

межами досліджуваного макроскопічного об'єму; $\Delta g^{(3)}(x, y, 0)$, $\Delta T^{(3)}(x, y, 0)$ – аномальні гравітаційні і магнітні поля випадкових завад (помилки вимірювань аномального гравітаційного і магнітного полів та похибки апроксимації реального геологічного середовища однорідною апроксимаційною коміркою).

Формули для гравітаційного і магнітного потенціалу апроксимуючої комірки, форма якої представляє собою елементарний куб, наведені в роботі [10]. Глобальна оптимізація поставленої задачі здійснюється шляхом мінімізації цільової функції:

$$\Phi(\vec{x}) = \sum_{k=1}^M \left[\left(\Delta g_{(k)}^{(сп)} - \Delta g_{(k)}^{(мод)} \right)^2 + \left(\Delta T_{(k)}^{(сп)} - \Delta T_{(k)}^{(мод)} \right)^2 \right], \quad (12)$$

де $\Delta g_{(k)}^{(сп)}$, $\Delta T_{(k)}^{(сп)}$ – аномальне гравітаційне і магнітне поля, які зареєстровані в точці спостережень; $\Delta g_{(k)}^{(мод)}$, $\Delta T_{(k)}^{(мод)}$ – аномальне гравітаційне і магнітне поля, що

обчислені із знайденого наближення кількісного мінералогічного складу в апроксимуючій комірці, який використовується для обчислення ефективних густинних і магнітних властивостей; $\vec{x}$ – вектор невідомих параметрів, який включає кількісний мінералогічний склад апроксимуючої комірки, коефіцієнт пористості і тріщинуватості, а також аномальні ефекти від об'єктів, що знаходяться за межами досліджуваного об'єму, та флуктуаційні складові.

Висновки. Розроблено новий гравімагнітний томографічний метод геологічної інтерпретації, безперечною перевагою якого є відновлення структурно-речовинного складу геологічного середовища і його

густинних і магнітних властивостей. Це забезпечує врахування апіорної геологічної інформації та побудову тривимірної геологічної моделі.

Запропонований метод забезпечує вирішення не лише відновлення структури джерел гравітаційного і магнітного поля, але і надійного розрізнення вкладу в аномальне гравітаційне та магнітне поля неоднорідностей об'єму геологічного об'єкта, що досліджується. Метод дозволяє враховувати ефекти неоднорідної намагніченості структурних елементів геологічної структури.

У випадку слабо намагнічених об'єктів відкривається можливість дослідження впливу на магнітне поле парамагнітних мінералів.

1. Балк П.И., Балк Т.В. Совмещенная обратная задача гравитометрии // Физики Земли. - 1996. - № 2. - С. 16-30. 2. Страхов В.Н., Лапина М.И. Монтажный метод решения обратной задачи гравитометрии // Докл. АН СССР. - 1976. - № 2. - Т. 227. - С. 344-347. 3. Голлиздра Г.Я. Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения земной коры. - М., 1988. 4. Шеффер У., Балк Т.В. Монтажный метод решения совмещенной обратной задачи гравитометрии // Докл. РАН. - 1992. - № 1. - Т. 327. - С. 79-83. 5. Долгалев А.С., Шархимуллин А.Ф. "Гравитационная томография" – практика, опережающая теорию? // Геоинформатика. - 2009. - № 3. С. 59-67. 6. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. - Л., 1981. 7. Продайвода Г.Т., Вижева С.А. Проблемы геофизики природных техногенных катастроф // Наук. записки КНУ ім. Т. Г. Шевченка. - Т. 3. - С. 162-170. 8. Продайвода Г.Т., Вижева С.А. Проблемы комплексной геофизической интерпретации данных геофизического мониторингу природных техногенных процессов // Математика, природознание, технические науки: Доп. НАНУ. - 2004. - № 3. - С. 121-127. 9. Продайвода Г.Т., Маслов Б.П., Лещенко П.В. и др. Новый метод математического моделирования эффективных магнитных свойств многокомпонентных анизотропных геологических сред // Геофиз. журн. - 2005. - № 2. - Т. 27. - С. 280-289. 10. Продайвода Г.Т., Гришук П.И. Гравімагнітний метод геокартування структурно-речовинних комплексів Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - 2007. - Вип. 41-42. - С. 7-10.

Надійшла до редколегії 21.09.09

УДК 550.832

В. Андрущенко, пров.інж.,
В. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук,
І. Тішаєв, канд. фіз.-мат. наук,
В. Бугрій, асп.

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОМИСЛОВІЙ ГЕОФІЗИЦІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Проаналізовано сучасний стан і тенденції в області інформаційного забезпечення процесу буріння глибоких нафтогазових свердловин. Викладено нову ідеологію оперативного отримання геофізичної інформації в процесі буріння без залучення спеціалізованих каротажних загонів. Наведено загальний опис та результати випробування телеметричної системи "Паркус", скидного інклінометра CI-1, пластового нахиломіра НП-6, модуля вимірювання вібрацій "Вібро".

Current status and tendency in dataware drilling process of the deep oil and gas wells are examined. New ideology of operative getting of the reliable geophysics data without special logging services are presented. General description of the bottomhole remote control system "Parcus", the autonomous inclinometer CI-1, the wireline dipmeter NP-6 and the vibrometer "Vibro" and a field testes results are presented.

Вступ. У наш час методи промислової геофізики, наряду із сейсморозвідкою, є найбільш складними, але і найбільш ефективними при вивченні надр Землі. Серед численних напрямків прикладної геофізики саме промислова геофізика найбільш багата на методи й модифікації досліджень, використовує всі види фізичних полів, оперує широким спектром (від даних буріння до результатів випробувань) вихідної й отриманої у процесі досліджень геофізичної, промислової, петрофізичної та іншої інформації. Справді, складний об'єкт дослідження – дифузна система "свердловина-гірські породи", що змінює свої властивості та параметри в часі та просторі, численні й різнопланові задачі, детальність і точність їхнього розв'язання на всіх етапах пошуку, розвідки, дорозвідки, підрахунку запасів вуглеводнів, розробки й експлуатації нафтогазових родовищ

(аж до їхнього закриття), складні, з малим ступенем свободи, свердловинні умови проведення досліджень – все це робить промислову геофізику не тільки специфічним, але й найбільш інтелектуально насиченим напрямком розвідницької геофізики [4, 5].

Подальший розвиток промислової геофізики, зважаючи на сучасний стан науки й техніки, вимагає розв'язання таких задач:

- розвиток теорії існуючих методів ГДС, розв'язання прямих і обернених задач для умов, максимально наближених до реальної моделі досліджуваного середовища;
- розробка нових методів і модифікацій геофізичних досліджень свердловин, зокрема таких, які дозволяють оперативно одержувати геолого-геофізичну й технологічну інформацію в процесі буріння свердловин;

- створення на сучасній електронній базі геофізичної апаратури нового покоління, а також одержання геолого-геофізичної та геолого-технологічної інформації, максимально наближеної до дійсних значень властивостей і параметрів об'єкта дослідження;

- розробка й впровадження в практику виробництва сучасних автоматизованих (комп'ютеризованих) систем обробки та інтерпретації промислово-геофізичних і супутніх матеріалів на основі ефективних алгоритмів і програм;

- підготовка фахівців даної галузі, що відповідають сучасним вимогам теорії й практики геофізичної науки.

Окреслене коло проблем, що стоять перед промисловою геофізикою, досить широке і різнопланове, проте в одному ці задачі мають дещо спільне. Це – проблема одержання геофізичної й геолого-технологічної інформації в масштабі реального часу, що реєструється безпосередньо в процесі буріння свердловин. Актуальність розв'язання цієї задачі в повному обсязі очевидна: по-перше, це дозволить підвищити точність геонавігації й різко скоротити час будівництва свердловин, по-друге, одночасне вивчення гірських порід за даними комплексу геофізичних і геолого-технологічних методів досліджень в процесі буріння в остаточному підсумку підвищить геологічну й економічну ефективність пошуків, розвідки й розробки вуглеводневих покладів, особливо так званих нетрадиційних, складно побудованих покладів нафти й газу [5].

Нова ідеологія розв'язання поставлених задач полягає в комплексному застосуванні тріади: пластової нахилометрії - забійних телеметричних систем - геофізичних і геолого-технологічних досліджень ГТД, що супроводжують процес буріння.

Дані пластової нахилометрії дозволяють уточнити просторове положення шарів, що складають розбурювану структуру, і дають можливість більш точно, цілеспрямовано провести геонавігаційні роботи: увійти буровим інструментом в заданий інтервал і, за необхідності, пройти всередині, не виходячи за його межі.

Геофізична апаратура, розміщена на "борті" вибійної телесистеми, дозволяє в процесі буріння вирішувати проблему геонавігації, а також одержувати й передавати на поверхню інформацію, що разом з даними ГТД забезпечує вивчення гірських порід.

Сучасний стан проблеми. Кінець ХХ століття для розвитку світового паливно-енергетичного комплексу характерний появою ряду новітніх технологій, у тому числі принципово нової системи розробки нафтогазових покладів за допомогою горизонтальних свердловин. Буріння горизонтальних свердловин є важливою умовою для створення раціональних систем розробки нових нафтових і газових покладів з різною конфігурацією і, в першу чергу, з низькими колекторськими властивостями продуктивних пластів. Використання свердловин з горизонтальними стовбурами довжиною більше ніж 200 м суттєво змінює не тільки технологію розкриття

пласта, але і геометрію форми припливу вуглеводнів. Крім того, за рахунок збільшення площі проведення бурових робіт здійснюється більш повний відбір продукції з частин покладу, звідки приплив був обмежений при вертикальних стовбурах. Хоча вартість таких свердловин вища за звичайні в 1,2-1,5 рази, однак одержуване при цьому збільшення видобутку в 2-5 разів забезпечує значний економічний ефект. У Росії вже зараз бурять сотні таких свердловин на рік, а на Заході - тисячі. Перші горизонтальні свердловини в Україні були пробурені в 50-і роки на одній з ділянок Бориславського родовища [6]. У подальшому, в 70-і роки, почали бурити бокові горизонтальні стовбури (БГС) в діючих свердловинах Долинського родовища і на 4-х свердловинах з 6-ти пробурених дана технологія дозволила одержати значні прирости дебіту вуглеводнів (зокрема, збільшення припливу нафти до 64,2 т/добу, що виявилось у 3,4 рази вище, ніж дебіт вертикальних свердловин, розташованих поблизу). У 1998 році на родовищі Штурмове в свердловині 21 на глибині 2130 м було пробурено боковий горизонтальний стовбур довжиною 201 м, в результаті чого значно зріс дебіт конденсату в свердловині порівняно з дебітом перед бурінням БГС. У період 2000-2006 рр на пробурених горизонтальних свердловинах та свердловинах із зарізанням бокових стовбурів були отримані значні дебіти нафти, що в 5-10 разів перевищували дебіти вертикальних стовбурів із тих же покладів (свердловини №№ 44-Прилуки, 55-М Дівича, 230-Качанівка, 152-Яблунівка, 103-Гнідинці) [6].

Широкомасштабне впровадження буріння горизонтальних свердловин за кордоном стало можливим завдяки новим інформаційним технологіям. Створення сучасних вибійних телеметричних систем (MWD і LWD-системи) розглядається провідними геофізичними компаніями як пріоритетний науково-технічний напрямок. Зазвичай, західні фірми (Сперрі-Сан, Шлюмберже, Халібартон, Айсман Крістенсен - Бейкер Хьюз), що роблять такі системи, продають їх досить дорого й у більшості випадків самі надають відповідні послуги, виїжджаючи на проведення горизонтальних ділянок свердловин зі своєю апаратурою й персоналом. Саме рівень цін, що склався нині на MWD-системи, є головною перешкодою на шляху їх широкого впровадження в Україні. Водночас, він обумовлює пошук нових конструктивних і методичних рішень для забезпечення оперативного та недорогого супроводу процесу буріння.

Пластова нахилометрія. В 2003 р уперше в Україні зусиллями вчених лабораторії механіки спряжених хвильових полів кафедри теоретичної й прикладної механіки механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка й фахівців КБ "Геофізприлад" був розроблений дослідний зразок шестиважільного пластового нахиломіра НП-6 (рис. 1), у якому реалізується метод бокового мікрокаротажу.



Рис. 1. Зовнішній вигляд апаратури пластової нахилометрії НП-6

Пластовий нахиломір призначений для визначення елементів залягання шарів, пройдених свердловиною, кривизни й профілів свердловини, орієнтованих у просторі. За зареєстрованими даними про орієнтацію приладу в просторі (зенітний, азимутальний і візирний кути), радіусами свердловини і параметрами мікрокаротажу (6 зондових установок) програмною обробкою визначаються елементи залягання шарів - кут падіння й азимут падіння плоского контрастного шару. Пробна експлуатація приладу дала позитивні результати.

Геонавігація в процесі буріння. На сьогодні інклінометрія в пошуково-розвідувальних і експлуатаційних свердловинах під час їх буріння проводиться з метою перевірки відповідності фактичної траєкторії стовбура свердловини проектній. Такі геонавігаційні роботи виконуються, зазвичай, геофізичними каротажними партіями (загонами) та передбачають призупинення процесу буріння. Альтернативою такій традиційній технології проведення свердловин може стати технологія геонавігації із використанням вибієних скидних автономних

інклінометрів (BCAI). Проста, високопродуктивна і надійна технологія оперативного контролю траєкторії свердловини в просторі реалізована у вибієному автономному скидному інклінометрі CI-1 (рис. 2).

Конструктивно інклінометр зібраний у немагнітному титановому або сталевому кожусі діаметром 44 мм і довжиною близько 2 м, котрий витримує гідростатичний тиск до 800 атмосфер. В середині кожуха (рис. 2) розташовані акумуляторна батарея, модуль центрального процесора з флеш-пам'яттю та модемом передачі цифрових даних, гамма-модуль та один або два інклінометричні модулі (трійка взаємно ортогональних гравітаційних датчиків (рідинні диференціальні ємнісні датчики) та трійка взаємно ортогональних магнітних датчиків (ферозондові датчики)). Усі модулі виконані автономними, взаємозамінними, на єдиній мікропроцесорній основі і пов'язані між собою цифровою шиною. Кількість і тип модулів можуть бути різними, залежно від розв'язуваних задач [2].

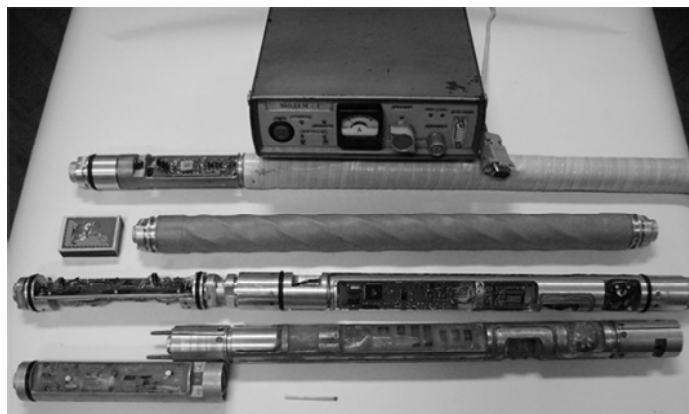


Рис. 2. Зовнішній вигляд інклінометра скидового типу CI-1

Згідно з програмами і методиками дослідно-промислових випробувань, затверджених ВАТ "Укрнафта", було проведено чотири заміри пристроєм CI-1 у свердловині № 508 Бугруватівського родовища і співставлення отриманих результатів з даними інклінометрії свердловини, що проводилася каротажною партією із використанням серійного приладу типу KIT за стандартною методикою (рис. 3). За результатами випробувань

комісія, до складу якої входили фахівці геологорозвідувальної справи та фахівці-геофізики, затвердила наступний висновок: "вважати за доцільне проводити вимірювання зенітного кута та азимута за допомогою CI-1, оскільки його використання дозволяє оперативно та достовірно оцінювати траєкторію стовбура свердловини, не витрачаючи час на додаткову підготовку свердловини до ГДС".

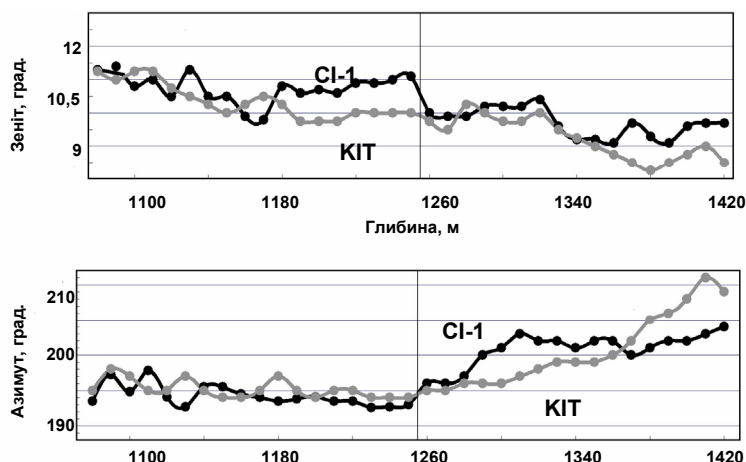


Рис. 3. Результати випробувань інклінометра CI-1 в свердловині № 508 Бугруватівського родовища (у порівнянні із серійним інклінометром KIT)

На сьогодні вибієний скидний автономний інклінометр може використовуватися як самостійний прилад, так і в складі телеметричної системи "Паркус".

Перша в Україні вибієна безкабельна телеметрична система "Паркус" (рис. 4) з електромагнітним каналом зв'язку створена в Київському національному університеті

теті імені Тараса Шевченка. Ця унікальна вітчизняна телесистема призначена для контролю й оптимізації навантаження на долото, а також, завдяки високій точності вибірного інклінометра, забезпечення будівництва БГС та коригування профілю свердловини [1]. Безкабельна вибірна телесистема "Паркус" складається зі свердловинної частини та наземної (антена, приймач та передавач каналу зв'язку, комп'ютер), зв'язаних між

собою через електромагнітний каналу зв'язку. Після багаторазових свердловинних випробувань телесистеми стало очевидним, що дані, отримані безпосередньо в процесі буріння (тобто не зупиняючи прокачування), можуть бути настільки точними, що профіль свердловини може визначитися в реальному масштабі часу без зупинки на проведення контрольних вимірів звичайними інклінометрами.



Рис. 4. Телеметрична система ПАРКУС

Досягнуті позитивні результати з проводки ряду похило спрямованих свердловин (36, 460-Охтирка, 60-Прилуки, 72-Андрияшівка й ін.) дозволяє ставити питання про впровадження такої телеметричної системи в практику бурових і геофізичних робіт в Україні [1].

Розробка технології ВСП в процесі буріння. Актуальним завданням нафтогазової промисловості є одержання оперативної інформації про геологічний розріз навколо свердловинного простору (і розрізу нижче вибою) безпосередньо в процесі буріння. Найбільш ефективним варіантом розв'язання цієї задачі є використання методу вертикального сейсмічного профілювання у процесі буріння (ВСП ПБ).

Технологія ВСП ПБ має значне поширення за кордоном для розв'язання цілого спектру різних задач. Починаючи з кінця 1980-х років було створено ряд систем сейсмічних свердловинних досліджень в процесі бурін-

ня – TOMEX (Western Atlas), TRAFOR (iFP), DBSeis², VISION (Schlumberger), SEIBIT (ENI Division, OGS) [7]. За останнє десятиліття в Росії метод вертикального сейсмічного профілювання в процесі буріння набув широкого розповсюдження завдяки дослідженням Г.А. Шехтмана, А.В. Копчикова, А.О. Табакова [3, 7]; були розроблені методики реєстрації та обробки даних ВСП ПБ – SDP (НПК "Геопроект"). У нашій країні на сьогоднішній день технологія сейсмічного супроводу буріння практично не використовується. Початковим етапом при розробці подібної технології є вивчення сейсмічного сигналу джерела – бурового долота. Для вирішення цієї проблеми фахівцями механіко-математичного факультету був створений свердловинний прилад "Вібро" і відповідне програмне забезпечення, що дозволяє одержувати інформацію про генеровані долотом коливання у процесі буріння (рис. 5).



Рис. 5. Модуль виміру вібрацій долота "Вібро"

Конструктивно даний прилад являє собою окремий модуль, що може бути використаний як самостійно, так і в складі системи MWD (на сьогодні розробниками передбачено сумісне використання модуля "Вібро" та інклінометра). Головним призначенням розробленого апаратурного рішення є вимірювання в безпосередній близькості до бурового інструмента вібрацій КНБК – компоновки низу бурової колони, з можливістю прив'язки отриманих даних в просторі та часі (за умови використання даних інклінометричного модуля, розміщеного в немагнітному середо-

вищі). Конструктивне виконання приладу дозволяє використовувати його як у повністю автономному режимі (що передбачає попереднє задання необхідних параметрів, автономну роботу приладу на вибої свердловини та наступне зчитування даних з флеш-пам'яті на поверхні), так і в режимі "реального часу" з безперервною передачею отриманих даних за допомогою кабелю. Проведені випробування приладу (рис. 6) в умовах реальних свердловин засвідчують його ефективність при розв'язанні задачі оцінки параметрів сейсмічного сигналу від долота.

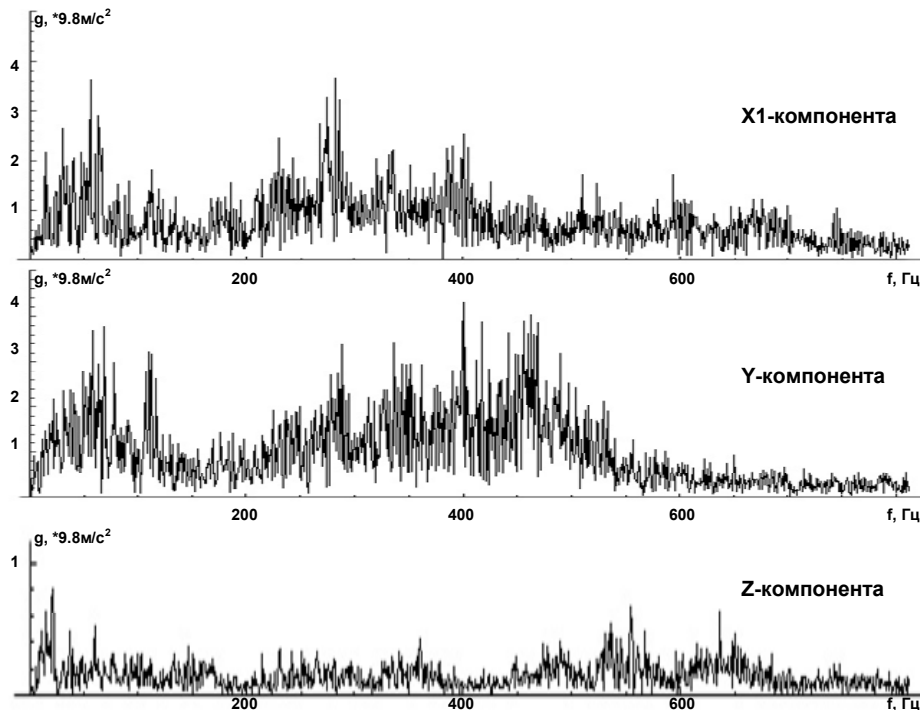


Рис. 6. Результати випробувань віброметричного модуля "Вібро".
Амплітудно-частотний спектр вібрації по 3-х координатах буріння із зусиллям 16 тонн

Висновки. Спектр задач, що стоять перед промислово-геофізичними дослідженнями, досить широкий і різноплановий, але серед них особливо актуальною є проблема отримання оперативної геофізичної та геолого-технологічної інформації в процесі буріння. Запропонований підхід до розв'язання цієї задачі на основі комплексного застосування тріади (пластової нахилометрії - забійних телеметричних систем - геофізичних і геолого-технологічних досліджень, що супроводжують процес буріння) було реалізовано у відповідних апаратурних розробках. Досягнуті позитивні результати застосування наведених апаратурних рішень (телеметричної системи "Паркус", скидний інклінометр CI-1, пластового нахиломіра НП-6) дають підстави до їх широкого виробничого впровадження.

1. Андрущенко В.А. Петрук Н.В., Курганский В.Н. Забойная телесистема "ПАРКУС" // НТВ "Каротажник". - Тверь, 2000. - Вып. 67. - С. 94-96.
2. Андрущенко В.А. Петрук Н.В., Курганский В.Н., Тишасев И.В. Вибійний скидний автономний інклінометр // Проблеми нафтогазової промисловості: Зб. наук. праць. - К., 2008. - Вип. 6. - С. 58-68.
3. Гогоненков Г.Н., Табаков А.А.. Современное состояние и перспективы развития метода ВСП // Гальперинские чтения-2001: Матер. конф. - М., 2001. - С. 15-17.
4. Курганский В.Н. Петрофизические и геофизические методы изучения сложно построенных карбонатных коллекторов нефти и газа. - К., 1999.
5. Курганский В.Н. Промысловая геофизика как составная часть геоинформационной системы // НТВ "Каротажник". - Тверь, 2005. - Вып. 130-131. - С. 135-140.
6. Стасенко В.М., Карпенко В.М., Кравец В.В. Досвід і проблеми спорудження горизонтальних свердловин в Україні // Проблеми нафтогазової промисловості: Зб. наук. праць. - К., 2008. - Вип. 6.
7. Poletto F., Miranda F. Seismic While Drilling: Fundamentals of Drill-Bit Seismic for Exploration // Handbook of geophysical exploration. Seismic exploration series. - 2004. - V. 35.

Надійшла до редколегії 11.05.09

УДК 550.383:561

К. Бондар, канд. геол. наук,
Б. Рідуш, канд. іст. наук

ДИНАМІКА КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В КРИМУ У ГОЛОЦЕНІ-ВЕРХНЬОМУ ПЛЕЙСТОЦЕНІ ЗА ДАНИМИ МАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПУХКИХ ВІДКЛАДІВ ПЕЧЕРИ ЕМІНЕ-БАЙР-ХОСАР

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, доц. О.М. Іванік)

Простежені зміни магнітних характеристик і палеомагнітні варіації давнього магнітного поля у розрізі горизонтально-шаруватих рихлих суглинчастих відкладів привхідної частини печери Еміне-Байр-Хосар. Співставлення магнітних, палеомагнітних, палеонтологічних і радіовуглецевих даних дозволило відновити динаміку палеокліматичних змін на плато Чатирдаг та його околиці у голоцені-верхньому плейстоцені.

Magnetic properties and palaeosecular variations of the Earth's magnetic field are investigated along the section of horizontally-layered non-cemented loamy sediments from near-entrance part of the Emine-Bair-Khosar Cave. The dynamics of paleoclimatic changes on Chatyrdag plateau and surrounding area during Holocene – Upper Pleistocene is reconstructed from complex interpretation of magnetic, palaeomagnetic, palaeontological and radiocarbon data.

Постановка завдання. Пухкі відклади привхідних частин карстових печер, які містять матеріал, привнесений ззовні, здатні "записувати" зміни кліматичних умов в період свого утворення. Основні палеокліматичні ситуації відображаються в морфологічній будові розрізу, літологічному складі, а також у магнітних властивостях відкладів.

Крім того, стратифіковані товщі, збагачені кістками давніх тварин і іншими палеонтологічними рештками, можуть виступати носіями палеомагнітної інформації, а отже, існує можливість датування окремих палеокліматичних фаз, зафіксованих у розрізі. Нами зроблено спробу комплексної реконструкції динаміки палеокліматичних змін.

© Бондар К., Рідуш Б., 2010