УДК 550.834:550.836

# Спосіб прогнозування покладів вуглеводнів за сейсмічними та геотермічними даними

С. Г. Семенова *, С. М. Єсипович, А. Д. Бондаренко, О. А. Рибак
*ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна*

Прогнозування покладів вуглеводнів сейсморозвідкою та за геотермічними даними провадиться завдяки дослідженню сліду дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), який завжди утворюється над покладами нафти та газу і складається з відновлювальної (безпосередньо над покладом) та окислювальної (вище за розрізом) зон цієї області. За сейсмічними та геотермічними властивостями ці зони відрізняються від тих, що оточують та покривають їх.

**Ключові слова:** поклад вуглеводнів, слід дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), відновлювальна та окислювальна зони області СДЕП, епігенетичні зміни відкладів, сейсмічний ефект, теплове поле

© С. Г Семенова, С. М. Єсипович, А. Д. Бондаренко, О. А Рибак. 2015

Запропонований спосіб належить до комплексу методів сейсморозвідки та геотермії і може бути використаний для прогнозування та розвідки покладів різних видів вуглеводнів (ВВ): нафти, газу, газоконденсату, — незалежно від виду ВВ, типу пастки (антиклінальна чи не антиклінальна чи інших видів), віку ВВ, глибини залягання пастки та інших умов.

Відомо багато геологічних, геофізичних, геохімічних, геотермічних та інших методів пошуку та розвідки покладів ВВ, але успіх їх залежить від сприятливих геологічних умов залягання пасток ВВ: незначних глибин їх розташування (до 2–3 *км*), значних потужностей та пористості колектора, однорідності його за вмістом, структури, а також за порівняно невеликого рівня геологічних та технічних завад.

Основою пошуку покладів ВВ геофізичними та геологічними методами розвідки є зміна фізичних властивостей колектора продуктивного горизонту при заміні в ньому пластової рідини на ВВ, оскільки відомо, що ВВ характеризуються іншими значеннями щільності, жорстких властивостей, та інших характеристик. Крім того, в покладах ВВ, навколо їх та над ними відбуваються різного виду геологічні, фізичні, хімічні, геотермічні та інші процеси, які також впливають на пошукові ознаки покладів ВВ.

Одним з сейсмічних способів пошуку та розвідки покладів ВВ, є спосіб Тимошина Ю. В. та Семенової С. Г. (за патентом України [8]), який базується на фіксації сейсмічного ефекту не тільки від самого покладу ВВ, а також від епігенетично змінених відкладів продуктивного розрізу, які завжди утворюються в середовищі навколо та над накопиченнями нафти та газу. Такий підхід призводить до збільшення розмірів досліджуваного об'єкта, що вміщує поклад ВВ, наближення його до поверхні спостереження, а тому зменшення завад та збільшення можливостей і точності пошуку ВВ.

Нагадаємо про суть цього підходу.

Навколо та над покладами ВВ завжди утворюються епігенетично змінені відклади розрізу з відмінними від ВВ фізичними властивостями внаслідок зміни в продуктивному розрізі геохімічного потенціалу середовища. Останнє відбувається завдяки міграції (фільтрацією на контактах, ефузією та дифузією вгору по розрізу) з покладу частини ВВ [9, 11 та ін.] та подальшому руйнуванню, окисленню, перетворенню їх з віддаленням від покладу. З цих епігенетично перетворених відкладів утворюється так званий слід дифузійно-ефузійного потоку (СДЕП) — зі зміненими фізичними, в тому числі сейсмічними, тепловими та іншими характеристиками порід. Цей об'єкт (СДЕП) поділяється на дві зони [8]: відновлювальну, яка утворюється безпосередньо над покладом ВВ (відомо, що ВВ — відновнювальники за геохімічним потенціалом), та окислювальну, яка замінює відновлювальну зону вище за розрізом (рис.), оскільки при руйнуванні, окислюванні ВВ в пластову рідину виділяються такі речовини, як CO, $CO_2$, різні рослинні кислоти, що підвищують окислювальний потенціал середовища.

Структура СДЕП над покладами ВВ залежить від виду ВВ: над покладом нафти потужність відновлювальної зони складає лише 200–300 *м*, над покладом газу — 500–600 *м* і може досягати значно більших розмірів залежно від складу, та будови осадового чохла.

Окислювальна зона над нафтовими покладами значно більша за розміром, ніж відновлювальна зона — 2.0–3.0 *км*, і часто досягає денної поверхні.

Над газовими накопиченнями окислювальнана зона змінюється в різних розмірах: від нуля, де в умовах добре проникного осадового чохла відновлювальна зона може досягати денної поверхні, а окис-

* Тел. +380 44 482 19 32

Online ISSN 2313-2132

лювальна ще не встигає утворитися, до різних розмірів для покладів, що залягають в інших геологічних умовах.

Зони області СДЕП відрізняються між собою також фізичними властивостями завдяки різному складу епігенетичних створень та процесів, що відбуваються в них.

У *відновлювальній зоні* області СДЕП з розчину пластової рідини випадають в осад нерозчинні в цьому середовищі щільні та акустично жорсткі епігенетичні мінерали і сполучення: сульфати, карбонати, ванадати, сульфіди та інші. Це призводить до збільшення над покладами ВВ щільності, акустичних властивостей пластів, які вміщують ці рідини. Крім того, в відновлювальному середовищі відбувається оглеєння глинистих порід: винос з них основної маси заліза, які перетворює їх у більш пухкі, пористі сполучення зі зменшенням значень їхньої щільності, пружних характеристик. В хемогенних товщах на рівні інтенсивної вторинної кальцитизації, ангідритизації, перекристалізації в відновлювальному середовищі, окремі прошарки стають внаслідок цього більш щільними, пористість їх різко зменшується, а акустична жорсткість зростає. Тобто відновлювальна зона області СДЕП над покладами ВВ стає більш літолого-мінералогічно та фізично диференційована. Підвищена диференційованість товщі відновлювальної зони та збільшені в цілому її ефективні значення щільності та акустичної жорсткості призводить до зростання коефіцієнту відбиття сейсмічної хвилі (ВХ) від неї [13]. Тому над покладами ВВ часто спостерігається зростання амплітуди та частоти ВХ: поява покладами ВВ так званої *"яскравої плями"*.

У *окислювальній зоні* області СДЕП при підвищеному вмісті в пластовій рідині CO, $CO_2$, різних рослинних кислот відбувається часткове розчинення породоутворюючих мінералів, сполучень (карбонатів, сульфатів, силікатів та ін.), тобто створення більш пористих порід. в межах щільних, акустично жорстких утворень. В той же час менш проникні акустично "м'які" глинисті відклади, наповнюючись продуктами цього розчинення, стають ще більше непроникними, а акустично більш жорсткими. До останнього призводять також висипки епігенетичних акустично жорстких мінералів, характерних для відновлювального середовища, яке місцями утворюється в непроникних глинистих відкладах і в окислювальній зоні СДЕП за рахунок наявності мігруючих ВВ, що місцями накопичуються тут. Таким чином, відклади різного складу, структури в окислювальній зоні зменшуються за контрастністю фізичних властивостей аж до нівелювання та інверсії. В зв'язку з цим спостерігається пониження, аж до зникнення, інтенсивності ВХ: поява "пунктирних" ліній синфазності, *хаотичності сейсмічних записів, "сліпих плям"* над покладами ВВ в інтервалі окислювальної зони області СДЕП.

На утворення вторинних епігенетичних сполучень в пластовій рідині потрібна додаткова енергія, яка поступає з оточуючого середовища в вигляді тепла. Як відзначається у "Курсе минералогии" А. Г . Бетехтіна [1] "кристаллизация жидких фаз начинается при некотором переохлаждении", тобто епігенетичне перетворення відкладів в відновлювальній зоні призводить до *зниження рівня теплового полю в відновлювальній зоні* області СДЕП.

Оскільки відновлювальна зона області СДЕП над газовими покладами буває значна за розмірами і досягає часто денної поверхні, то над газовими покладами в цьому випадку спостерігається зменшення рівня теплового поля, що і відзначається в деяких випадках появою від'ємних значень зміни температури над покладом ВВ на денній поверхні [4, 14].

*У окислювальній зоні області СДЕП* при протіканні окислювальних процесів над ВВ з виділенням в пластову рідину CO, $CO_2$, відбувається зростання тепла [6, 2, 7, 10], тобто в цьому інтервалі осадового чохла спостерігається *підвищення рівня теплового поля*.

Коли окислювальна зона над покладом ВВ досягає денної поверхні, над покладом ВВ фіксується підвищене додатне теплове поле.

Таким чином, над покладами ВВ на денній поверхні фіксуються додатні теплові поля головним чином над нафтовими покладами, якщо створювана область СДЕП з окислювальною зоною значної потужності досягає денної поверхні.

Над газовими покладами, де створювана область СДЕП з відновлювальною та окислювальною її зонами, і окислювальна зона над якими досягає денної поверхні, також фіксується додатне теплове поле.

Над газовими покладами, що розташовані на невеликій глибині, або тими, що знаходяться в осадовому чохлі з пористими, добре проникними відкладами і над якими вище відновлювальної зони області СДЕП ще не встигає створитися окислювальна зона, на денній поверхні фіксується від'ємне теплове поле. Це й фіксується в ряді випадків [4]: на одній з площ Волзько-Уральського нафтогазового басейну зафіксовані позитивні теплові поля в межах нафтових покладів і від'ємні — на більшості нафтогазових накопичень. Автор роботи вважає, що від'ємні геотермічні поля над нафтогазовими покладами пов'язані з ендотермічними процесами, які супроводжують виділення газу з нафти або з міграцією газу в бік низького тиску. Таким чином, утворення від'ємних теплових ефектів над газовими покладами, очевидно, відбувається в геологічних провінціях, де осадовий чохол значно пористий або тріщинуватий і тому добре проникний для газу, що дифундує з покладу аж до денної поверхні, утворюючи відновлювальну зону області СДЕП значної потужності.

Як відмічається в роботах [6, 2, 7, 10], температура відкладів, геотермічний градієнт, теплові потоки над покладами ВВ зростають, контури нафтогазо-

носності за даними геотермії часто збігаються з тими, що встановлені свердловинами.

Додатні аномалії температури над покладами ВВ складають від одиниць до перших десятків градусів Цельсія на глибині 10–25 *м* і до перших десятків градусів на глибині 1000–2000 *м*, що свідчить про протікання окислювальних процесів в покладах та над ними з виділенням при цьому тепла [2]: $\Delta T = f(CO_2)$ — ці кореляційні відношення автори пояснюють екзотермічними процесами при деструкції нафти та газу. Підвищенні додатні теплові поля поблизу денної поверхні пояснюють мікробіологічним окисленням газових ВВ, що мігрували з покладів [6, 2, 7, 10].

В роботі [10] показано, що *на периферії продуктивної структури* спостерігаються *від'ємні теплові поля* за рахунок, як вважають автори, розподілення температури усередині покладу, створення внаслідок "конвекции внутри залежи" прошарку "локальной температурной депрессии" в межах контакту покладу (водо-нафтового та газо-водного контактів — ВНК та ГВК). Так прошарки були виявлені авторами в межах усіх досліджених нафтогазових площ Дагестану і Калмикії. Оскільки відомо, що на контактах покладу ВВ при зміні геохімічного потенціалу з відновлювального в покладі на окислювальний за його межами відбувається значне епігенетичне мінералоутворення, то бачимо демонстрацію того факту, що створення нових вторинних сполучень супроводжуються поглинанням тепла з оточуючого середовища.

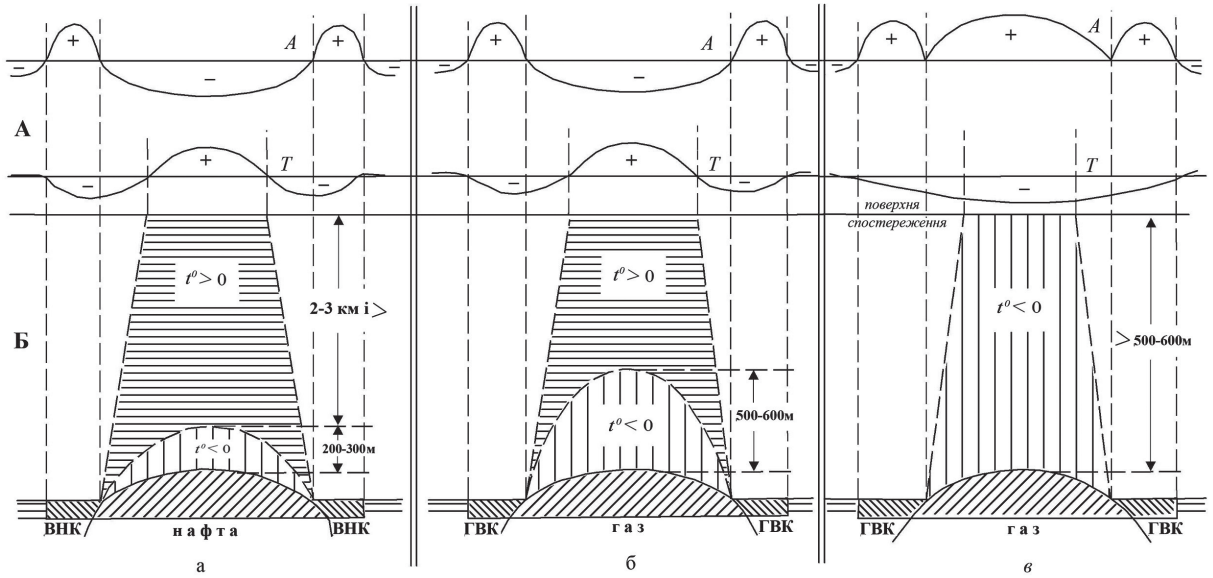
*Підвищення рівня теплового поля* в продуктивному горизонті *за межами ВНК і ГВК* викликано появою в пластовій рідині CO, $CO_2$ завдяки *біохімічному окислюванню* покладу ВВ анаеробними бактеріями, що існують в за рахунок енергії вуглеводу і кисню мінеральних сполучень продуктивного горизонту [3, 7].

Роботи, що були проведені в самих різних районах, показали зв'язок геотермічного режиму надр з наявністю в них покладів ВВ. Це дає можливість геотермічної розвідки на родовища ВВ [6].

Таким чином, наявність в геологічному середовищі покладів ВВ, з завжди мігруючою з них частиною речовини, призводить до зміни навколо та над ними геохімічного потенціалу середовища. Самі ВВ, відновлювальники за геохімічним потенціалом, при розповсюджуванні від покладу руйнуються та окислюються. Це змінює геохімічний потенціал середовища від відновлювального безпосередньо над покладами ВВ до окислювального вище за розрізом, а також в продуктивному горизонті за межами контуру покладу. Зміна геохімічного потенціалу середовища в продуктивному розрізі призводить до епігенетичних перетворень відкладів навколо та над покладом ВВ за складом та структурою, що відображається в фізичних (окремо сейсмічних та геотермічних) полях.

У сейсмічному полі продуктивного горизонту поклад ВВ відображається мінімумом амплітуд ВХ, який обрамляється різкоградієнтними максимумами параметру в областях ВНК та ГВК. на контактах покладу (рисунок — розділ А).

У сейсмічному полі над покладом ВВ: в його покрівлі та в відновлювальній зоні області СДЕП, — відмічається максимум амплітуд ВХ, який вище по розрізу, через нейтральне поле змін амплітуд ВХ переходить в хаотичне, або в майже від'ємне поле




Структура сейсмічного і геотермічного полів у геологічному розрізі, що містить поклади вуглеводнів (ВВ).
**А** — графіки зміни амплітуди (*А*) відбитої сейсмічної хвилі і температури (*Т*) над покладами ВВ на поверхні спостереження; **Б** — структура сейсмічного і геотермічного полів в розрізі над покладом ВВ (в області сліду дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), поза контактами покладів і на денній поверхні.
1 — поклади ВВ, 2 — області контактів: ВНК — водно-нафтового, ГВК — газоводного; області СДЕП: 3 — відновлювальна, 4 — окислювальна

зміни амплітуд ВХ в окислювальній зоні області СДЕП.

У геотермічному полі в геологічному розрізі безпосередньо навколо покладу ВВ: в покрівлі покладу, в межах ВНК та ГВК, у відновлювальній зоні області СДЕП, де відбувається інтенсивне епігенетичне мінеральне новоутворення з поглинанням теплової енергії з оточуючого середовища, — відмічається зменшення рівня його значень. З віддаленням від покладу ВВ: за межами його контактів та над покладом ВВ, в окислювальній зоні області СДЕП, де завдяки механічному та біохімічному окислюванні мігруючих ВВ в пластовій рідині з'являються продукти цього окислювання з виділенням теплової енергії в оточуюче середовище, відмічається підвищений рівень додатного теплового полю.

Таким чином, залежно від того, який вид ВВ в пастці, на якій глибині вона розташована, який характер епігенетичних змін відкладів відбувається навколо покладу та над ним, в області СДЕП, на поверхні спостереження теплового поля буде відмічатися додатне чи від'ємне його значення.

Характер зміни сейсмічного та геотермічного фізичних полів в розрізі та на денній поверхні дає можливість прогнозувати наявність покладів ВВ в геологічному розрізі та в ряді випадків вид ВВ: нафта, газ чи нафтогаз [5, 6, 13 та ін.].

### Література


1. Бетехтин А. Г. Курс минералогии / А. Г. Бетехтин. — М., 1956. — 87 с.
2. Геотермические поиски полезных ископаемых / Лялько В. И. [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1979. — 146 с.
3. Гмид Л. П. Єпигенетическое минералообразование в зонах ВНК как показатель времени формирования залежи / Л. П. Гмид // Тр. ВНИГРИ. — Л., 1978. — С. 50–56.
4. Ерофеев В. Ф. О природе тепловых аномалий Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна / В. Ф. Ерофеев // Советская геология. — 1969. — С. 81–91.
5. Есипович С. М. К оценке перспектив нефтегазоносности некоторых участков Азовского моря / С. М. Есипович, С. Г. Семенова, О. И. Семенец // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2010. — № 3 (21). — С. 20–28.
6. Кутас Р. И. Тепловое поле Украины / Р. И. Кутас, В. В. Гордиенко. — К.: Наук. думка, 1971. — 140 с.
7. Малашенко Ю. Р. Участие микроорганизмов, окисляющих газообразные углеводороды в круговороте углерода в биосфере / Ю. Р. Малашенко, В. А. Романович, В. И. Лялько // Изв. АН СРСР. Сер. биол. — 1975 — № 5. — С. 682–693.
8. Патент України UA21783A. Спосіб пошуку покладів вуглеводнів сейсморозвідкою / Тимошин Ю. В., Семенова С. Г.; опубл. 1998, Бюл. № 2.
9. Прямые геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений в СРСР / В. А. Алексеев [и др.] // Тр. ВНИИЯГТ. — 1968. — вып. 4. — С. 5–57.
10. Сардаров С. С. Тепловой поток, формируемый нефтегазоносными структурами / С. С. Сардаров, В. В. Суетнов // Советская геология. — 1975. — № 2. — С. 122–126.
11. Соколов В. А. Геохимия природных газов / В. А. Соколов. — М.: Недра, 1971. — 334 с.
12. Спектральные свойства объемных интерференционных волн в литосфере / О. М. Харитонов. — К.: Наук. думка, 1988. — 240 с.
13. Тимошин Ю. В. Перспективы прямих поисков глубокозалегающих залежей углеводородов / Ю. В. Тимошин, С. Г. Семенова, Є. А. Скворцова // Докл. АН УССР, серия "Б" геологич., химич. и биологич. науки. — 1988. — № 7. С. 20–24.
14. Gupta R. P. Satellite data can cost effectively show oil field thermal anomalies/ R. P. Gupta, R. Chakraborty and A. K. Awasthi //Oil and Gas Jour. — 2009. — Nov. 2, — pp. 26–27.


СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ И ГЕОТЕРМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

С. Г. Семенова, С. М. Есипович, А. Д. Бондаренко, Е. А. Рыбак

Прогнозирование залежей углеводородов по сейсмическим и геотермическим данным проводится благодаря исследованию следа диффузионно-эффузионного потока (СДЭП), который всегда образуется над залежами нефти и газа и состоит из восстановительной (непосредственно над залежью) и окислительной (выше по разрезу) зон этой области. По сейсмическим и геотермическим свойствам эти зоны отличаются от тех, что окружают или покрывают их.

**Ключевые слова:** залежь углеводородов, след диффузионно-эффузионного потока (СДЭП), восстановительная и окислительная области СДЭП, эпигенетические изменения отложений, сейсмический эффект, тепловое поле

METHOD OF HYDROCARBON ACCUMULATION DEPOSITS PREDICTION BY THE SEISMIC AND GEOTHERMAL DATA

S. V. Semenova, S. M. Esypovich, A. D. Bondarenko, O. A. Rybak

The prediction of the hydrocarbons accumulation deposits by the seismic survey and geothermal data of the territory are conducted due to research of the trail of diffusion-effusion flux (TDEF), which is always formed over the oil deposits and consist of zone of reduction (directly over the deposits) and zone of oxidation (above a distribution of the deposits). According to seismic and thermal properties, these zones, as well as hydrocarbon accumulation deposits, differ from higher sediments which cover them.

**Key words:** hydrocarbon accumulation, the trail of diffusion-effusion flux (TDEF), reduction and oxidation zones TDEF region, epigenetic changes sediments, seismic effect, thermal field

Online ISSN 2313-2132