

УДК 550.832

М.С. БОНДАРЕНКО

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України
просп. Палладіна, 32, Київ, 03680, Україна

**НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
ГЕОФІЗИЧНИХ СВЕРДЛОВИННИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАФТОГАЗОВИХ КОЛЕКТОРІВ
І ТЕХНОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**За матеріалами наукового повідомлення на засіданні Президії НАН України
7 листопада 2012 року**

Наведено принципові положення нової технології дослідження нафтогазових колекторів в обсаджених і необсаджених свердловинах на основі комплексу нейтрон-нейтронного, гамма- і акустичного каротажу. Представлено ключові елементи нової технології визначення розширеної сукупності петрофізичних параметрів техногенних геологічних об'єктів – золівідвалів і хвостосховищ на базі комплексу гамма-, гамма-гамма і нейтрон-нейтронного каротажу. За результатами випробувань показано високу інформативність і ефективність запропонованих технологій, які ґрунтуються на використанні низки новітніх способів і приладів, захищених патентами України.

Ключові слова: каротаж, нафтогазовий колектор, золівідвал, хвостосховище, петрофізичні, інженерно-геологічні, техногенні параметри.

**НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ГЕОФІЗИЧНИХ
СВЕРДЛОВИННИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАФТОГАЗОВИХ КОЛЕКТОРІВ**

Актуальність створення нової технології. Підвищення ефективності розвідки й видобування вуглеводнів (нафта, газ, конденсат) є важливим завданням паливно-енергетичного комплексу України. Геофізичні свердловинні дослідження (ГСД) слугують основним засобом виявлення продуктивних пластів-колекторів і визначення їхніх параметрів у розрізі нафтогазових свердловин, під час ревізії свердловин старого фонду, а також для контролю розроблення нафтогазових родовищ.

Серед методів ГСД особливе місце належить радіоактивному каротажу (РК) у складі нейтрон-нейтронного каротажу (НК), гамма-каротажу (ГК) і гамма-гамма каротажу (ГГК), перевагами якого є універсальність застосування (дослідження розрізу як необсаджених, так і обсаджених сталевую колоною свердловин), значна інформативність, широке розповсюдження, високий рівень апаратури та її інтерпретаційно-методичного забезпечення. Через складність об'єктів доцільним є поєднання методів, зокрема РК і акустичного каротажу (АК). Методи РК і АК мають різну фізичну основу, тому їх спільне застосування значно підвищує інформативність і достовірність визначень параметрів колекторів.

Нові прилади НК як основа технології. В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна (ІГФ)

© М.С. Бондаренко, 2013

НАН України запропоновано нову технологію дослідження нафтогазових колекторів на базі комплексу РК і АК. Основою розробленої технології є найновіші у світі способи і прилади НК, захищені 15 патентами України. Такі прилади [наприклад, 1–6] одночасно реалізують в одному зондовому пристрої три модифікації НК: за повільними нейтронами, за надтепловими нейтронами та за кадмієвою різницею. На сьогодні в ІГФ НАН України разом із ЗАТ Київський завод «Геофізприлад» виготовлено прилади типу СНК: СНК-89, СНК-76, СНК-73 і створено для них метрологічне та інтерпретаційно-методичне забезпечення [7–10]. Фото приладу СНК-76 наведено на рис. 1.

Нові прилади НК порівняно із серійними (зокрема, з широко розповсюдженими приладами типу СРК) мають покращені геофізичні характеристики [3, 4, 7–10]:

- підвищену швидкість лічби нейтронів (зменшену статистичну похибку);
- поліпшену диференціацію пластів;
- збільшену глибинність досліджень, що зменшує вплив свердловинних чинників;
- розширений вибір інтерпретаційних параметрів залежно від поставленого завдання;
- підвищену чутливість: 1) до водневмісту (для визначення пористості колекторів), 2) до хлорної мінералізації порового флюїду (для визначення характеру насичення вода–нафта);
- можливість одночасного визначення кількох петрофізичних параметрів (пористість, характер насичення, літологічні особливості та ін.).

Прилади пройшли випробування в нафтогазових свердловинах, де завдяки покращеним геофізичним характеристикам показали підвищену інформативність і ефективність порівняно з серійними аналогами.

Як приклад на рис. 2 наведено діаграми ГК і НК для двократно обсадженої газової свердловини. Видно, що новий прилад забезпечує, зокрема, підвищену швидкість лічби нейтронів, краще диференціює розріз і значно чіткіше виділяє газонасні пласти.

Нові прилади дають також можливість розділяти пласти на колектори і неколектори. Про це свідчать кросплоти — взаємозалежності (обернених) показань двох зондів в умовних («водяних») одиницях для серійного і нового приладів НК, одержані в необсадженої свердловині. Основна відмінність кросплотів двох приладів полягає в тому, що серійний прилад відображує досліджуваний розріз як один об'єкт, витягнутий праворуч і вгору зі збільшенням пористості, а новий дає змогу отримати кросплот, «розщеплений» на три об'єкти: щільні породи (вапняки); пласти-колектори (пісковики) і високоглибинні породи-неколектори. Отже, нові прилади ефективніші під час оцінювання літології.

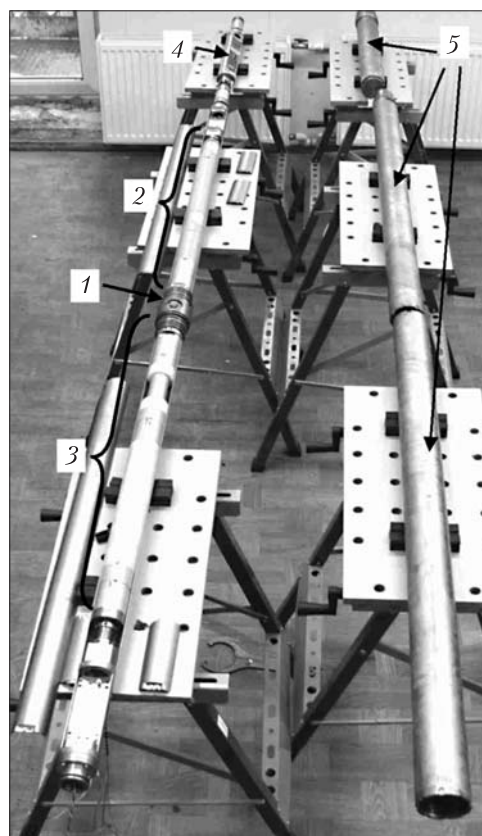


Рис. 1. Загальний вигляд нового приладу СНК-76: 1 — камера джерела нейтронів, 2 — блок детектування повільних нейтронів, 3 — блок детектування надтеплових нейтронів, 4 — блок електроніки, 5 — захисний кожух приладу

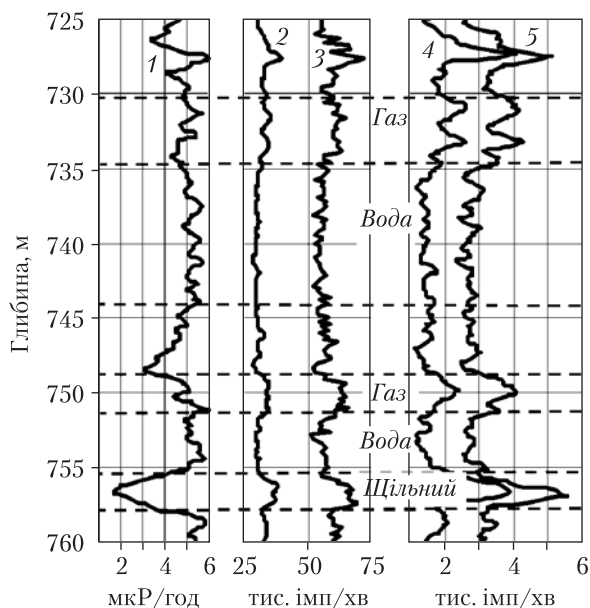


Рис. 2. Діаграми радіоактивного каротажу в газовій свердловині старого фонду ГК (1) і НК (2–5); менший (МЗ) і більший (БЗ) зонди серійного (2, 4) і нового (3, 5) приладів

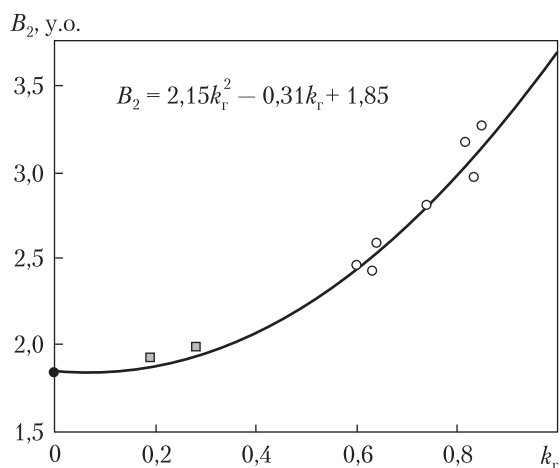


Рис. 3. Інтерпретаційна залежність для визначення коефіцієнту газонасиченості $d_{\text{св}} = 216$ мм, $d_{\text{кол}} = 168$ мм. Пласти: ○ – газонасичені, ● – водонасичені, ■ – обводнені

Нові способи визначення петрофізичних параметрів. Важливою складовою технології є запатентовані нові способи визначення параметрів колекторів. До них належать:

– мультиплікативні способи визначення пористості глинистих гірських порід в обсаджених і необсаджених свердловинах за допомогою комплексу радіоактивного (РК = НК+ГК) [11] та акустичного і гамма-каротажу (АК* = АК+ГК) [12]. Способи дозволяють оцінювати пористість глинистих порід виключно геофізичними методами (без використання кернових даних), що підвищує оперативність і знижує вартість робіт;

– група способів виділення газонасичених пластів за допомогою комплексів НК+ГК і АК+ГК [13]. Їхня суть полягає в тому, що для виділення газонасичених пластів застосовують пористості за НК і АК разом з іншим інформативним параметром – показаннями індивідуального зонда приладу НК. При цьому важливим елементом практичної реалізації запропонованих способів є використання нових приладів НК і АК з поліпшеними геофізичними характеристиками.

Наприклад, в однократно обсаджений свердловині газонасичені пласти можна виділити зіставленням показань нового приладу НК і різниці пористостей за РК (після обсадження) та за АК* (до обсадження). У двократно обсаджений – зіставленням показань нового приладу НК з пористістю, визначеною до обсадження. Розроблені способи дають також можливість виявляти обводнені пласти.

Рис. 3 демонструє залежність відносних показань приладу НК в однократно обсаджений свердловині від коефіцієнту газонасиченості з урахуванням пористості за АК ($\approx 20\%$). Залежність дозволила оцінити коефіцієнт залишкової газонасиченості обводнених пластів, який в цьому випадку становить $\sim 25\%$.

Переваги технології.

1. Методи НК і АК мають різну фізичну основу, і їх спільне застосування дає синергетичний ефект під час визначення особливостей літології, виділення колекторів, оцінювання їхньої пористості, характеру насичення, коефіцієнту нафтогазонасиченості, виявлення обводнених пластів тощо.

2. Технологія ефективна як для необсаджених, так і для обсаджених сталевими колонами свердловин (в тому числі старого фонду).

3. Технологія дає позитивні результати для необсаджених свердловин у разі, якщо електричний каротаж малоінформативний (наприклад, для карбонатних і так званих низькоомних колекторів).

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ГЕОФІЗИЧНИХ СВЕРДЛОВИННИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Актуальність дослідження техногенних геологічних об'єктів. В Україні внаслідок інтенсивної багаторічної роботи гірничої та енергетичної галузей і застосування недосконалих технологій утворилася значна кількість техногенних геологічних об'єктів (ТГО): золовідвалів, хвостосховищ, териконів тощо. Вони займають великі території, що стають непридатними для іншої господарської діяльності, є джерелом забруднення навколишнього середовища. З іншого боку, ці об'єкти часто містять цінні компоненти, які із застосуванням сучасних технологій можуть бути вилучені й утилізовані. Нині триває збільшення площ ТГО, а де це неможливо – їх вертикальної потужності.

Перелічені чинники визначають стосовно ТГО низку завдань: 1) оцінювання й моніторинг петрофізичних параметрів об'єктів і природних ґрунтів, що слугують їх основою; 2) оцінювання вмісту цінних компонентів; 3) екологічний моніторинг. Для розв'язання цих завдань можна використати геофізичні методи, зокрема радіоактивний каротаж. Комплекс РК дає змогу детально, оперативну, з достатньою для практики точністю визначити розширену сукупність петрофізичних і техногенних параметрів ТГО вздовж свердловинного розрізу в умовах їх залягання.

Основні елементи технології свердловинних досліджень ТГО.

1. Нові прилади радіоактивного каротажу, розроблені в ІГФ:

– трикомпонентний прилад РК, що містить зонди НК, ГГК та ГК і дає можливість

за одну спуско-підіймальну операцію виконувати повний цикл вимірювань РК [14];

– двозондовий прилад НК, який дозволяє врахувати наявність аномальних поглиначів нейтронів під час визначення вологості, пористості та інших параметрів, а також оцінити вміст поглиначів [15].

2. Нові способи визначення параметрів ТГО за допомогою РК:

– спосіб визначення параметрів (вологості, глинистості, вмісту хімічно зв'язаної води, вмісту аномальних поглиначів нейтронів) природних і техногенних ґрунтів за допомогою радіоізотопного каротажу [15];

– спосіб визначення мінеральної густини скелета техногенних гірських порід [16];

– спосіб визначення закритої газонасиченої пористості техногенних гірських порід [17].

3. Об'єктно-адаптаційна методологія як сукупність методів і методик дослідження геологічних об'єктів у їх взаємозв'язку стосовно конкретних приладів РК і конкретних умов вимірювань.

Запропонована технологія ґрунтується на створеній в ІГФ НАН України об'єктно-адаптаційній методології визначення параметрів ґрунтів, яка передбачає врахування особливостей досліджуваного об'єкта і пристосування метрологічного й інтерпретаційно-методичного забезпечення приладів до цих особливостей (використання різних градувальних залежностей НК у зоні аерації та зоні повного водонасичення (ЗПВ), врахування зв'язаної води у глинах під час визначення вологості тощо) [18].

4. Критерії достовірності і точності.

Критеріями достовірності й точності параметрів ґрунтів, визначених за допомогою геофізичних свердловинних методів, є результати незалежних (передусім лабораторних) вимірювань. Проте відібрати проби й отримати в лабораторних умовах достатньо точні значення параметрів, які б відповідали їх величинам в умовах природного залягання, не завжди можливо. Тому поряд з незалежними вимірюваннями потрібно мати додаткові критерії.

Одним із них може бути взаємна узгодженість сукупності параметрів, отриманих за допомогою комплексу методів РК. Зокрема: 1) у ЗПВ вологість, визначена за допомогою комплексу НК+ГК, повинна з достатньою точністю збігатися з вологістю за ГГК; 2) коефіцієнт водонасиченості за комплексом РК у зоні аерації завжди менший за 100%, а в ЗПВ — близький до 100%; 3) густина твердої фази за РК має узгоджуватися з апріорними даними [18].

Приклади застосування технології свердловинних досліджень ТГО. Технологію випробувано на золівдвалах Трипільської теплової електростанції та хвостосховищі Північного гірничо-збагачувального комбінату. Інтерпретація результатів РК дала можливість: а) розділити розріз на природну і техногенну частини; б) отримати розширену сукупність параметрів, що характеризують інженерно-геологічні, петрофізичні й техногенні властивості розрізу (загальну густина, густина сухої породи, густина твердої фази, вологість, пористість, глинистість, водонасиченість та ін.); в) виділити в золі зону недонасичення, пов'язану з наявністю закритих пор у твердих частинках золи; г) оцінити вміст заліза у хвостосховищі, який досягає 20% за об'ємом.

ВИСНОВКИ

Нова технологія досліджень нафтогазових колекторів:

— підвищує інформативність і надійність каротажу;

— має високу ефективність в однократно і двократно обсаджених свердловинах;

— дає змогу розглянути ускладнені випадки виділення нафтогазових колекторів, характер насичення яких за даними електричного каротажу неоднозначний.

Основними перевагами технології досліджень ТГО є:

— підвищення адекватності й точності визначень параметрів природних і техногенних порід;

— розширення інформативності РК завдяки збільшенню кількості визначуваних параметрів;

— підвищення продуктивності праці та здешевлення геофізичних свердловинних досліджень.

Розробка технологій є результатом співпраці Інституту геофізики НАН України, заводу «Геофізприлад», ЗАТ «Укрпромгеофізика», ТОВ «Укрспецгеологія», ДП Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень «Енергопроект». Саме завдяки об'єднанню зусиль організацій різного профілю вдалося отримати реальні позитивні результати.

Створені технології є конкурентноспроможними і за відповідного фінансування та реклами можуть знайти свою нішу на ринку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулик В.В., Звольський С.Т., Крутой А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование показаний ^3He -детекторов нейтронов в поглощающих средах // Геоинформатика. — 1998. — № 1. — С. 16–28.
2. Кулик В.В. Показания газонаполненных детекторов нейтронов в однородных геологических средах // Геофиз. журн. — 1999. — Т. 21, № 5. — С. 19–28.
3. Месропян В.С., Майстренко И.А., Гольдштейн Л.М. и др. Многозондовые приборы нейтронного каротажа с одновременной регистрацией тепловых и надтепловых нейтронов // Каротажник. — 2005. — № 3–4. — С. 193–205.
4. Кармазенко В.В., Кулик В.В. Многозондовые приборы нейтрон-нейтронного каротажа с согласованными зондами медленных и надтепловых нейтронов // Каротажник. — 2008. — № 6. — С. 68–82.
5. Пат. України № 74972. Спосіб багатозондового нейтронного каротажу для визначення пористості і коефіцієнта нафтонасиченості колекторів та пристрій для його здійснення / В.В. Кулик, М.С. Бондаренко, В.В. Кармазенко. — Заявл. 26.07.04; Опубл. 15.02.06; Бюл. № 2.
6. Пат. України № 92545. Прилад радіоактивного каротажу для дослідження колекторів нафти і газу в обсаджених і необсаджених свердловинах / В.В. Кармазенко, В.В. Кулик, М.С. Бондаренко, О.С. Маслоук. — Заявл. 16.03.09; Опубл. 10.11.10; Бюл. № 21.
7. Звольський С.Т., Кулик В.В., Бондаренко М.С., Кармазенко В.В. Разработка новых модификаций ядерно-геофизических методов определения петрофизических и нейтронопоглощающих свойств горных пород // Геофиз. журн. — 2005. — Т. 27, № 4. — С. 563–577.

8. Кулик В.В., Бондаренко М.С. Можливість визначення коефіцієнта нафтонасиченості за допомогою узгодженого комплексу стаціонарних нейтронних методів // Вісн. КНУ ім. Т. Шевченка. — 2005. — № 34–35. — С. 29–33.
9. Бондаренко М.С., Кулик В.В., Кармазенко В.В. та ін. Використання узгодженого комплексу нейтронних методів для визначення петрофізичних властивостей колекторів // Вісн. КНУ ім. Т. Шевченка. — 2006. — № 38–39. — С. 52–56.
10. Бондаренко М.С., Кармазенко В.В., Кашуба Г.А., Кулик В.В. Определение пористости глинистых пород в обсаженных нефтегазовых скважинах с помощью радиоактивного и акустического каротажа // Геофиз. журн. — 2010. — Т. 32, № 2. — С. 110–120.
11. Пат. України № 90301. Спосіб визначення загальної пористості глинистих гірських порід в обсаджених і необсаджених свердловинах / В.В. Кулик, М.С. Бондаренко. — Заявл. 19.09.07; Опубл. 26.04.10; Бюл. № 8.
12. Пат. України № 86678. Спосіб визначення пористості глинистих порід в нафтогазових свердловинах / Г.О. Кашуба, В.В. Кулик, М.С. Бондаренко. — Заявл. 13.07.07; Опубл. 12.05.09; Бюл. № 9.
13. Пат. України № 88198. Спосіб виділення газонасичених пластів в обсаджених і необсаджених нафтогазових свердловинах (варіанти) / В.В. Кулик, О.С. Стасів, М.С. Бондаренко. — Заявл. 23.11.07; Опубл. 25.09.09; Бюл. № 18.
14. Пат. України № 68901. Трикомпонентний зонд радіоізотопного каротажу для комплексного дослідження ґрунтів / В.В. Кулик, С.І. Дейнеко, З.М. Євстахевич та ін. — Заявл. 15.11.11; Опубл. 10.04.12; Бюл. № 7.
15. Спосіб визначення параметрів природних і техногенних ґрунтів за допомогою радіоізотопного каротажу та пристрій для його здійснення / Кулик В.В., Старостенко В.І., Нестеренко Г.Ф., Бондаренко М.С. — Заявка на патент України на винахід № а2011 03180 від 18.03.11.
16. Спосіб визначення мінеральної густини скелету гірських порід / Кулик В.В., Бондаренко М.С., Камілова О.В. — Заявка на патент України на винахід № а201208338 від 06.07.12.
17. Спосіб визначення закритої газонасиченої пористості гірських порід / Кулик В.В., Бондаренко М.С., Камілова О.В. — Заявка на патент України на винахід від 17.07.12.
18. Кулик В.В., Бондаренко М.С., Кетов А.Ю. та ін. Принципові положення нової технології дослідження природних і техногенних ґрунтів комплексом радіоізотопного каротажу // Наука та інновації. — 2012. — Т. 8, № 6. — С. 26–39.

М.С. Бондаренко

Институт геофизики им. С.И. Субботина
Национальной академии наук Украины
пр. Палладина, 32, Киев, 03680, Украина

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СКВАЖИННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Приведены принципиальные положения новой технологии исследования нефтегазовых коллекторов в обсаженных и необсаженных скважинах на основе комплекса нейтрон-нейтронного, гамма- и акустического каротажа. Представлены ключевые элементы новой технологии определения расширенной совокупности петрофизических параметров техногенных геологических объектов — золоотвалов и хвостохранилищ на основе комплекса гамма-, гамма-гамма и нейтрон-нейтронного каротажа. По результатам испытаний показаны высокая информативность и эффективность предложенных технологий, базирующихся на использовании ряда новых способов и приборов, которые защищены патентами Украины

Ключевые слова: каротаж, нефтегазовый коллектор, золоотвал, хвостохранилище; петрофизические, инженерно-геологические, техногенные параметры.

M.S. Bondarenko

Subbotin Institute of Geophysics
of National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

NEW TECHNOLOGIES OF GEOPHYSICAL BOREHOLE RESEARCHES OF OIL AND GAS RESERVOIRS AND TECHNOGENIC GEOLOGICAL OBJECTS

It has been given main principles of new technology of research of oil and gas reservoirs in the cased and open wells on the basis of a complex of neutron logging, gamma ray logging and acoustic logging. It is presented major elements of new technology of determination of expanded set of petrophysical parameters of technogenic geological objects — ash dumps and tailing dumps, on the basis of a complex gamma ray logging, density logging and a neutron logging. Technologies are grounded on use of a number of new methods and tools, which are protected by Ukraine patents. By tests results it is shown a high informativity and efficiency of the proposed technologies.

Keywords: logging, oil and gas reservoir, ash dump, tailing dump, petrophysical, engineering and geological, technogenic parameters.



Максим БОНДАРЕНКО

*Кандидат геологічних наук,
старший науковий співробітник Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України.*

У 2003 р. закінчив геологічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка і вступив до аспірантури Інституту геофізики НАН України. 2009 року захистив кандидатську дисертацію на тему «Петрофізичні параметри порід-колекторів за узгодженим комплексом стаціонарних нейтронних методів» (науковий керівник — кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник В.В. Кулик).

Співавтор 14 наукових статей і 13 патентів України. Був стипендіатом Президії НАН Украї-

ни (2006–2008) і Президента України (2010–2012). За результатами 2009 р. здобув звання «Кращий винахідник року НАН України», у 2010 р. — відзнаку НАН України для молодих учених «Талант, натхнення, праця».

Коло наукових інтересів — ядерно-геофізичні свердловинні дослідження нафтогазових колекторів та приповерхневих природних і техногенних середовищ; розроблення нових каротажних способів визначення петрофізичних параметрів і приладів для їх реалізації; створення інтерпретаційно-методичного і метрологічного забезпечення нових приладів.
