемы новой техники".- Москва, 1994.- С.162-163.
12. Шпот В.А. Электромагнітне випромінювання насичених гірських порід при дії вібрації //Тез. доп. і повід. наук.-практ.конф. "Стан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України". - Львів, 1995.- С.138-139.
3. Shpot Ju. A. Vibration-electrical phenomena in the porous media contact region /V.F.Kondrat //Vibration in physical systems. XVIIth Symposium. Abstracts.- Poznan - Blazejewko, 1994.- P.187-188.



Шпот Ю.А. Электромагнитные явления в насыщенных горных породах в условиях упругого воздействия.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.12 - геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, Ивано-Франковский гос. тех. университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1995.

Защищается рукопись диссертации, которая содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязанных механических, электромагнитных и диффузионных процессов в пористых насыщенных средах (горных породах). Разработана математическая модель для описания таких процессов. Установлено, что вибростимулированное электромагнитное излучение горных пород может быть использовано для локализации и параметризации зон с аномальным механическим состоянием.

Shpot Ju.A. Electromagnetic phenomena in saturated rocks in elastic action circumstances.

Thesis on the achievement of geological sciences candidate scientific degree on the specialization 04.00.12 - geophysical methods of search and exploration of fossil fields, Ivano-Frankivsk State Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1995.

There is defended manuscript of thesis containing results of theoretical and experimental investigations of correlated mechanic, electromagnetic and diffusion processes in porous saturated media (rocks). Mathematical model describing such processes was developed. It was established that stimulated by vibration electromagnetic radiation of rocks can be used for localization and parametrization of anomalous mechanic state zones.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, потенціал спонтанної поляризації, механічні коливання.

Підписано до друку 20.ІІ.95.Формат 60x84/16.  
Обсяг I друк.лист.Зам.629.Тир.100.Незплатно.  
Львів.Личаківська 3.Друкарня УАД.



152881

БЕЗПЛАТНО

В 33.622  
**АВ 33.622**