

МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД ТА БУДОВА ПАТОГЕННОГО БІОМІНЕРАЛЬНОГО УТВОРЕННЯ – УРОЛІТУ ОДИНАДЦЯТИРІЧНОГО ХЛОПЧИКА З МІСТА ДНІПРО

Трофименко Любов Петрівна

Вчитель хімії, вчитель-методист КЗО
«Спеціалізована школа №67 еколого-економічного профілю»,
м. Дніпро, Україна

Ішков Валерій Валерійович

кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Україна
старший науковий співробітник
інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Україна

Агафонов Ілля Сергійович

Здобувач освіти, КЗО «Спеціалізована школа №67 еколого-економічного
профілю», м. Дніпро, Україна

Вступ. Сечокам'яна хвороба має довгу історію і відома людству з давнини. Найстаріше свідчення про сечові конкременти у людини було отримано в 1901 року англійським археологом Вільямом Смітом, який при дослідженні єгипетської мумії, захоронення якої датується VII ст. до н. е., виявив камінь в сечових шляхах. Перший опис Гіппократа про поведінку хворого з нирковою біллю, викликаною уролітіазом, відноситься до IV ст. до н. е. Пізніше Гален в своїх замітках пов'язував утворення сечових каменів із складом питної води, кліматом, дієтою, порушенням обміном речовин. Авіценна в XI столітті пояснював формування уролітів порушеннями відходження сечі та особливостями харчування.

У сучасному світі лікування урологічних захворювань відноситься до одного із актуальних завдань наукової медицини та практичної охорони здоров'я. В нашій країні, як і в більшості економічно розвинених країн світу, їхня частка, залежно від регіону, становить до 10-14% в загальній структурі захворюваності.

Серед патології уrogenітального тракту одним із провідних місць займає сечокам'яна хвороба (СКХ) або уролітіаз, набуваючи в деяких регіонах ендемічний характер. Сечокам'яна хвороба поширена в усьому світі, але нерівномірно, становлячи 1-5% на азійському континенті і сягаючи 5-9% в європейському, 13% в Північній Америці, а в Саудівській Аравії страждає кожен 5-й дорослий мешканець. За думкою численних авторів, зростання захворюваності пов'язане як зі зміною оточуючого середовища, характеру харчування та режиму пиття, так і з активнішим використанням високочутливих методів візуалізації. Важливо відзначити, що зростання захворюваності СКХ

призводить до збільшення витрат на лікування. Так, у США у 2007 році вони склали 3,79 млрд. доларів, а до 2030 року передбачається збільшення до 5,03 млрд. доларів. Надзвичайно важливим аспектом є не тільки витрати, пов'язані з лікуванням, але й непрямі витрати через втрату працездатності частини пацієнтів. Згідно зі офіційними статистичними даними, загальна кількість днів непрацездатності у пацієнтів з СКХ досягає 4,1 млн. на рік.

Необхідно окремо зупинитися на факторах ризику розвитку СКХ. Відомо, що пік захворюваності цією патологією припадає на найбільш працездатний вік (30-60 років), що може бути пов'язано з нерегулярним харчуванням та шкідливими умовами праці. За даними різних авторів сечокам'яна хвороба становить від 30 до 50% всіх госпіталізацій у відділення урології і займає друге місце після інфекційно-запальних захворювань. При цьому вона виявляється у будь-якому віці, найчастіше (65-70% випадків) серед осіб вікової групи 20-60 років і порівняно рідко у дітей та людей похилого віку. Чітко простежується гендерна залежність: чоловіки хворіють в 3 рази частіше, ніж жінки, хоча коралоподібні камені частіше виявляються у жінок (до 70%). Зменшену частоту захворюваності у жінок інколи пов'язують із низькою ступенем перенасиченості сечі та біохімічним ефектом естрогенів стосовно екскреції оксалатів і утворення кристалів. Зазвичай камені локалізуються в одній з нирок, хоча в 9-17% випадків сечокам'яна хвороба має двосторонній характер. За числом каменів частіше одиночні, але бувають і множинні, зафіксовано навіть до 5 тис. конкрементів у однієї людини. Розмір коливається від частки міліметру до гігантських, понад 10 см у максимальному розмірі і масою до 2-2,5 кг.

Протягом останнього десятиліття звертання у більшості країн світу щодо СКХ зросли на 20-50%. Камені верхньої третини сечоводу представляють собою окрему клінічну проблему, оскільки при цьому розташуванні доступно кілька варіантів лікування, які мають різну ефективність і профіль ускладнень. Больовий синдром при розвитку обструкції верхніх сечових шляхів є одним із найінтенсивніших і часто супроводжується нудотою, блювотою та гематурією. При відсутності своєчасного, адекватного лікування у пацієнтів з каменями сечоводу розвиваються гнійно-септичні ускладнення, зокрема обструктивний пієлонефрит і сепсис, а також стриктури сечоводу з подальшим зниженням і втратою функції нирки.

Треба зазначити, що стратегії лікування та метафілактики СКХ перш за все ґрунтуються на інформації про мінеральний склад сечового конкременту. Саме тому у рекомендаціях Європейської асоціації урологів є вимога про встановлення мінерального складу хоча б одного уроліту для хворих СКХ. Таким чином, загальне збільшення поширеності СКХ і ризик її рецидиву роблять ще більш актуальними дослідження мінерального складу та будови патогенних біомінеральних утворень – уролітів.

Останні досягнення. К. Лонсдейл [1] вперше звернув увагу дослідників на достовірно встановлену регіональну мінливість в розподілі мінеральних типів сечових каменів. Цей висновок надалі було підтверджено у ряді робіт присвячених встановленню мінерального складу та морфоструктурним

особливостям уролітів мешканців різних регіонів України [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. У той же час, дослідження мінерального складу уролітів дітей міста Дніпро раніше не виконувалися.

Мета роботи: полягає у дослідженні мінерального складу та будови уроліту одинадцятирічного хлопчика із міста Дніпро.

Методика досліджень. Морфоструктурні спостереження і мінералогічні дослідження на макрорівні проводилися за допомогою стереоскопічного бінокулярного мікроскопу МБС-9. Зразок був сфотографовано, обміряно та зважено. На цьому етапі виконувались також мінералогічні дослідження – вивчалось загальне забарвлення січового конкременту, його форма, особливості морфології поверхні, твердість за шкалою Мооса, колір риси, макроструктура зразка та деякі інші мінералогічні особливості. Петрографічні дослідження шліфа (препарат з пластиною зразка 0,025 – 0,03 мм) уролітів виконані за допомогою оптичного поляризаційного мікроскопа ПОЛАМ Р-312 у простому і поляризаційному світлі, що проходить. Ідентифікація окремих мінералів полягала у порівнянні відомих кристало-оптичних показників із встановленими у шліфах. При цьому досліджувались забарвлення, форми мінеральних індивідів, показники заломлення, двозаломлення, знака видовженості, кута загасання, плеохроїзму, осності та оптичного знака мінералів. Уламки, осколки, пил та інші частини конкременту, які залишалися після виготовлення шліфа акуратно збиралися окремо і надалі вручну стиралися у агатовій ступці до отримання пудри. Потім цей матеріал вже використовувався для проведення рентгенофазового аналізу. Рентгенофазовий аналіз виконувався на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 у монохроматизованому Со-К α випромінюванні ($\lambda=1.7902\text{\AA}$). Ідентифікація мінералів (кристалічних фаз) проводилася шляхом порівняння міжплощинних відстаней ($d, \text{\AA}$) та відносних інтенсивностей ($I_{\text{отн}} - I/I_0$) експериментальної кривої з даними електронної картотеки PCPDFWIN. Визначення середніх вмістів окремих мінералів при мінералого-петрографічних дослідженнях проводилося шляхом їх підрахунку по двадцяти взаємно перпендикулярних лініях по всій площі шліфу та подальшого розрахунку середнього арифметичного значення з оцінкою його похибки.

Результати досліджень. Зовнішній вигляд досліджуваного зразка з різних ракурсів наведено на рис.1. Колір: від білого до жовтого відтінків. Колір риси: білий. Твердість за шкалою Мооса 1,5 - 2. Поверхня зразка переважно горбиста і рідше – друзоподібна. Блиск більшості - матовий, рідше скляний. Макроструктура – середньо-, дрібно- та тонкозерниста.

На сьогоднішній день важлива роль порушення метаболізму у виникненні сечокам'яної хвороби вважається науково доведеною. При цьому відбуваються зміни у складі та вмісту окремих компонентів складної колоїдної системи, якою є сеча. Отже змінюється баланс між окремими сполуками, які грають роль своєрідних промоторів чи інгібіторів процесу появи сечових конкрементів – уролітів. Таким чином, уроліти є патогенними біомінеральними утвореннями сечовидільної системи організмів тварин.

На жаль, значна тимчасова варіативність складу сечі навіть однієї людини призводить до того, що єдиною достовірною ознакою сечокам'яної хвороби є лише наявність уrolітів в органах сечовидільної системи (нирці, сечоводі, сечовому міхурі, сечовипускальному каналі). На думку авторів [2 - 12], камені сечовивідних шляхів зазвичай починають формуватися в нирці і (або) сечовому міхурі та можуть збільшитися в сечоводі і (або) сечовому міхурі. Залежно від місцезнаходження каменя, його називають «каменем в нирках», «сечоводним каменем» або «каменем сечового міхура». У даному випадку досліджений зразок (рис. 1) був спочатку ідентифіковано методом томографії у сечовому міхурі, з якого він відійшов самостійно. Таким чином його можна віднести зі значною часткою ймовірності саме до «каменя сечового міхура». На користь цього припущення може свідчити існування у дитини деяких вроджених дефектів сечового міхура. У той же час існує не нульова можливість його зародження і у нирках.



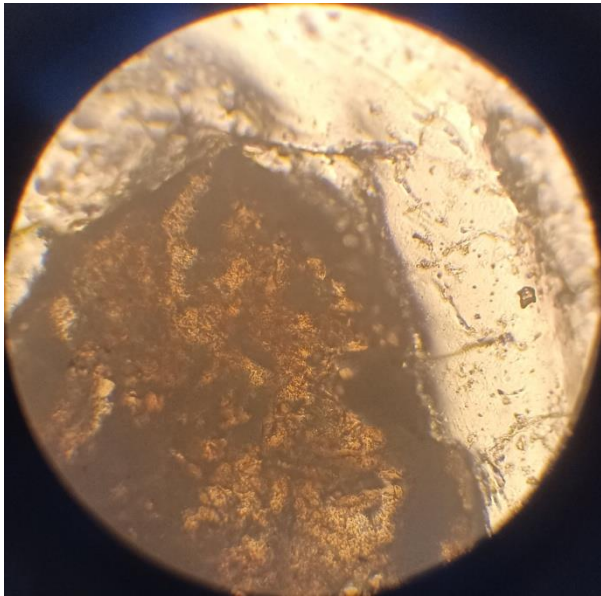
Рис. 1. Зовнішній вигляд досліджуваного зразка уrolіта

Найбільш представницькі та інформативні ділянки периферійної частини конкременту встановлені при мінералого-петрографічному дослідженні шліфа наведени на рисунках 2 і 3.

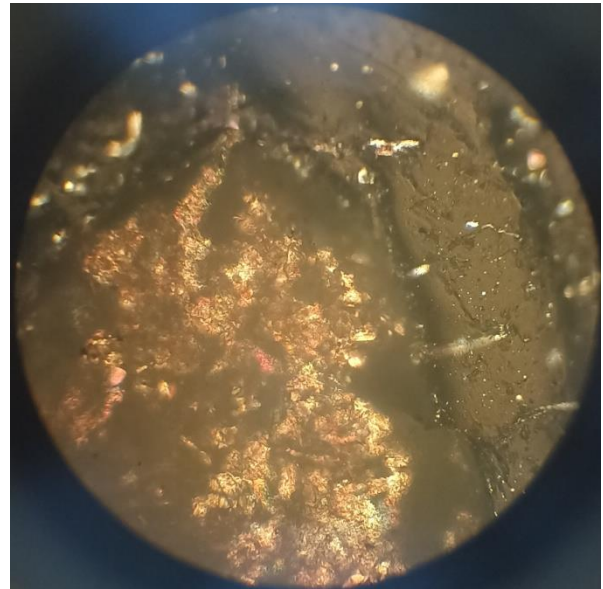
На рисунку 2 у полі зору основна частина шліфу складена агрегатом інтенсивно мікроблочних досить великих кристалів вевелліту (оксалат моногідрат кальцію) першої генерації. З правої зовнішньої частини конкременту спостерігається агрегат високодисперсних сферолітів моногідрату сечової кислоти. Аналіз взаємовідносини мінеральних фаз свідчить про послідовну зміну мінералоутворення у ряді: **вевелліт (оксалат) → моногідрат сечової кислоти (урат)**. У полі зору органічна речовина здебільшого сконцентрована у вигляді найтонших плівок (так звана «органічна сорочка») вздовж поверхні кристалів та їх мікроблоків, а також у вигляді численних тонкодисперсних включень у мікроблоках окремих кристалів.

На рисунку 3 у полі зору основна частина шліфу складена агрегатом великих мікроблочних кристалів вевелліту (оксалат моногідрат кальцію) першої генерації. У поровому просторі між великими кристалами вевелліту першої генерації (воно розташовано трохи вище центру поля зору) як заповнювальний матеріал спостерігається зональне зерно вевелліту другої генерації. Також у полі зору

органічна речовина здебільшого сконцентрована у вигляді найтонших плівок («органічна сорочка») вздовж поверхні кристалів та їх мікроблоків, а також у вигляді численних тонкодисперсних включень у мікроблоках окремих кристалів.

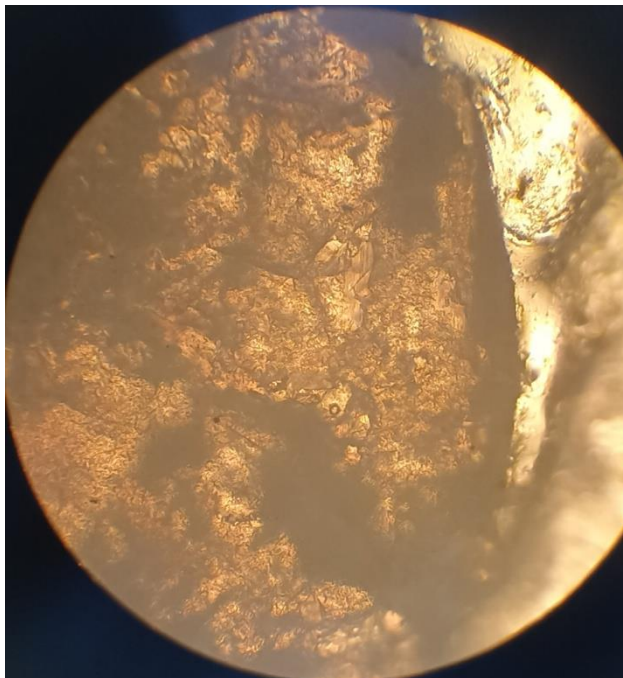


а

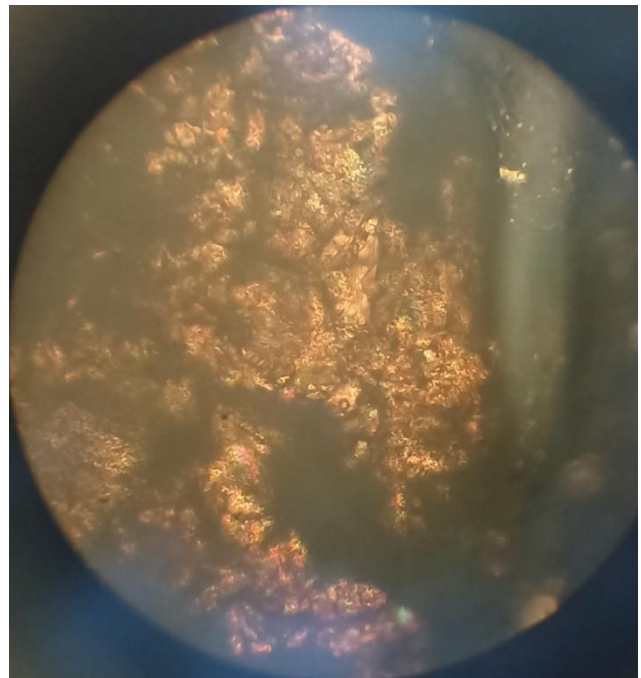


б

Рис. 2. Мікрофотографії периферійної частини зразка: а - просте світло, що проходить, б - поляризоване світло, що проходить. Збільшення $\times 75$.



а



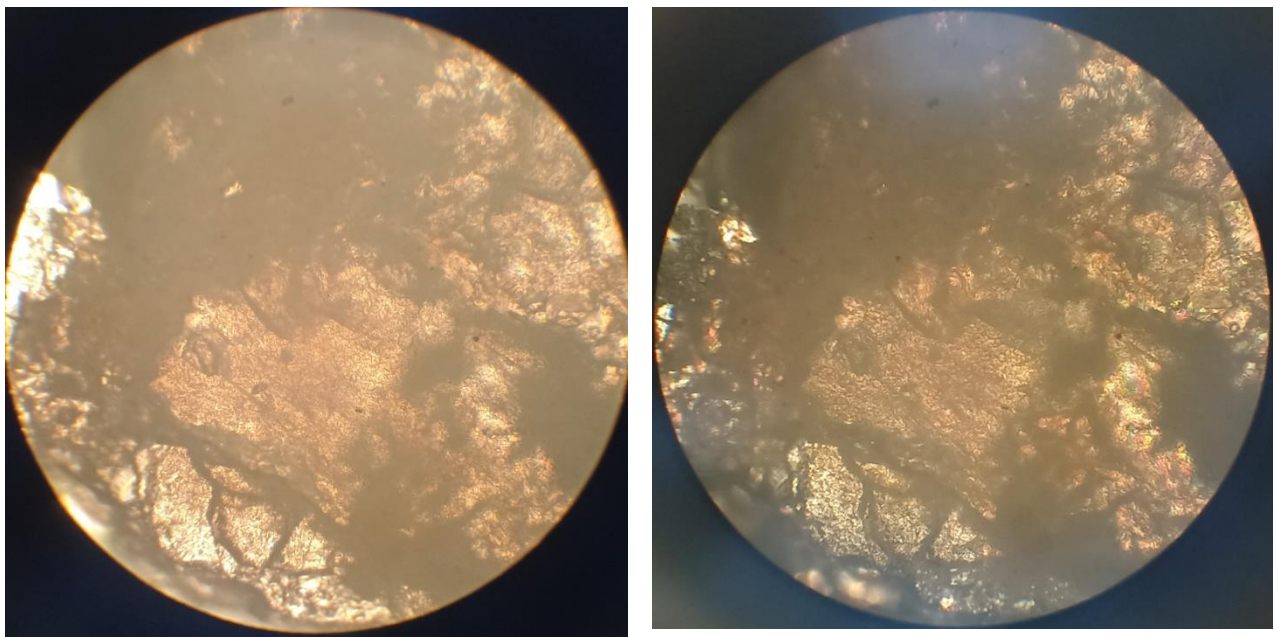
б

Рис. 3. Мікрофотографії периферійної частини зразка: а - просте світло, що проходить, б - поляризоване світло, що проходить. Збільшення $\times 75$.

Найбільш інформативні та представницькі ділянки центральної частини конкременту, що встановлені при мінералого-петрографічному дослідженні шліфа наведені на рисунках 4, 5 та 6.

На рисунку 4 у центральній частині поля зору спостерігається великий ідіоморфний мікроблочний кристал вевелліту першої генерації, що безпосередньо наростає на «органічне ядро». У нижній частині мікрофотографії розташовані полігональні дрібніші кристали вевелліту першої генерації. У правій верхній частині мікрофотографії знаходиться основна частина органічного ядра. «Органічне ядро» представлено скупченням органічної речовини імпрегнованої дрібними кристалами вевелліту, які формують його мінеральний каркас.

На рисунку 5 на перехресті ниток спостерігається зона контакту «органічного ядра» (розташоване ліворуч від перехрестя ниток) та основного тіла уроліту. В основному тілі уроліту у напрямку від його центру до периферії чітко фіксується різка зміна напряму загального подовження кристалів вевелліту. Цей факт найімовірніше обумовлений переміщенням (зміною становища) сечового конкременту у просторі чи сечового міхура чи ниркової балії. Причому цьому явищу передувала поява кількох згустків органічної речовини.



а

б

Рис. 4. Мікрофотографії центральної частини зразка: а - просте світло, що проходить, б - поляризоване світло, що проходить. Збільшення x 75.

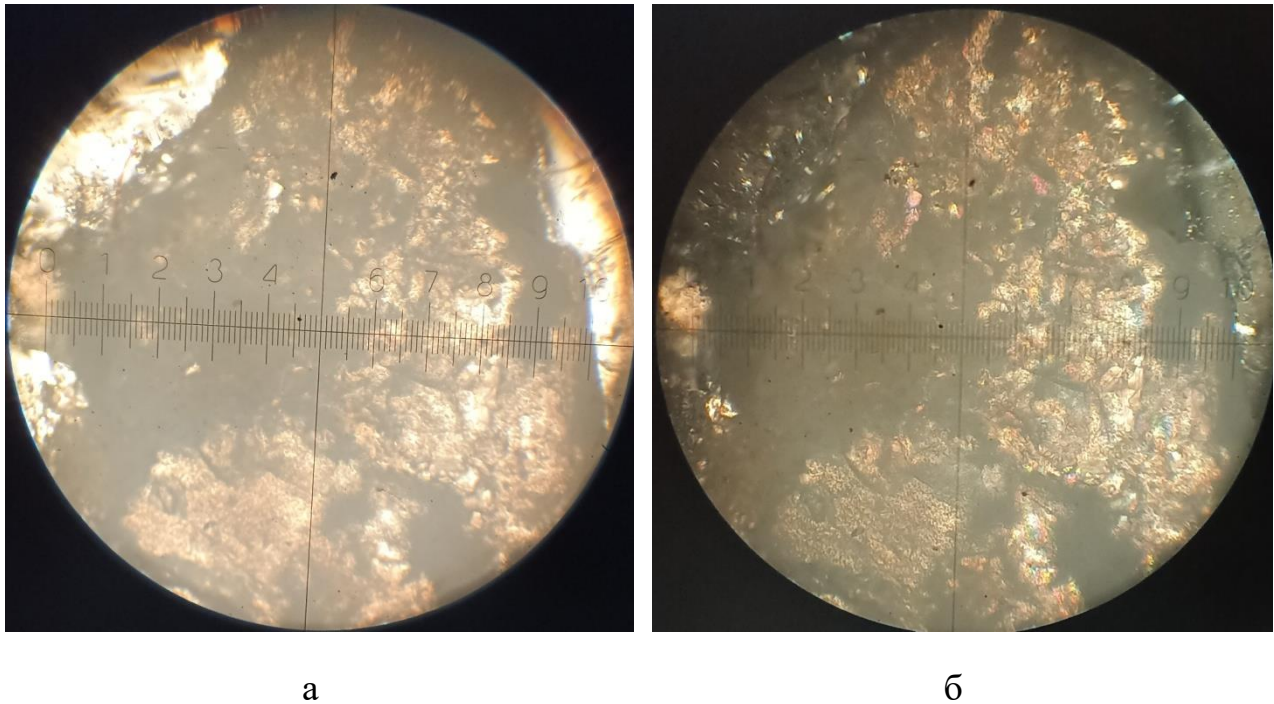
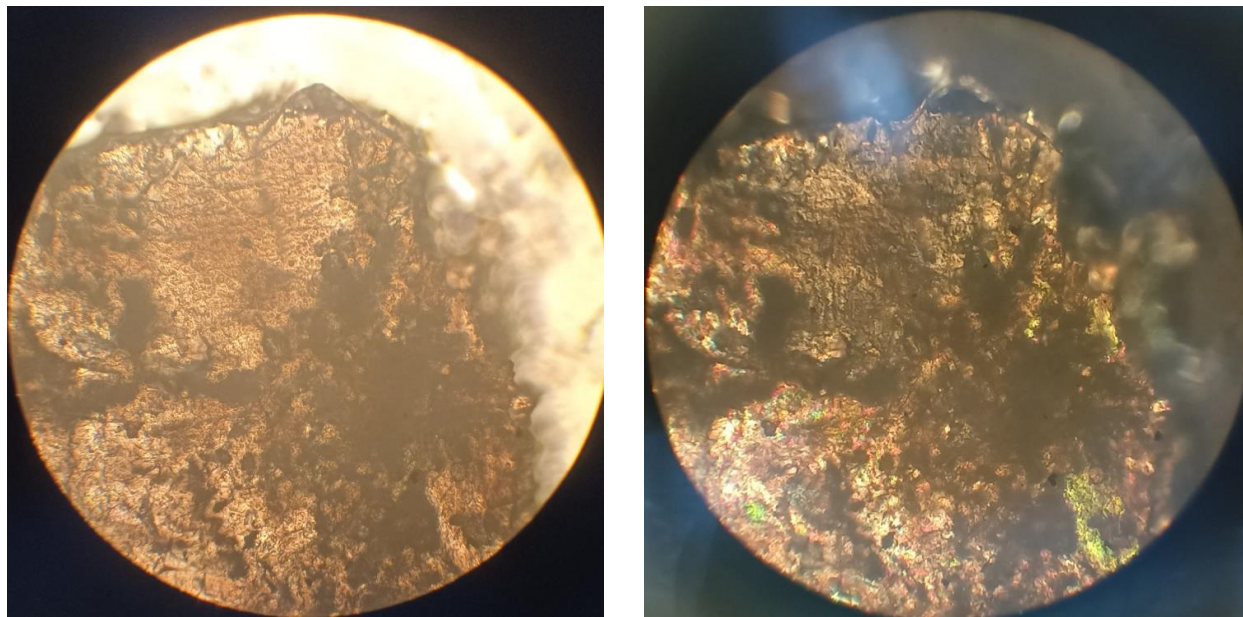


Рис. 5. Мікрофотографії центральної частини зразка: а - просте світло, що проходить, б - поляризоване світло, що проходить. Збільшення x 75.

В процесі досліджень з'явилася думка про необхідність більш детального спостереження взаємовідносин мінеральної та органічної речовини в органічному ядрі досліджуваного біомінерального утворення. З цією метою було проведено додаткове пришліфування пластини зразка (до товщини шліфа біля 0,01 мм). Результати спостереження у мікроскопі ділянки органічного ядра після цієї операції наведені на рисунку 6.

Ця операція дозволила виявити високодисперсну комковату структуру органічної речовини в «органічному ядрі», однозначно встановити наявність у ньому мінерального каркасу та наочно виявити особливості локалізації органічної речовини в основному тілі уроліту на різних масштабних рівнях («органічна сорочка» окремих агрегатів та кристалів, «органічна сорочка» окремих мікроблоків усередині кристалів та органічні включення у мікроблоках кристалів вевелліту. Крім того, це дозволило виявити в центрі органічного ядра найранішу тверду фазу, яка і була своєподібним тригером, центром кристалізації всього досліджуваного січового конкременту (Рис. 7). Це концентрично зональний агрегат, який складено орґано-мінеральними шарами то з перевагою органічної речовини, то мінеральної, що ритмічно чергуються. При чому мінеральна складова представлена виключно вевеллітом.



а

б

Рис. 6. Мікрофотографії центральної частини зразка: а - просте світло, що проходить, б - поляризоване світло, що проходить. Збільшення x 75.

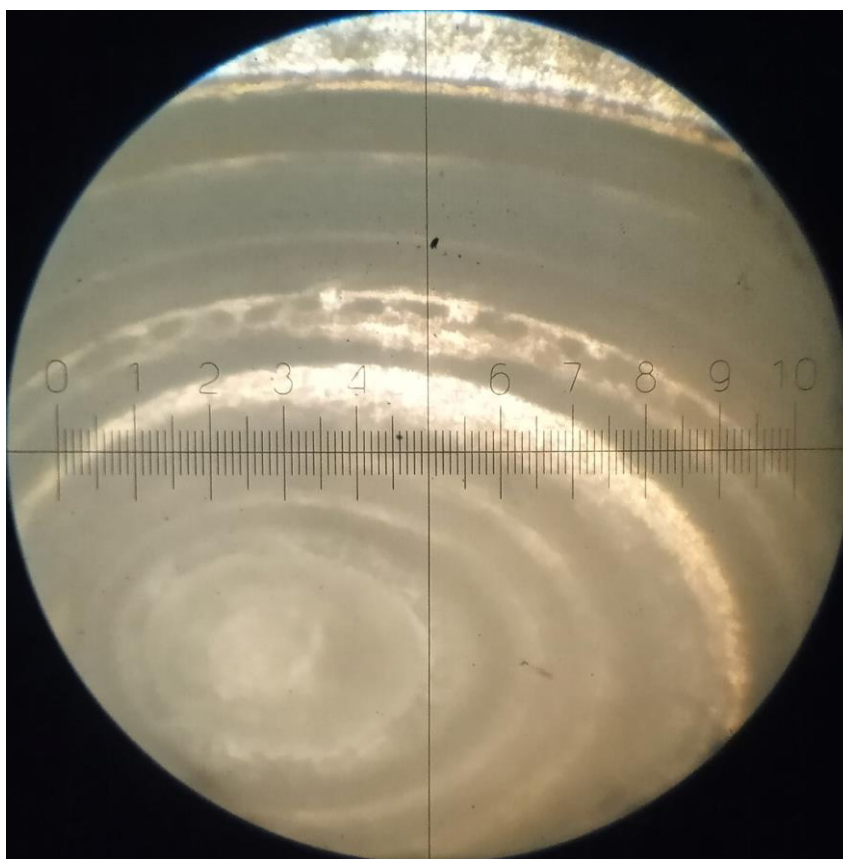


Рис. 7. Мікрофотографія центральної частини органічного ядра, просте світло, що проходить. Збільшення x 200.

Висновок щодо складу зразка уроліту за результатами мінералого-петрографічних досліджень: оксалати (вевеліт) – $73,7 \pm 4,7\%$, урати (моногідрат сечової кислоти) – $4,2 \pm 0,2\%$, органічна речовина $22,1 \pm 2,6\%$.

За результатами рентгенофазового аналізу була отримана дифрактограма, яку наведено на рисунку 8.

Висновок щодо складу зразка уроліту за результатами рентгенофазового аналізу: оксалати - вевеліт – 87%, ведделіт – 8%; урати - моногідрат сечової кислоти – 4%, дигідрат сечової кислоти – сліди $\leq 1\%$.



Рис. 8. Дифрактограма зразка уроліта.

Основні загальні висновки. 1. Мікроструктура переважно дрібнокристалічна, гіпідіоморфна. Зразок є біомінеральним агрегатом, що складається головним чином з окремих кристалів оксалату кальцію (вевеліту) і скупчень органічної речовини. 2. Найдрібніші сферолітові утворення моногідрату сечової кислоти формують лінзовідні скупчення, що розташовуються у вигляді своєрідної скоринки на окремих ділянках зовнішньої поверхні основного тіла конкременту. 3. Слід зазначити наявність 2 генерацій вевеліту, характерну для уролітів мікроблочну будову та загальну дефектність

у будові та морфології всіх мінеральних фаз. 4. У центральній частині зразка фіксується наявність органічного ядра. Особливістю його структури є наявність мінерального каркасу, що складається зі сплутано-волокнистого агрегату та окремих кристалів вевелліту, що імпрегнують скупчення органічної речовини неправильної форми. У свою чергу, це скупчення органічної речовини являє собою гронкоподібний агрегат, краплеподібних та сферолітових виділень органіки близького складу. 5. В основному тілі уроліту органічна речовина розподілена нерівномірно. Його основна частина зосереджена у вигляді тонких плівкових покриттів на поверхні кристалів та високодисперсних включень між окремими мікроблоками мінеральних зерен. Істотно менша кількість органіки локалізована в тріщинах та мікропорах.

Список літератури

1. Lonsdale K. Human Stones // Science, 1968. Vol. 159. P. – 1199-1207.
2. Козар М.А., Ішков В.В., Козій Є.С. (2021). Мінеральний склад уролітів мешканців Придніпров'я. Геологічна наука в незалежній Україні: Збірник тез наукової конференції (Київ, 8 - 9 вересня 2021 р.). / НАН України, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ. С.52 - 55.
3. Barannik S., Ishkov V., Barannik S. Peculiarities of structure and morphogenesis of ureatic stones in residents of developed industrial region. The XX International Scientific and Practical Conference «Problems of science and practice, tasks and ways to solve them», May 24 – 27, 2022, Warsaw, Poland. 874 p. P. 350 - 354.
4. Ішков В.В., Козій Є.С. (2021). Особливості морфології органо-мінеральних утворень нирок населення міста Кам'янске. Проблеми розвитку гірничо-промислових районів: матеріали IV-ї міжнародної науково-технічної конференції. ДонНТУ. С. 33 – 35.
5. Ишков В. В., Светличный Э. А., Труфанова М. А. О минеральном составе уролитов жителей города Днепропетровска // Збірник наукових праць НГУ. – 2015. – № 47. – С. 5 – 14.
6. Ишков В. В., Светличный Э. А., Труфанова М. А. Особенности морфологии уролитов жителей города Днепропетровска // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2015. – №. 46. – С. 5-10.
7. Features of the structure of urate urolithiasis in inhabitants of an industrially developed region / Barannyk Kostyantyn, Ishkov Valeriy, Molchanov Robert, Barannyk Serhiy // Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the IV International Scientific and Theoretical Conference, May 5, 2023, Sydney, Australia. – Sydney, 2023. – Pp. 171-174. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163407>
8. Про особливості мінерального складу дрібних сечевих конкрементів мешканців міста Нікополь / Ішков В. В., Бараннік К. С., Козій Є. С., Владик Д. В. // Геотехнічні проблеми розробки родовищ : матеріали XXI міжнародної конф. молодих вчених (26 жовтня 2023 року, м. Дніпро). – Дніпро : ІГТМ ім. М. С. Полякова НАН України, 2023. – С. 176-178. – Режим доступу : <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/165357>

9. Ішков В. В., Козій Є. С., Бараннік С. І. Деякі морфоструктурні та мінеральні особливості дрібних уролітів мешканців Кривого Рогу //Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 5-17. – Режим доступу : <http://repo.dma.dp.ua/id/eprint/8678>
10. Ішков В.В., Козій Є.С., Труфанова М.О. Особливості онтогенезу уролітів жителів Дніпропетровської області // Мінералогічний журнал, 2020. №42(4). – С. 50 - 59. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.050>
11. Ішков В.В., Козій Є.С., Труфанова М.О. Деякі особливості онтогенезу уролітів мешканців міста Запоріжжя / Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття (MinGeoIntegration ХХІ). Збірник праць Всеукраїнської конференції. Київ, 28-30 вересня 2021 р. // Київ: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, 2021. – С. 223-227.
12. Ішков В.В., Козій Е.С. Патогенні органо-мінеральні утворення нирок жителів техногенно-навантажених регіонів (на прикладі м. Павлоград). / Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів. Тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Житомир, 21-22 жовтня 2021 р. // Житомир: Житомирська політехніка, 2021. – С. 43-46.