

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.03.064>

УДК 598:549.2

О.Ю. Лукін¹, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>

В.М. Шестопапов², **Я.В. Лукін**³

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ

² ДУ “Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України”, Київ

³ УкрНДІгаз, Харків

E-mail: chv_ukrdgri@ukr.net

Самородний свинець у породах нафтогазоносних комплексів глибокого залягання

Представлено академіком НАН України В.М. Шестопаповим

У результаті електронно-мікроскопічного (з енергодисперсійним) аналізу порід нафтогазоносних комплексів глибокого залягання встановлена присутність у вторинних порах (кавернах) і (мікро)тріщинах різноманітних за морфологією самородно-свинцевих агрегатних частинок. Виділяються їх гранулярні (натічно-коломорфні), пластинчаті і мікроін’єкційні морфологічні типи. Як й інші самородні метали (в геохімічній асоціації з Pb відзначені Zn, Sn, Cd, Sb та ін.), частинки Pb можуть розглядатися як трасери (супер)глибинних відновлених флюїдів. Завдяки ж високій пластичності свинцю його різні морфологічні типи можуть відігравати роль індикаторів розподілу мікростресових напруг у породах-колекторах нафти і газу глибокого залягання.

Ключові слова: самородний свинець, колектори нафти і газу, термальні води, металоносні флюїди.

У відомих довідкових і навчальних посібниках самородний свинець (СС) характеризується як рідкісний і навіть “вкрай рідкісний мінерал, відомий головним чином в Лонгбані (Швеція), у вигляді крупних кристалічних скупчень до 50 кг” [1, с. 163]. У роботі [2, с. 305] також зазначено, що СС “в природі рідкісний”, і водночас відзначено більш як 10 його родовищ, пов’язаних переважно із зоною окислення самородних руд. Крім того, у [2] зазначена присутність СС у розсипах, що узгоджується з даними Є.К. Лазаренко та ін. [3] про присутність (поряд із золотом та ін.) сферул і пластин СС у природних шліхах сучасних відкладів у Центральному Донбасі [3]. У [4, с. 200] відзначено присутність СС як “рідкісного акцесорного мінералу в складі вивержених порід, переважно гранітів і сієнітів”, а також у золото-

Цитування: Лукін О.Ю., Шестопапов В.М., Лукін Я.В. Самородний свинець у породах нафтогазоносних комплексів глибокого залягання. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2020. № 3. С. 64–71. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.03.064>

носних розсипах Оренбурзького Уралу, де СС знайдений у зрощенні із самородними золотом і алюмінієм, кварцом і галенітом. Первісним його джерелом є золотоносні кварцові жили. За даними М.І. Новгородової [4, с. 201], СС *“зустрічається у вигляді дрібних зерен неправильної або округлої форми, тонких пластинок, рідше у вигляді дендритоподібних і ниткоподібних утворень”*. Ці дані, з одного боку, добре узгоджуються з особливостями геохімії свинцю [5], а з іншого — свідчать про нелінійний (у розумінні А.Д. Щеглова) характер його металогенії (поєднання “зараженості” різних геотформацій дисперсними частинками СС з ексклюзивним скупченням величезних самородків на згадуваному докембрійському поліметалічному родовищі Лонгбан). Це характерно й для актуалістичної металогенії свинцю. Сучасні процеси накопичення СС у кількостях, що вимірюються тоннами, спостерігаються на півострові Челекен. Детально і всебічно вивчена Челекенська рудоутворююча система [6] пов’язана з інтенсивно порушеною скидами антиклінальною структурою II порядку, приуроченою до однієї з найглибших у світі Південно-Каспійської депресії. Ця структурно-тектонічна зона характеризується підвищеною сейсмічністю та геотермічними аномаліями. У численних свердловинах, що розкривають водоносні горизонти верхнього відділу пліоцену червоноколірної товщі, відбувається інтенсивне відкладення свинцю з металоносних хлоридних натрієво-кальцієвих термальних розсолів. *“Швидкість його відкладення настільки велика, що багато свердловин в результаті утворення піщано-свинцевих пробок перестають вилити буквально через 2–2,5 року”* [6, с. 67]. *[Відзначимо, що зазначені пробки утворюються з пліоцен-четвертинних пісків у результаті їх перетворення в пісковики з самородно-свинцевим базальним цементом]*. СС (з домішками міді, а також срібла, кадмію, талію) накопичується в парагенезі з арагонітом, сфалеритом і баритом, що пов’язано з нерівноважним гідрогеологічним режимом, який обумовлений вторгненням металоносних флюїдів у зону утрудненого і активного водообміну Челекенської структури. Змішання металоносних розсолів з водами, що містять H_2S , спричиняє утворення сфалериту, бариту, а дегазація вуглекислих гідрокарбонатних вод — інтенсивне карбонатування (арагоніт, кальцит, а також сидерит).

Про ендегенну природу Челекенської рудоутворюючої системи, разом із зазначеними геохімічними і геофізичними показниками, свідчать також ізотопно-геохімічні дані.

“Ізотопний склад сучасних рудоутворюючих гідротерм Челекєну не характерний для жодного з відомих генетичних типів природних вод — океанічних (морських або метеорних)” [6, с. 63]. За наведеними в [6] значеннями δD і $\delta^{18}O$ металоносні термальні розсоли відрізняються як від вод нафтоносних горизонтів пліоценової червоноколірної товщі та вод грязьових вулканів, так і від розсолів затоки Кара-Богаз-Гол [6, табл. 10, 28]. Те, що вони *“є легшими порівняно з усіма іншими дослідженими водами Челекенської структури”* [6, с. 63], дає нам підставу припустити участь у їх формуванні ювенільних вод, що утворюються в результаті окислення ендегенного водню. Самі ж автори роботи [6, с. 63] вважають, що у формуванні гідротерм Челекєну *“можлива участь магматичних (ювенільних) вод у кількостях до 20–25 %”*.

Важливим показником глибинного (мантійного) джерела металоносних флюїдів, згідно з [6], є нульовий ізотопний вік челекенського свинцю, а також присутність у термальних металоносних водах (дериватах трансформації ендегенних флюїдів) *“надважкого нукліду, активність спонтанного поділу якого набагато вища за активність спонтанного поділу*

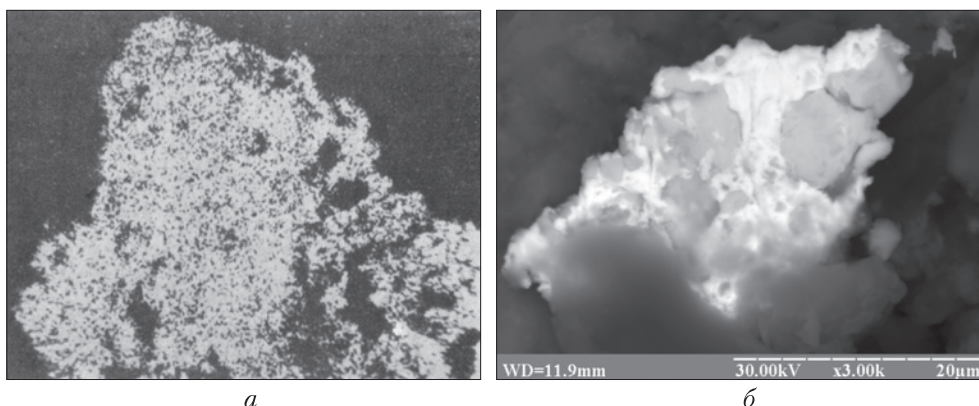


Рис. 1. Мікроагрегатна натічно-коломорфна будова самородно-свинцевих гранул: *a* – у порошковому свинцевому осаді (техногенне розвантаження термальних розсолів на Челекені) (мікроаналізатор MS-46) [6]; *b* – у порі-каверні вторинного піщаного колектора газоконденсатного покладу (ДДЗ, св. 2-Скоробогатківська, інт. 4036–4044 м; електронний мікроскоп РЕМ-106 з рентгеноспектральним аналізатором)

урану” [6, с. 64]. Академік Г.Н. Фльоров зарахував цей нуклід “до області надважких елементів (НВЕ)” [7, с. 16]. “Було створено спеціальну (велетенських розмірів) установку для концентрування важких елементів із сольових розсолів півострова Челекен у пошуках НВЕ у природі” [8, с. 273]. У результаті подальших радіохімічних досліджень [9] було встановлено, що “безсумнівною властивістю нового нукліду є халькофільність (цього і слід очікувати для елементів с $Z = 108 \div 117$), що виявляється під час співосадження із сульфідом міді, свинцю, арсену і ртуті... У сульфідних системах поведінка нового нукліду подібна поведінці полонію та астатину (і ймовірно, вісмуту)... Уся сукупність даних щодо хімічної поведінки нового нукліду дає підставу стверджувати, що новий природний спонтанно подільний нуклід не належить до відомих техногенних ізотопів” [9, с. 17]. На нашу думку, підвищені концентрації цього халькофільного трансурану на Челекені слід шукати на геохімічних бар’єрах, що виникають внаслідок змішування висхідних потоків металоносних флюїдів і сірководневих вод зони утрудненого водообміну. Поки ж природа “челекенського нукліда” залишається нез’ясованою. Можливо, це 108-й елемент (екаосмії), ознаки присутності якого за даними альфа-спектрометрії були встановлені В.В. Чердинцевим у 1963 р. в молібденіті з покинутого рудника біля піка “Ювілейний” на Памірі [10, с. 105]. За матеріалами “Вікіпедії”, безперечне відкриття цього трансурану відбулося в 1984 р. в Центрі дослідження важких іонів (Дармштадт, ФРН) – у результаті бомбардування на прискорювачі Рb-мішені пучком іонів ізотопу заліза ^{58}Fe . Тут слід зазначити, що фактичний (але, мабуть, не загально визнаний) першовідкривач 108-го елемента В.В. Чердинцев (він назвав його сергенієм) виявив його сліди в продуктах сучасного вулканізму (Камчатка, Курили) і в термальних водах (Кавказ, Закарпаття та ін.) та розглядав це як ознаки глибинних (мантіїних) флюїдів [10]. У комплексі з іншими геохімічними даними, а також разом з наведеними в [11] аргументами це свідчить на користь існування в нижній мантії металосфери (в розумінні В.Н. Ларина).

Результати вивчення великих колекцій порід-колекторів різновікових нафтогазоносних комплексів Дніпровсько-Донецького авлакогену, Прикаспійської западини, Тимано-Печорської провінції, Східного Сибіру та ін. свідчать про досить значне поширення СС у складі

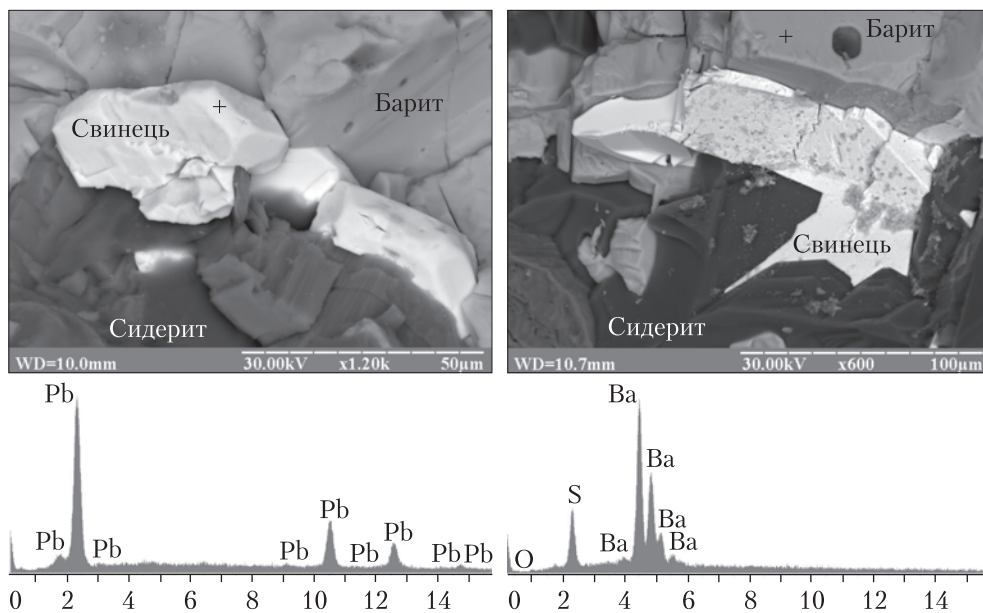


Рис. 2. Самородний свинець (білий) з баритом (світло-сірий) і сидеритом (темно-сірий) – полімінеральний цемент у порово-кавернозно-тріщинному просторі вторинного колектора (ДДЗ, св. 200-Східно-Павлівська, інт. 5280–5286 м)

самородно-металевих мезо- і мікрочастинок, вміст яких зростає на великих (понад 4–5 км) глибинах [12]. При цьому відмічена поява нових морфологічних типів виділень СС і накреслюються нові аспекти їх використання як індикаторів вторинних процесів у нафтогазоносних басейнах. Поряд зі звичайними для самородно-металевих частинок гранулярними, сферичними, голчастими формами виявлені раніше невідомі морфологічні типи самородно-металевої мінералізації порового простору вторинних колекторів.

Мікроагрегатні частинки (рис. 1, а, б) аналогічні за формою і будовою гранулам “*порошкоподібного самородно-свинцевого осаду*”, що відкладається з металоносних хлоридних натрієво-кальцієвих термальних розсолів у свердловинах, які розкривають водоносні горизонти в пліоценових червоноколірних відкладах на півострові Челекен [6, с. 67]. Це дає підставу розглядати наявність даного морфогенетичного типу в поровому просторі вторинного колектора глибокого залягання як ознаку декомпресійного режиму, пов’язаного з неоген-четвертинною активізацією зсувної тектоніки – основного фактору дислокаційного епігенезу [13]. З її імпульсами пов’язане короточасне різке зниження пластового тиску, завдяки чому виникають умови формування цих внутрішньопорових мікроагрегатних натічно-коломорфних “*брунькоподібних утворень*” [6, с. 69].

СС у складі полімінерального цементу в пустотному просторі (пори – каверни – тріщини) вторинних колекторів глибокого залягання з ознаками його ін’єкційної і деструктивної активності проілюстровано на рис. 2, 3. Крім кварцу і кальциту, СС тут знаходиться в асоціації з баритом і сидеритом. Присутність свинцю, бариту і сидериту підтверджується даними рентгенівської дифрактометрії (ДРОН-3). У цьому пізньоепігенетичному мінеральному парагенезі СС є найбільш пізнім мінералом, який виявляє деструктивну та ін’єкційну активність щодо бариту і сидериту (див. рис. 2, 3).

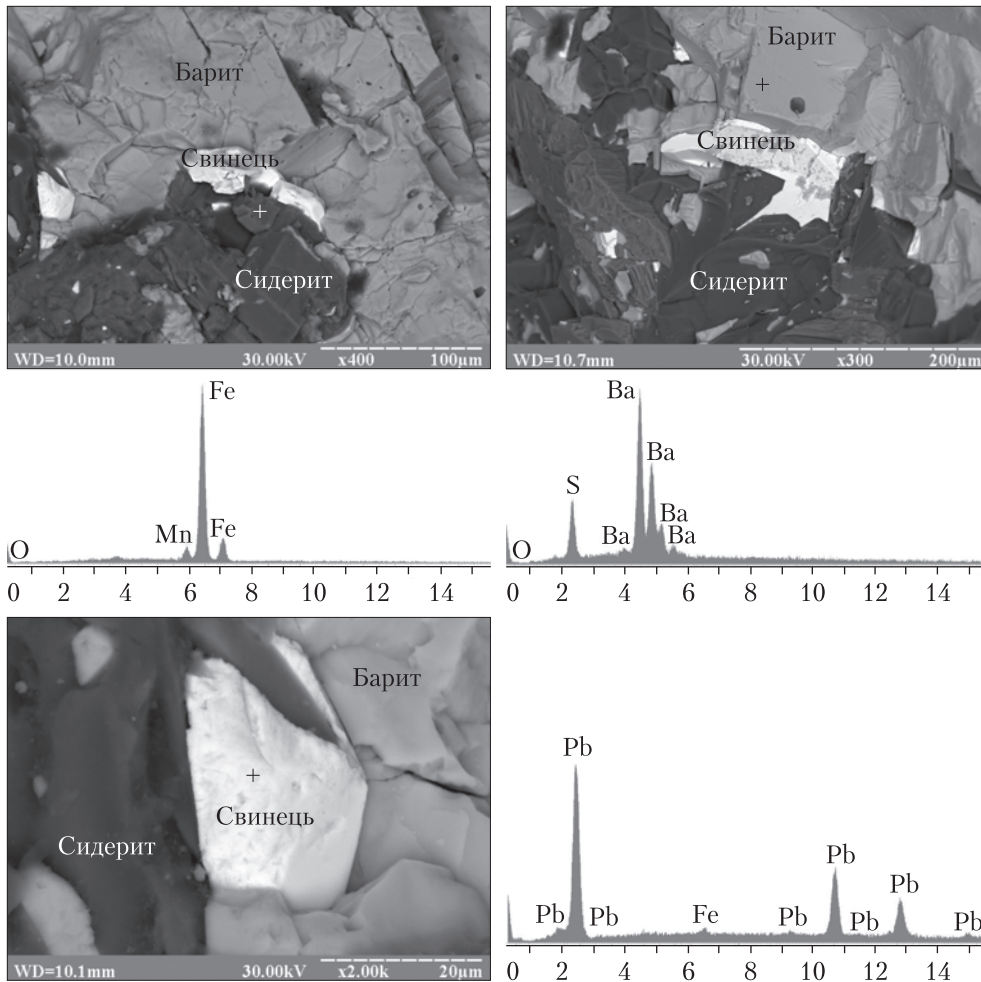
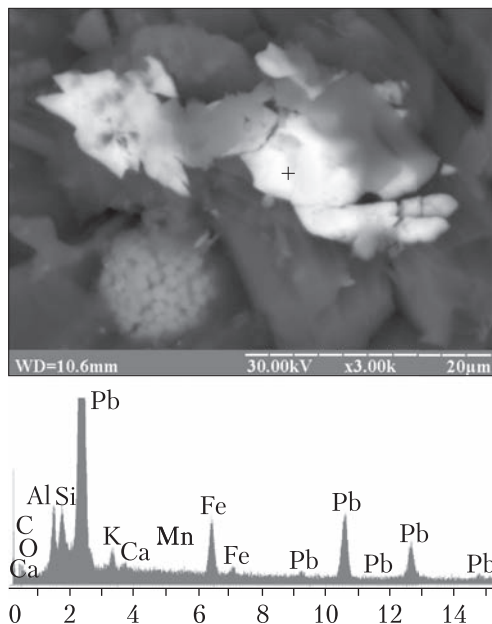


Рис. 3. Самородний свинець (білий) з баритом (світло-сірий) і сидеритом (темно-сірий) – полімінеральний цемент у порово-кавернозно-тріщинному просторі вторинного колектора (з іншим оглядом та збільшенням) (ДДЗ, св. 200-Східно-Павлівська, інт. 5280–5286 м)

Пластинчатий агрегат СС (рис. 4) приурочений до стилітизованих тріщин природного фрекінгу, характерних ознак нафтогазоносних теригенних і карбонатних колекторів глибокого залягання [14]. Вони утворюються в умовах високого літостатичного тиску і пов'язані з впровадженням високонапірних високоентальпійних флюїдів, що супроводжується флюїдорозривом і мінералізацією цих діаклазів темнокольоровою пелітоморфною полімінеральною речовиною з великою кількістю частинок самородних металів (Fe, Cu, Zn, Pb та ін.). Завдяки великим літостатичним тискам (флюїдоутворення відбувається на глибинах, близьких до сучасних) ці тріщини піддаються інтенсивному стиску та інтенсивно стилітизуються [14]. Виділення високопластичного свинцю, що утворюється спочатку у вигляді мікроагрегатних скупчень, інтенсивно розплющуються, перетворюючись в різноманітні пластинчаті і, зокрема, пластинчато-стрічкоподібні агрегати (див. рис. 4).

Як вже зазначалося, вказані процеси в нафтогазоносних комплексах глибокого залягання є пізньоепігенетичними і мають накладений характер (гіпогенно-епігенетичний і

Рис. 4. Самородно-свинцевий пластинчато-стрічкоподібний агрегат у темноколірній пелітоморфній речовині в стилітованій тріщині флюїдорозриву піщаного вторинно-порового колектора (ДДЗ, св. 12-Комишнянська, інт. 5531–5541 м)



дислокаційний епігенез) [10]. Пов'язані з ними зміни, які відіграють важливу роль у формуванні нафтових, газоконденсатних і газових покладів на великих глибинах, свідчать про імпульсну висхідну міграцію (супер)глибинних флюїдів. Велика кількість, геохімічна і морфологічна різноманітність частинок самородних металів, як оксифільних, так і халькофільних (зокрема, свинцю), зазначені часо-ві (стадіальні) співвідношення СС з баритом, сидеритом, а також різноманітними сульфідами (пірит, галеніт, сфалерит та ін.) свідчать про те, що провідним фактором інтенсивного відновлювального характеру цих флюїдів є водень [15].

На відміну від інших самородно-металевих мікрочастинок СС відіграє активну деструктивну та ін'єкційну роль у поровому просторі вмісних порід. Це обумовлено насамперед його високою пластичністю. Крім того, ознаки “набухання” у вторинно-поровому просторі (див. рис. 2) дають підставу припускати, що певну роль у деструкції матриці вторинних колекторів і межзернової ін'єкції відіграють процеси оклюзії водню. Властива свинцю, який за розмірами питомої теплоємності та інших термодинамічних характеристик групується спільно з Au, Pt, Ir, Os, Bi [4, с. 10], підвищена здатність до оклюзії водню повинна додатково зростати завдяки аномально високій пластичності. Остання сприяє “розпушенню” структури СС за рахунок появи значної нанопористості. Активний деструктивний вплив СС на матрицю вмісної породи (див. рис. 2, 3) обумовлений не тільки пластичною деформацією СС, а й збільшенням його обсягу.

Проте зазначених специфічних властивостей СС для пояснення спостережуваних тектонофізичних явищ явно недостатньо. Мабуть, у даному випадку утворення самородно-металевих включень було пов'язано з більш інтенсивним вторгненням високоентальпійних металонесних флюїдів і, таким чином, більш чітко проявилася імпульсна енергетика глибинної водневої дегазації та супутніх мінералотвірних і тектонофізичних процесів.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Костов И. Минералогия. Москва: Мир, 1971. 584 с.
2. Штрюбель Г., Циммер З. Минералогический словарь. Москва: Недра, 1987. 494 с.
3. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.И. Минералогия Донецкого бассейна. Киев: Наук. думка, 1975. Ч. II. 501 с.
4. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. Москва: Наука, 1983. 286 с.
5. Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. *Геохимия*. 1956. № 1. С. 6–52.

6. Лебедев Л.М., Никитина Л.Б. Челекенская рудообразующая система. Москва: Наука, 1983. 240 с.
7. Флеров Г.Н., Короткин Ю.С., Тер-Акопян Г.М., Звара И., Оганесян Ю.Ц., Попеко А.Г., Чубурков Ю.Т., Челноков Л.П., Маслов О.Д., Смирнов В.И., Герстенбергер Р. Результаты поисков сверхтяжелых элементов в геотермальных водах полуострова Челекен. Дубна: ОИЯИ, 1978. 17 с.
8. Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова. Дубна: ОИЯИ, 2006. URL: <http://theor.jinr.ru/people/Sissakian/CV/public/2006/dubna/Dubna273-337.pdf>. (Дата звернення: 7.04.2021).
9. Короткин Ю.С., Тер-Акопян Г.М., Попеко А.Г., Дробина Т.П., Журавлева Е.Л. Химическое концентрирование нового природного спонтанно делящегося нуклида из растворов с низким солевым фоном. Дубна: ОИЯИ, 1982. 20 с.
10. Никитин А.И. Новый трансуранин найден в природе. *Наука и жизнь*. 1970. № 2. С. 102–107.
11. Лукін А.Е., Шестопапов В.М. Силицид железа – показатель минерального состава мантии Земли? *Геофиз. журн.* 2020. **42**, № 5. С. 3–15. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215069>
12. Лукін А.Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов. *Геофиз. журн.* 2009. **31**, № 2. С. 61–92.
13. Лукін А.Е. Генетические типы вторичных преобразований и нефтегазонакопление в авлакогенных бассейнах: Препринт / АН УССР. Ин-т геол. наук. Киев, 1989. 51 с.
14. Лукін А.Е. Инъекции глубинного углеводородно-полиминерального вещества в глубокозалегающих породах нефтегазоносных бассейнов: природа, прикладное и гносеологическое значение. *Геол. журн.* 2000. № 2. С. 7–21.
15. Шестопапов В.М., Лукін А.Е., Згонник В.А., Макаренко Л.Н., Ларин Н.В., Богуславский А.С. Очерки дегазации Земли. Киев: Науч.-инж. центр радиогидроэкол. полигон. исслед., Ин-т геологич. наук НАН Украины, 2018. 632 с.

Надійшло до редакції 12.04.2021

REFERENCES

1. Kostov, I. (1971). Mineralogy. Moscow: Mir (in Russian).
2. Shtrubel, G. & Zimmer, Z. (1987). Mineralogical dictionary. Moscow: Nedra (in Russian).
3. Lazarenko, E. K., Panov, B. S. & Pavlishin, V. I. (1975). The mineralogy of the Donetsk Basin. Pt. 2. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
4. Novgorodova, M. I. (1983). Native metals in hydrothermal ores. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Vinogradov, A. P. (1956). Regularities of the distribution of chemical elements in the earth's crust. *Geokhimiya*, No. 1., pp. 6-52 (in Russian).
6. Lebedev, L. M. & Nikitina, L. B. (1983). Cheleken ore-forming system. Moscow: Nauka (in Russian).
7. Flerov, G. N., Korotkin, Yu. S., Ter-Akopyan, G. M., Zvara, I., Oganessian, Yu. Ts., Popeko, A. G., Chuburkov, Yu. T., Chelnokov, L. P., Maslov, O. D., Smirnov, V. I. & Gerstenberger, R. (1978). The results of searches for superheavy elements in the geothermal waters of the Cheleken peninsula. Dubna, OIYuI (in Russian).
8. G.N. Flerov Laboratory of Nuclear Reactions. (2006). Dubna: OIYuI (in Russian). Retrieved from <http://theor.jinr.ru/people/Sissakian/CV/public/2006/dubna/Dubna273-337.pdf>
9. Korotkin, Yu. S., Ter-Akopyan, G. M., Popeko, A. G., Drobina, T.P. & Zhuravleva, E.L. (1982). Chemical concentration of a new natural spontaneously fissile nucleid from solutions with a low salt background. Dubna, OIYuI (in Russian).
10. Nikitin, A. I. (1970). New transuran is found in nature. *Nauka i zhizn*, No. 2, pp. 102-107 (in Russian).
11. Lukin, A. Yu. & Shestopalov, V. M. (2020). Ferrosilicide as indicator of mineral composition of the Earth mantle? *Geophys. J.*, 42., No. 5, pp. 3-15 (in Russian). <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215069>
12. Lukin, A. Yu. (2009). Native-metallic micro- and nano-inclusions in formations of oil and gas-bearing basins as tracers of superdeep fluids. *Geophys. J.*, 31, No. 2, pp. 61-92 (in Russian).
13. Lukin, A. Yu. (1989). Genetical types of secondary alteration and oil-gas accumulation in aulacogenic basins: Preprint/AS USSR. Institute of Geol. Sciences. Kyiv (in Russian).
14. Lukin, A. Yu. (2000). Injection of deep hydrocarbon-polymineral matter in deep-seated rocks of oil and gas basins: nature, applied and epistemological significance. *Geol. J.*, No. 2, pp. 7-21 (in Russian).

15. Shestopalov, V. M., Lukin, A. Yu., Zgonnik, V. A., Makarenko, L. N., Larin, N. V. & Boguslavsky, A. S. (2018). Essays on Earth degassing. Kyiv. Nauch.-Inzh. Centr Radiogidrogeojekol. Poligon. Issled., IGN NAN Ukrainy (in Russian).

Received 12.04.2021

O.Yu. Lukin¹, <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>

V.M. Shestopalov², Ya.V. Lukin³

¹ Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv

² Radioenvironmental Centre of the NAS of Ukraine, Kyiv

³ UkrSRIGas, Kharkiv

E-mail: chv_ukrdgri@ukr.net

NATIVE LEAD IN THE ROCKS OF DEEP-LYING PETROLIFEROUS COMPLEXES

The presence of native-lead aggregated particles within the secondary pores (cavities) and (micro) fractures is established as a result of the electronic-microscope (with energy dispersion) analysis of deep-lying oil-and-gas reservoir rocks. Their granular (sinter-collomorphic), lamellar and microinjection morphologic types are distinguished. Native lead particles (similar to other native metals) may be considered as the tracks of superdeep (mantle) reduced fluids. An additional point to emphasize is connected with its high plasticity owing which the lead particles may serve as tectonophysics indicators of a microstress distribution within deep-lying reservoir rocks.

Keywords: native lead, reservoir of oil and gas, thermal waters, metalliferous fluids.