

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.835

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,
Д. Онищук, асп., І. Онищук, канд. геол. наук

РАДІОАКТИВНІСТЬ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ПЛОЩ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

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

Розглянуто радіометричні параметри порід-колекторів Волино-Поділля. Визначено кореляційні залежності між питомою альфа-активністю і вмістом урану та питомою бета-активністю і вмістом K_2O у досліджених породах.

Consideration is given to radiometric parameters of reservoir-rocks of Volyno-Podillya. Correlation relationships between the specific alpha activity and uranium content and specific beta-activity and content of K_2O in the studied rocks are determined.

Вступ. На сучасному етапі пошуків та розвідки перспективних площ на нафтогазові поклади актуальним є суттєве вдосконалення технологій проведення досліджень в аналітичних петрофізичних лабораторіях. Важливими факторами підвищення ефективності геолого-геофізичних робіт є розробка новітніх технологій оброб-

ки та методів інтерпретації польових і свердловинних даних, зокрема, підготовка банку геолого-геофізичної та математично змодельованої інформації.

У зв'язку із збільшенням глибин досліджень і, відповідно, пластових температур і тисків та присутності складнобудованих типів порід-колекторів, наявний

комплекс геофізичних досліджень потребує постійного удосконалення. Складний тип колектора, великі глибини призводять до пропусків продуктивних пластів або невизначеності геофізичних прогнозів. Підвищення ефективності геофізичних досліджень у таких умовах можливо за рахунок розширення комплексу методів петрофізичних досліджень, удосконалення методичних прийомів інтерпретації отриманих даних.

Для підвищення ефективності інтерпретації як польових, так і свердловинних геофізичних даних на перспективних ділянках східного схилу Львівського палеозойського прогину важливим і своєчасним є проведення додаткових лабораторних петрофізичних та геолого-геохімічних досліджень, застосування новітніх технологій обробки інформації для аналізу і узагальнення різноманітних нових даних, що отримані в останні роки.

Аналіз даних. У геологічній будові східного схилу Львівського палеозойського прогину беруть участь утворення архею-палеопротерозою, неопротерозою, палеозою, мезозою і кайнозою. Кристалічний фундамент складають метаморфічні породи архею-палеопротерозою, осадовий чохол – осадові і вулканогенно-осадові породи рифею та венду, а також осадові утворення кембрійської, ордовіцької, силурійської, девонської та кам'яновугільної систем палеозою; юрської та крейдової систем мезозою, палеогенової, неогенової та четвертинної систем кайнозою. З відкладами кембрію та девону Волино-Подільської моноклінали пов'язують основні перспективи нафтогазоносності цієї території.

Кембрійські відклади вважаються одними із найперспективніших літостратиграфічних комплексів Волино-Поділля на пошуки вуглеводнів. Потенційну газонасність цих відкладів підтверджують газопрояви, що спостерігались при проходженні кембрійських відкладів свердловинами Великомоствіська-30 та Перемишляни-1. Для кембрію характерні щільні колектори, тому їх газонасність повинна вивчатись із застосуванням сучасних технологій буріння та випробування свердловин [3]. Кембрійські відклади складені переважно прибережно-морськими теригенними утвореннями.

Девонські відклади складені породами різного генезису: морськими породами – вапняками, мергелями, аргілітами та теригенними континентальними утвореннями – червоноколірними пісковиками та алевролітами. Девонські відклади також є перспективними на пошуки нафти і газу на Волино-Поділлі. З ними пов'язані Локачівське і Великомоствіське газові родовища [2]. При цьому колекторами на Локачівському родовищі слугують не тільки пісковики, а й карбонатні породи. Серед найперспективніших виділяють Олесько-Золочівську площу, де у ряді свердловин отримані ознаки нафтогазоносності верхньодевонських карбонатних відкладів [7].

Радіоактивні властивості гірських порід несуть цінну інформацію про речовинний склад та властивості гірських порід. При каротажі свердловин та лабораторних дослідженнях, як правило, використовуються гамма- та нейтронні методи з реєстрацією відповідних випромінювань [5]. Природні радіонукліди в геологічному середовищі при нормальних умовах знаходяться у динамічній рівновазі. В природі мінерали і з'єднання урану частіше всього перебувають у двох валентних модифікаціях – чотирьох- і шестивалентній. Геохімічна поведінка цих модифікацій у різних природних обстановках різко відрізняється. Аналіз геохімічних даних дозволяє стверджувати про високу рухомість у природних умовах шестивалентного урану (ураніл-іон $(\text{UO}_2)^{2+}$) і практично повну інертність чотирьохвалентного урану. Уран знаходиться в земній корі в розсіяному стані і частка цього стану у гірських породах складає більше 50 % загального вмісту в земній корі [9]. Рослини і живі організми до-

сить слабо концентрують сполуки урану. У свіжій тканині рослин містяться незначні кількості урану ($n \cdot 10^{-7}$ – $n \cdot 10^{-5}$ %). Встановлено, що середній вміст U в золі рослин становить $n \cdot 10^{-6}$ % при середньому вмісті в ґрунтах $n \cdot 10^{-4}$ %. Після відмирання живих організмів і рослин захоронені останки, починаючи з ранніх стадій діагенезу і закінчуючи пізніми епігенетичними змінами, можуть накопичувати уран аж до утворення його промислових концентрацій. При цьому відбуваються геохімічні процеси сорбції, іонного обміну та утворення ураноорганічних з'єднань – відновлення урану чотирьохвалентного до шестивалентного. Для цих процесів необхідна обстановка окислювального середовища, що сприяє міграції U у вигляді різних сполук іону уранілу. Концентрація U в органічній речовині досить часто пов'язана з його відновленням при окисленні складних сполук вуглецю.

Вивчення мінерального складу уранових руд свідчить про стійку форму зв'язку урану з органічною речовиною. При цьому головним процесом взаємодії урану з органічними речовинами є його відновлення [9]. Встановлено, що рідкі вуглеводні (конденсат і нафта) мають найменшу здатність відновлювати уран. По мірі окислення рідких вуглеводнів і перетворення їх у тверді бітуми відновна ємність зростає і досягає максимумів у високоокислених твердих бітумах типу (окси-керитів та гуміно-керитів). Ці утворення мають найбільш високу реакційну здатність по відношенню до урану. На відміну від нафти, викопні рештки рослин (кероген) мають високі відновні властивості вже на самих ранніх стадіях розкладання. Аналіз природних асоціацій U і органічних речовин показує, що найбільш реакційно здатними по відношенню до U є група гумінових кислот [6, 9].

Іншим важливим широко поширеним процесом, що призводить до концентрації урану, є сірководневе відновлення. Сірководень генерується при відновленні сульфатів підземних вод вуглеводнями при активній участі сульфатних бактерій. Цей процес особливо активно протікає на стадіях діагенезу і раннього епігенезу осадів і характерний для тих ділянок зони гіпергенезу, де має місце уповільнений водообмін [6, 9].

Відомо, що відношення між концентраціями урану, торію та калію слугують важливими ознаками умов формування осадкоутворення, що може бути індикатором можливості нафтогазонакопичення.

Визначення вмісту урану, торію та калію можливе різними методами, зазвичай, досить складними та високоартістичними. В лабораторії ядерної геофізики кафедри геофізики зроблена спроба визначення цих параметрів за допомогою альфа- та бета-аналізу порошкових проб.

Радіометричні вимірювання проведені на колекції зразків порід з перспективних інтервалів Бучачської (інт. 973-1657 м), Великомоствіської (інт. 1858-2406 м), Володимирівської (інт. 1136-2304 м), Добротвірської (інт. 1729-3702 м), Ліщинської (інт. 1645-3850 м), Лудинської (інт. 1156-3097 м), Сокальської (інт. 3078-3506 м) та Сушнівської (інт. 1258-2532 м) площ Волино-Подільської моноклінали (породи девону та кембрію).

У процесі петрофізичних досліджень виконаний експериментальний альфа- і бета-аналіз зразків порід за допомогою лабораторної низькофонової установки УМФ-2000, що забезпечує високоточні визначення питомої альфа- та бета-активності порошкових проб порід, ґрунтів та сухого залишку водних проб [1, 8]. Визначення питомої альфа- і бета-активності виконано для 107 зразків різних літотипів порід девону і кембрію. Слід відзначити, що ці дослідження мали за мету, в першу чергу, визначити можливості альфа-бета методу при лабораторних дослідженнях порід-колекторів і рідше не застосовувались.

Шляхом вимірювання контрольних проб та атестованих стандартів складу встановлені кореляційні залежності між питомою альфа-активністю і вмістом урану та питомою бета-активністю і вмістом K_2O у зразках порід. При цьому використовувались стандартні зразки складу ГК, МА, АГЕ, а також результати рентгенофлуоресцентного та хімічного аналізу контрольних проб порід. Графіки

цих залежностей наведені на рис. 1 і 2. Кореляційна залежність між питомою альфа-активністю і вмістом урану має вигляд (рис. 1): $C_U = 3 \cdot 10^{-7} \cdot A_\alpha + 5 \cdot 10^{-5}$, при $R^2 = 0,883$, де C_U – вміст урану в порошковій пробі, A_α – питома альфа-активність у Бк/кг.

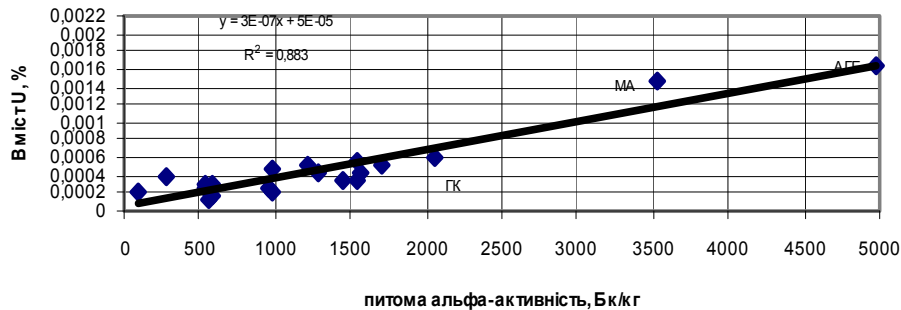


Рис. 1. Кореляційна залежність між питомою альфа-активністю і вмістом урану (ГК, МА, АГЕ – атестовані стандарти складу)

За допомогою цієї кореляційної залежності зроблена оцінка вмісту урану в зразках порід характерних для району досліджень. Як відомо [4] вміст урану в гірських породах тісно пов'язаний з вмістом в породах органічної речовини, що часто виступає в ролі абсорбенту цього хімічного елемента.

Вимірювання контрольних зразків та атестованих стандартів складу дозволили встановити кореляційні залежності між питомою бета-активністю і вмістом K_2O у зразках порід, як загальну для досліджених порід схі-

дного схилу Львівського палеозойського прогину, так і серію залежностей для окремих літотипів, що наводяться нижче в табл. 1. Кореляційна залежність між питомою бета-активністю і вмістом урану, з врахуванням всіх параметричних даних, має вигляд (рис. 2): $C_{K_2O} = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot A_\beta + 5,5 \cdot 10^{-2}$, при $R^2 = 0,916$, де C_{K_2O} – вміст K_2O в порошковій пробі, A_β – питома бета-активність у Бк/кг.

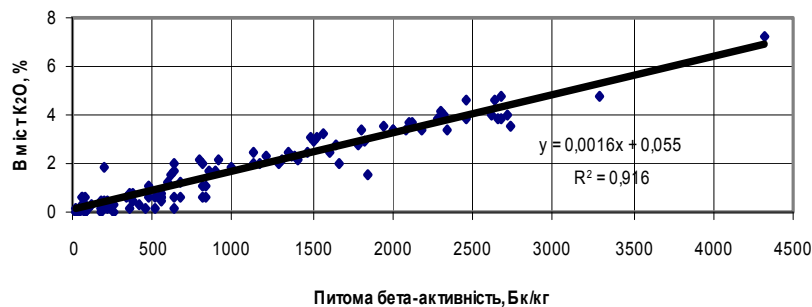


Рис. 2. Кореляційна залежність між питомою бета-активністю і вмістом K_2O . Інтегральні дані по всіх досліджених зразках

Наведена кореляційна залежність має досить високу тісноту зв'язку ($R^2 = 0,916$) і може бути успішно використана для оцінки вмісту K_2O в породах девону і кембрію району досліджень. Однак порівняно значна кількість досліджених контрольних проб дозволяє встановити кореляційні залежності для окремих літотипів та порід однакового віку, що підвищує точність визначень вмісту K_2O з їх допомогою. Ці залежності наведені в табл. 1.

Слід відзначити, що спостерігається досить тісний зв'язок між питомою бета-активністю і вмістом K_2O для всіх виділених літотипів (коефіцієнт R^2 змінюється від 0,739 для аргілітів та алевролітів кембрію до 0,977 для пісковиків девону).

Межі змін і середні значення питомої альфа- та бета-активності, а також вмісту урану та K_2O для конкретних літотипів досліджених порід з врахуванням їх віку наведені в табл. 2. Середня відносна похибка визначень альфа-активності складає 10 %, а бета-активності – 12,5 %.

У результаті аналізу результатів лабораторних досліджень по визначенню радіометричних параметрів порід пошукових свердловин східного схилу Львівсько-

го палеозойського прогину встановлено, що питома альфа-активність змінюється від 41 Бк/кг (доломіт девону Великомоствівської та пісковик дрібнозернистий кембрію Сушнівської площі) до 2055 Бк/кг (тонко- та дрібнозернистий пісковик кембрію Сокальської площі) при середньому значенні 522 Бк/кг. При цьому вміст урану в породах змінюється від $0,6 \cdot 10^{-4} \%$ до $6,7 \cdot 10^{-4} \%$. У цілому низькими значеннями питомої альфа-активності (< 200 Бк/кг) і вмісту урану ($< 1 \cdot 10^{-4} \%$) характеризуються вапняки і доломіти девону Бучачської, Великомоствівської, Володимирівської, Лудинської, Сокальської площі та деяких різновидів пісковиків кембрію Бучачської, Добротвірської, Сокальської та Сушнівської площі. У загальному випадку підвищеними значеннями питомої альфа-активності (> 800 Бк/кг) і вмісту урану ($> 3 \cdot 10^{-4} \%$) відрізняються досліджені аргіліти, алевроліти та пісковики різних типів девону Великомоствівської, Ліщинської та Лудинської, а також кембрію Бучачської, Добротвірської, Лудинської, Сокальської та Сушнівської площі.

Таблиця 1

Кореляційні залежності між питомою бета-активністю і вмістом K₂O

№	Породи	Вік	Кореляційне рівняння	Коефіцієнт кореляції R ²
1	Породи девону	D	$C_{K_2O} = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} + 5,67 \cdot 10^{-2}$	0,945
2	Породи кембрію	Є	$C_{K_2O} = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} + 0,166$	0,888
3	Пісковики	D	$C_{K_2O} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 0,1225$	0,977
4	Пісковики	Є	$C_{K_2O} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} + 0,168$	0,862
5	Вапняки	D	$C_{K_2O} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 0,1354$	0,897
6	Вапняки	Є	$C_{K_2O} = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 0,1564$	0,938
7	Доломіти	D	$C_{K_2O} = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 2,84 \cdot 10^{-2}$	0,914
8	Доломіти	Є	$C_{K_2O} = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 1,023$	0,841
9	Аргіліти та алевроліти	D	$C_{K_2O} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 0,66$	0,865
10	Аргіліти та алевроліти	Є	$C_{K_2O} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot A_{\beta} - 1,378$	0,739

Таблиця 2

Межі змін радіометричних параметрів досліджених порід

Породи	Вік	Питома α-активність, Бк/кг			Питома β-активність, Бк/кг			Вміст урану ×10 ⁴ , %			Вміст K ₂ O, %		
		min	max	серед.	min	max	серед.	min	max	серед.	min	max	серед.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Бучачська площа													
пісковики	D	306	489	398	560	1601	1080	1,4	2	1,7	0,95	2,62	1,78
вапняки	D	545	641	593	1178	1288	1233	3,1	3,1	3,1	1,94	2,12	2,03
аргіліти, алевроліти	Є	867	867	867	2736	2736	2736	2,1	2,4	2,3	4,43	4,43	4,43
пісковики	Є	56	421	238	553	807	680	0,7	1,8	1,2	0,94	1,35	1,14
Великомостівська площа													
аргіліти, алевроліти	D	735	1164	972	2632	4323	3417	2,7	4	3,4	4,27	6,97	5,52
вапняки	D	50	982	239	206	2300	734	0,7	3,4	1,2	0,38	3,74	1,23
доломіти	D	41	1408	725	174	834	504	0,6	4,7	2,7	0,33	1,39	0,86
доломіти	D	126	168	147	215	372	293	0,9	1	0,9	0,40	0,65	0,52
вапняки	Є	463	758	610	250	1601	926	1,9	2,8	2,3	0,46	2,62	1,54
доломіти	Є	126	463	351	477	819	659	0,9	1,9	1,6	0,82	1,37	1,11
пісковики	Є	210	800	451	177	1401	684	1,1	2,9	1,9	0,34	2,30	1,15
Добротвірська площа													
доломіти	D	288	576	432	68	371	219	1,4	2,2	1,8	0,16	0,65	0,41
пісковики	D	781	781	781	996	996	996	2,8	2,8	2,8	1,65	1,65	1,65
аргіліти, алевроліти	Є	493	1071	732	1641	2312	1939	2	3,7	2,7	2,68	3,75	3,16
пісковики	Є	86	543	287	47	640	352	0,8	2,1	1,4	0,13	1,08	0,62
Ліщинська площа													
аргіліти, алевроліти	D	337	1094	779	604	2109	1473	1,5	3,8	2,8	1,02	3,43	2,41
пісковики	D	105	1094	521	250	861	476	0,8	3,8	2,1	0,46	1,43	0,82
туфоаргіліти	D	505	2020	1187	1817	2176	2041	2	6,6	4,1	2,96	3,54	3,32
Лудинська площа													
аргіліти, алевроліти	D	926	1347	1136	1845	2345	2095	3,3	4,5	3,9	3,01	3,81	3,41
доломіти	D	44	168	99	32	76	59	0,6	1	0,8	0,11	0,18	0,15
аргіліти, алевроліти	Є	379	1263	614	907	1521	1263	1,6	4,3	2,3	1,51	2,49	2,08
пісковики	Є	84	1263	474	83	2673	956	0,8	4,3	1,9	0,19	4,33	1,58
Нововолинська площа													
доломіти	D	337	631	477	1344	1459	1394	1,5	2,4	1,9	2,21	2,39	2,29
Сокальська площа													
вапняки	Є	170	632	401	124	462	293	1	2,4	1,7	0,25	0,79	0,52
пісковики	Є	84	2055	579	98	2624	1295	0,8	6,7	2,2	0,21	4,25	2,13
Сушнівська площа													
аргіліти, алевроліти	Є	589	1010	800	1943	2723	2316	2,3	3,5	2,9	3,16	4,41	3,76
вапняки	Є	295	358	326	1373	1779	1576	1,4	1,6	1,5	2,25	2,90	2,58
пісковики	Є	42	463	305	50	1126	365	0,6	1,9	1,4	0,14	1,86	0,64

Аналіз результатів виконаних радіометричних досліджень дозволив встановити, що вміст калію у вивчених породах має вирішальний вплив на їх питому бета-активність. У результаті лабораторних досліджень по визначенню радіометричних параметрів вивчених порід встановлено, що питома бета-активність змінюється від 25 Бк/кг (вапняки девону Володимирівської та Лудинської площ) до 4323 Бк/кг (аргіліт девону Великомо-

стійської площі) при середньому значенні 1075 Бк/кг. Низькими значеннями питомої бета-активності (<500 Бк/кг) характеризуються вапняки і доломіти девону Великомо- стівської, Володимирівської, Добротвірської, Лудинської та Сушнівської площ і деяких різновидів пісковиків кембрію Володимирівської, Добротвірської, Лудинської, Сокальської та Сушнівської площ. Підвищеними значеннями питомої бета-активності (>1500 Бк/кг) виділя-

ються досліджені аргіліти, алевроліти та пісковики різних типів девону Бучачської, Великомоствітської, Володимирської, Ліщинської та Лудинської, а також кембрію Бучачської, Добротвірської, Лудинської, Сокальської та Сушнівської площ.

Висновки. Підводячи підсумки, слід відзначити:

1. Вперше визначено значення та межі змін питомої альфа- та бета-активності основних типів порід-колекторів деяких площ Волино-Поділля перспективних на нафтогазоносність. Найнижчими значеннями питомої альфа- та бета-активності характеризуються деякі різновиди вапняків та доломітів – алевроліти та аргіліти. Пісковики мають широкий діапазон змін цього параметру.

2. У результаті експериментальних радіометричних досліджень встановлено значну диференціацію різних типів порід девону і кембрію східного схилу Львівського палеозойського прогину за питомою альфа- та бета-активністю.

3. Визначено кореляційні залежності між питомою альфа-активністю і вмістом урану та питомою бета-активністю і вмістом K_2O у досліджених породах, що

дозволяє використовувати радіометричні параметри для оцінки вмісту урану і K_2O .

4. Спостерігається досить тісний зв'язок між питомою бета-активністю і вмістом K_2O для всіх виділених літотипів порід девону і кембрію.

1. Альфа-бета радиометр для измерений малых активностей УМФ-2000: Руководство по эксплуатации ФВКМ.412121.001РЭ. – НПП "Доза".
2. *Бойко Г.Ю., Павлюк М.І., Різун Б.П.* Нафтогазоносність і рифтогени південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи // Геологія і геохімія горючих коралін. – 2001. – № 2. – С. 4-10.
3. *Гладун В., Крупський Ю., Куровець, Шлапінський В.* Газ ущільнених колекторів у Західному нафтогазоносному регіоні України // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2011. – № 1-2 (154-155). – С. 34-36.
4. *Дахнов В.Н.* Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – М., 1975.
5. *Железнова Е.И., Шумилин И.П., Юфа Б.Я.* Радиометрические методы анализа естественных радиоактивных элементов. – М., 1968.
6. *Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М.* Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. – Новосибирск, 2010.
7. *Крупський Ю.З., Чепіль П.М.* Перспективи нафтогазоносності карбонатів Волино-Поділля і Передкарпаття // Проблеми нафтогазової промисловості : Зб. наук. праць. – К., 2007. – Вип. 5. – С. 15-22.
8. Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета-активности: Методические рекомендации. – НПП "Доза", 1997.
9. *Смислов А.А.* Уран и торий в земной коре. – Л., 1974.

Надійшла до редколегії 15.10.12