

УДК 54

О.О. Підмурняк¹, А.Я. Ганзюк², О.І. Стремецький²*Хмельницька обласна лікарня¹**Хмельницький національний університет²***СТРУКТУРА, МІНЕРАЛЬНИЙ ТА ХІМІЧНИЙ СКЛАД СЕЧОВОГО КАМІННЯ**

Интерпретовано ІЧ-спектри досліджуваних конкрементів та встановлено їх мінералогічний склад. Відношення каменів змішаного типу до тої чи іншої групи проводили по основній компоненті, яка становить більше 50% всієї мінеральної основи. Досліджено поверхні зразків уратного каміння за допомогою атомно-силової мікроскопії; отримано 2D і 3D фото, оцінено розміри наночастинок, що входять до їх складу. Рентгеноструктурний аналіз підтвердив мінералогічний склад уратного каміння, який взаємопов'язаний з результатами ІЧ-спектроскопії. Проаналізовано показники елементного складу конкрементів, які корелюють з їх мінералогічним складом згідно з результатами ІЧ-спектроскопії. Охарактеризовано основні фізико-хімічні показники води та встановлено кореляцію між ними та мінералогічним складом досліджуваного уратного каміння. Використання сучасних методів аналізу, а саме: рентгеноструктурного, рентгенофлуорисцентного, ІЧ-спектроскопії, атомно-силової спектроскопії дає можливість оцінити структуру, хімічний та мінералогічний склад досліджуваних конкрементів.

Ключові слова: конкременти, інфрачервона спектроскопія, рентгенофлуоресцентний аналіз, атомно-силова мікроскопія.

А.А. Підмурняк, А.Я. Ганзюк, А.И. Стремецкий**СТРУКТУРА, МИНЕРАЛЬНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОЧЕВЫХ КАМНЕЙ**

Интерпретировано ИК-спектры исследуемых конкрементов и установлено их минералогический состав. Отношение камней смешанного типа к той или иной группе проводили по основной компоненте, которая составляет более 50% всей минеральной основы. Исследованы поверхности образцов уратных камней с помощью атомно-силовой микроскопии; получено 2D и 3D фото, оценены размеры наночастиц, входящих в их состав. Рентгеноструктурный анализ подтвердил минералогический состав уратных камней, который коррелирует с результатами ИК-спектроскопии. Проанализированы показатели элементного состава конкрементов, которые коррелируют с их минералогическим составом согласно результатам ИК-спектроскопии. Охарактеризованы основные физико-химические показатели воды и установлено взаимодействие между ними и минералогическим составом исследуемого конкремента. Использование современных методов анализа, а именно: рентгеноструктурного, рентгенофлуорисцентного, ИК-спектроскопии, атомно-силовой спектроскопии дает возможность оценить структуру, химический и минералогический состав исследуемых конкрементов.

Ключевые слова: конкременты, инфракрасная спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-силовая микроскопия.

O. Pidmurniak, A. Hanzjuk, O. Stremetskyi**STRUCTURE, MINERAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF URINARY STONES**

The infrared spectra of the investigated concrements were interpreted and their mineralogical composition was established. Mixed type stones were included into a specific group based on the main component which constituted more than 50% of their mineral base. The surface of urinary stones samples was studied by atomic force spectroscopy; 2D and 3D photos were taken, the size of the nanoparticles that were present in the samples was estimated. X-ray diffraction confirmed the mineralogical composition of urinary stones, which is interrelated with the results of IR spectroscopy. The indexes of elemental composition of concrements, which correlate with their mineralogical composition according to the results of IR spectroscopy, were analyzed. The basic physical and chemical parameters of the water were defined and the correlation between them and the mineralogical composition of the investigated urinary stones was established. The use of the modern methods of analysis, namely: X-ray diffraction, X-ray fluorescence, IR spectroscopy, atomic force spectroscopy made it possible to estimate the structure, chemical and mineralogical composition of the investigated concrements.

Key words: concrements, infrared spectroscopy, X-ray fluorescence analysis, atomic-strength microscopy.

Постановка проблеми. Сечокам'яна хвороба є однією з найпоширеніших урологічних захворювань з рецидивним перебігом, що тягне за собою розвиток запальних і склеротичних ускладнень в нирках. За останні 50 років в урологічній літературі практично не з'являлось жодного комплексного дослідження сечового каміння. При вивченні цієї проблеми виникали численні труднощі. Сама назва і сутність патології – аспект теоретичних і прикладних задач урології. Але «продукт» цього хворобливого стану лежить поза меж компетенції медичних знань. А між тим, знання законів онтогенезу сечових каменів, є фундаментом в лікувальних і, тим більше, в профілактичних заходах.

Об'єкт дослідження: конкременти та їх фрагменти.

Предмет дослідження: процеси формування і утворення уратного каміння; встановлення кореляції між складом конкрементів та фізико-хімічними показниками води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кристал – періодично впорядкована система атомів, іонів або молекул, організованих в ряди і плоскі сітки, що чергуються з певним періодом [2-4]. Зростання кристала відбувається за рахунок приєднання частинок з рідини або газу, що оточують зростаючий кристал, і добудовування нових плоских сіток. Система, в якій росте кристал, завжди містить дві субстанції, розділені границею поділу [21-24]. У класичному варіанті одна з них складається з рухомих частинок, є рідиною або газом, і називається ростовим середовищем. Друга фаза складається з практично нерухомих частинок - це і є тверде тіло, тобто кристал. Перебуваючи в постійному русі, частки рідини або газу стикаються з кристалом [15]. В результаті цього зіткнення частка або відскакує від поверхні, подібно тенісному м'ячу, або приєднується до неї [1-5]. Частинка, осаджена на поверхню кристала, може відразу міцно зв'язатися з його кристалічною решіткою і потім утримуватися в цьому положенні. Такий механізм росту кристалу називається нормальним. Він найбільш простий для розуміння, але в природі практично не реалізовується. Найчастіше частка зберігає можливість переміщення по поверхні грані і потім вбудовується тільки в найбільш енергетично вигідні позиції, утворюючи так звані «ростові ступені» на поверхні кристала. У більшості випадків в природних мінералоутворюючих системах реалізується саме цей механізм росту, іменованій пошаровим або тангенціальним. Частка, вбудована всередину кристала, знаходиться у взаємодії з іншими частинками кристала і утримується в цьому положенні силами хімічного зв'язку. У процесі росту кристали багатоеlementних сполук вимагають надлишку в ростовому середовищі всіх складених їх компонентів. Зокрема, зростання водних кальцію оксалатів в нирках, вимагає обов'язкової присутності надлишку як Ca^{2+} , так і $(\text{C}_2\text{O}_4)^{2-}$ іонів, при чому в хімічно активних формах, готових до безпосереднього закріплення в кристал [6-8].

Особливості кристалізаційних явищ в нирці в значній мірі визначаються тим, що мінералоутворююче середовище – сеча, характеризується транзиторними перенасиченнями і являє собою не іонний, а колоїдний розчин. У фізіологічних умовах цей перенасичений розчин зберігає гомогенність і існує без явищ кристалізації при 2-3 кратному перевищенні концентрацій відповідних компонентів над розчинністю основних каменеутворюючих фаз - оксалатів кальцію, фосфатів кальцію, магнію і амонію, а також сечової кислоти [5]. В основі механізму запобігання зростання мінеральних фаз в сечовій системі лежить процес утримання катіонів та аніонів в розчиненому стані за допомогою переходу їх з хімічно активних іонних форм в комплексні сполуки. Інгібіторами каменеутворення виступають неорганічні субстанції і макромолекулярні білкові сполуки. Реальні форми знаходження іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(\text{C}_2\text{O}_4)^{2-}$, $(\text{PO}_4)^{3-}$, $(\text{HPO}_4)^{2-}$ в сечі часто невідомі. Тому навіть знання їх абсолютних концентрацій не дозволяє дати достовірний прогноз формування сечових каменів певного мінерального складу в організмі конкретного пацієнта [18-19].

Крім того, необхідно враховувати той факт, що одні й ті ж компоненти сечі в залежності від типу уролітіазу є як інгібіторами, так і промоторами каменеутворення, що надзвичайно ускладнює завдання пошуку кількісних закономірностей, що пов'язують особливості сечі з характером каменеутворення. При першому наближенні задовільний клінічний прогноз може бути отриманий при визначенні активності катіонів та аніонів з урахуванням іонної сили і рН сечі. У зв'язку з цим, велика група дослідників відзначала, що ступінь достовірності прогнозу небезпечної ситуації підвищується при використанні програмних пакетів, розрахунком ризику – індексів каменеутворення, а також інших показників, що визначають ступінь порушення метаболізму і побічно оцінюють можливість формування каменів. Основним напрямком при цьому є кількісна оцінка внеску розчинних комплексних сполук та іонних пар в загальний баланс Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , $(\text{NH}_4)^+$, $(\text{PO}_4)^{3-}$, $(\text{C}_2\text{O}_4)^{2-}$, $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ в сечі пацієнтів [6].

Необхідно відзначити, що утворення уролітів не може проходити осторонь від термодинамічного стану сечі. Перенасичення колоїдного розчину сечі відбивається на зміні поверхнево вільної енергії розділу рідина-тверде тіло. Це призводить до підвищення активності процесів нуклеації, агрегації і епітаксії. У формуванні конкрементів важливу роль відіграють не тільки термодинамічні, але і кінетичні чинники. Це суттєво ускладнює фізико-хімічний аналіз потенційних кристалізаційних явищ і робить необхідним комплексний облік взаємодії ступеня пересичення розчину, наявності інгібіторів, що перешкоджають виникненню мікрокристалів і їх агрегування, характеру органічної матриці, явищ епітаксії, а також позиції, в якій відбулося зародження і розростання уроліту. Зростання мінеральних фаз в такому «кристалізаторі» як нирка буде визначатися, по-перше, колоїдним станом розчину і його високим пересиченням, по-друге,

дискретним характером надходження рідини в нирку і, по-третє, стислістю періодів наповнення і спорожнення ниркової миски[15-17].

Постановка завдання. Мета роботи полягала у дослідженні структури, хімічного та мінералогічного складу досліджуваних конкрементів для встановлення зв'язку з основними фізико-хімічними показниками води.

Викладення основного матеріалу. Матеріалом для досліджень послужили результати аналізу мінерального складу 39 сечових каменів від 16 жінок і 23 чоловіків, вікова категорія яких становила від 20 до 75 років. Мінеральний склад конкрементів або їх фрагментів визначали методом інфрачервоної спектроскопії на ІЧ-Фур'є спектрометрі Shimadzu (Японія) з використанням бібліотеки спектрів сечових каменів відомого складу[9]. Відношення каменів змішаного типу до тієї чи іншої групи проводили по основній компоненті, яка становить більше 50% всієї мінеральної основи.

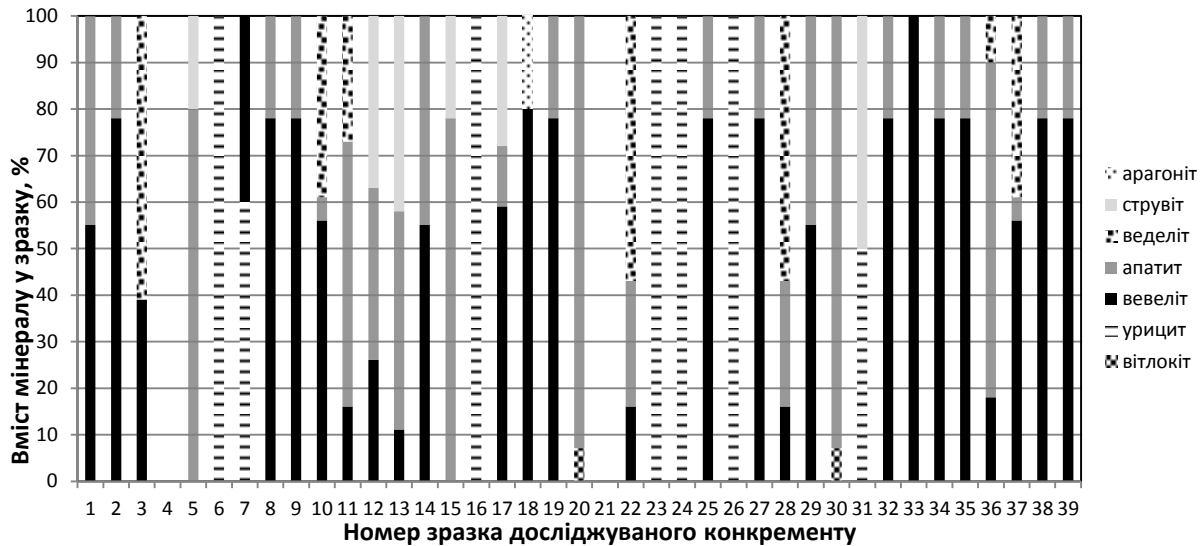


Рис. 1. Наявність мінералів у досліджуваних конкрементах

З результатів визначення складу (рис. 1), можна зробити висновок, що мінералу Вітлокіту у досліджуваних зразках конкрементів міститься 5,10%; Урициту— 17,90%; Вевеліту - 66,60%; Ведделіту— 17,95%; Струвіту— 15,38%; Арагоніту – 2,5 %.Зразок 18 і 19 з правої і лівої нирки одного пацієнта, але їх сечові конкременти відрізняються мінеральним складом. У лівій нирці присутні Арагоніт та Вевеліт, а у правій – Апатит та Вевеліт. Серед 39 респондентів у шести з них виявлено Струвіт, який відноситься до так званих «інфекційних» кальцієвих камінців, що утворюється при інфекції сечових шляхів уреазопродуючою флорою.

На рисунках2-3 наведено ІЧ спектри деяких досліджуваних зразків сечового каміння.

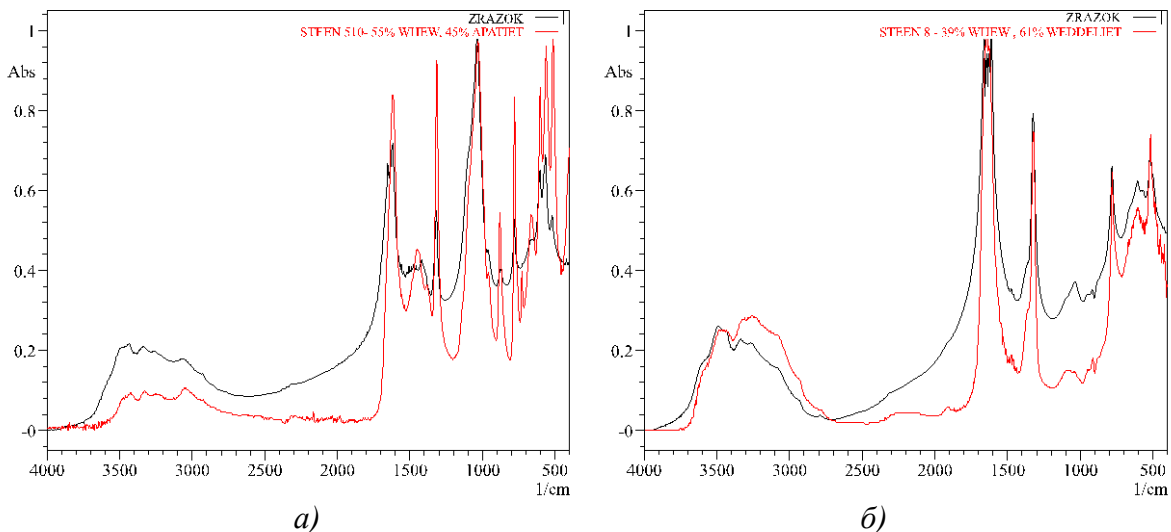


Рис. 2.ІЧ-спектри конкрементів складу: а) 55% Вевеліт45% Апатит та б) 39% Вевеліт61%Ведделіт

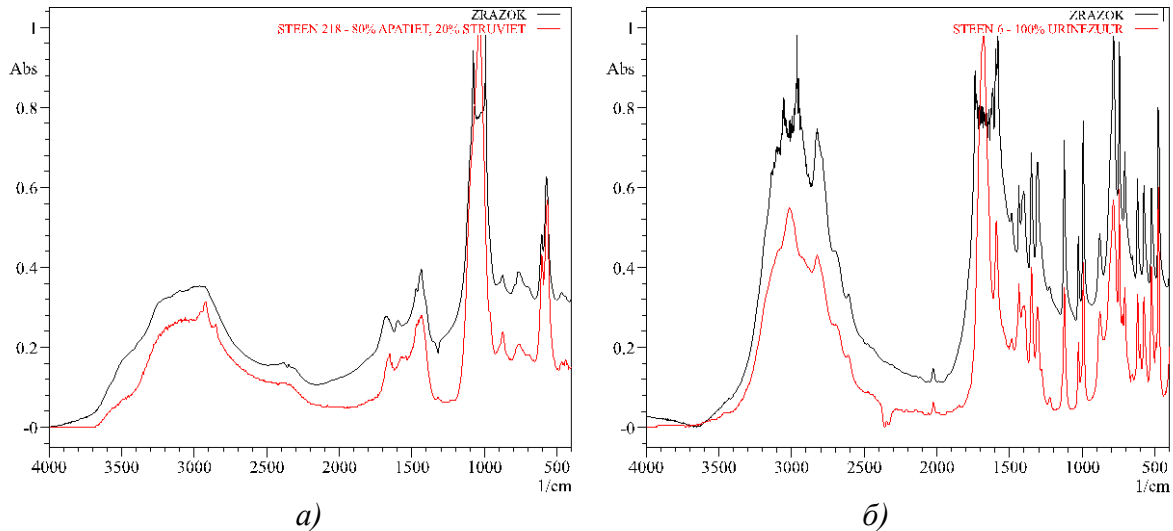


Рис. 3. ІЧ-спектри конкрементів складу: а) 80% Апатит 20% Струвіт та б) 100% Урицит

Елементний склад отриманий за допомогою енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного методу наведено у таблицях 1-3:

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних зразків конкрементів з вмістом 43% Вевеліт 57% Апатит

Вміст оксидів та елементів	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	O	Al	P	Ca
Зразок конкременту	4,435	41,513	54,051	44,396	2,347	23,587	29,670

Таблиця 2

Хімічний склад досліджуваних зразків конкрементів з вмістом 100% Вевеліт

Вміст оксидів та елементів	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	O	P	S	Ca	Fe
Зразок конкременту	33,781	8,620	46,695	10,905	38,930	4,759	16,909	33,373	6,029

Таблиця 3

Хімічний склад досліджуваних зразків конкрементів з вмістом 40% Вевеліт 60% Урицит

Вміст оксидів та елементів	SiO ₂	CaO	ZnO	P ₂ O ₅	O	P	S	Ca	Zn
Зразок конкременту	2,173	76,031	0,114	20,197	34,948	8,814	0,077	54,339	0,092

Слід зазначити, що найбільший вміст Ca знаходиться у зразку конкрементів складу 40% Вевеліт – 60% Урицит, а найменший – у 43% Вевеліт– 57% Апатит.

Морфологію досліджуваних конкрементів оцінювали за допомогою атомно - силового мікроскопа NT-206 фірми "Мікротестмашини" (м. Гомель, Білорусь) із стандартним зондом CSC37 і жорсткістю консолі 0,3 - 0,6 Н/м. Сканування проводили в контактному статичному режимі зі швидкістю 10 мкм/с і кроком 0,3 нм. Зразки для АСМ отримували нанесенням дисперсії частинок в спирт або гексані на кварцове скло з подальшим випаровуванням розчинника. Зразок складу

59% Апатит–41% Струвіт містить наночастинки, які утворюють укрупнені агрегати та вистроюються в лінійні ланцюги. На рисунках 4-7 представлені виділені фрагменти з лінією перерізу 1-2. Діаметр частинок становив 2,5; 4,4; 4,1 нм.

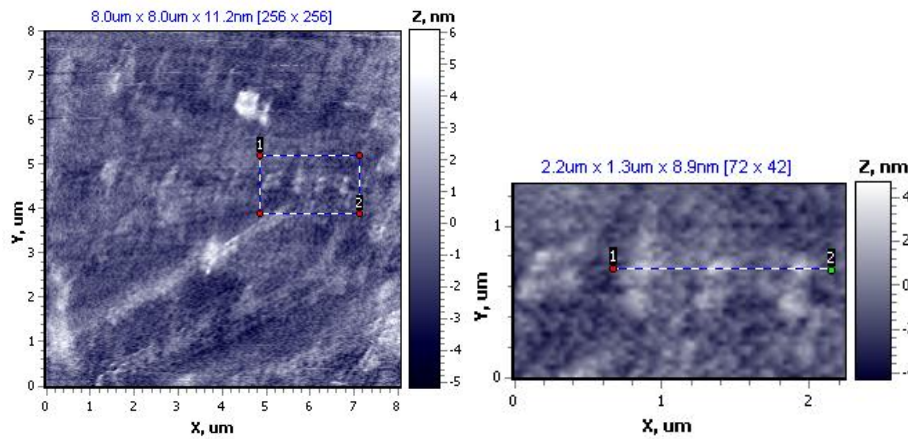


Рис.4. Виділений фрагмент з лінією перерізу 1-2

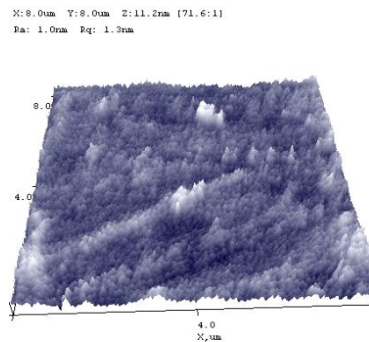


Рис. 5. 3D зображення поверхні досліджуваного конкрементускладу 59% Апатит 41% Струвіт

Зразок конкременту з мінеральним складом 85% Урати– 15% Вевеліт містить дрібні наночастинки, витягнуті агломерати і один великий агрегат. Діаметри частинок становили 6, 7; 8,8 нм.

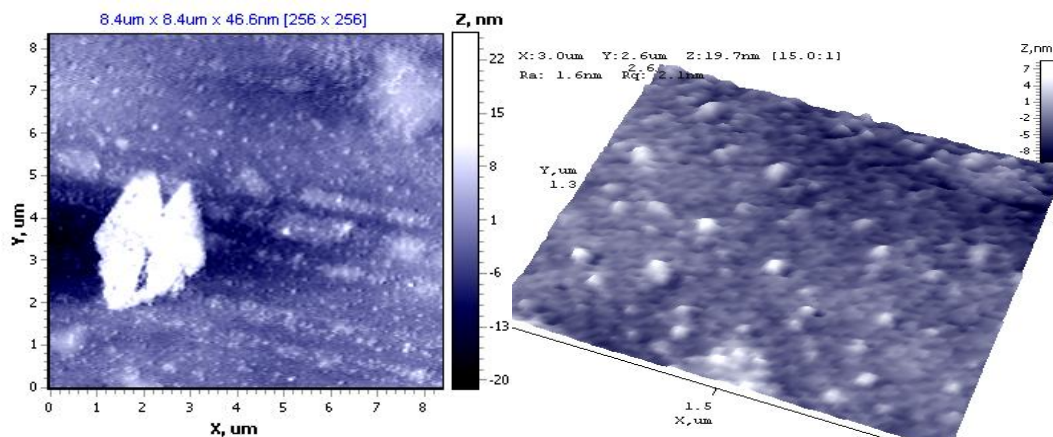


Рис.6. 3D зображення поверхні досліджуваного конкременту з мінеральним складом 85% Урати15% Вевеліт

Багатофазний зразок конкременту складу Вевеліт 62% –Вітлокіт 25% –Веделіт – 13% містить витягнуті агрегати з наночастинок. На рисунках представлені виділені фрагменти з лінією перерізу 1-2 та 3Dзображення досліджуваного конкременту. Висота агрегатів становила 30,9; 54,7; 47,8 нм, а їх довжина - 478,8 нм.

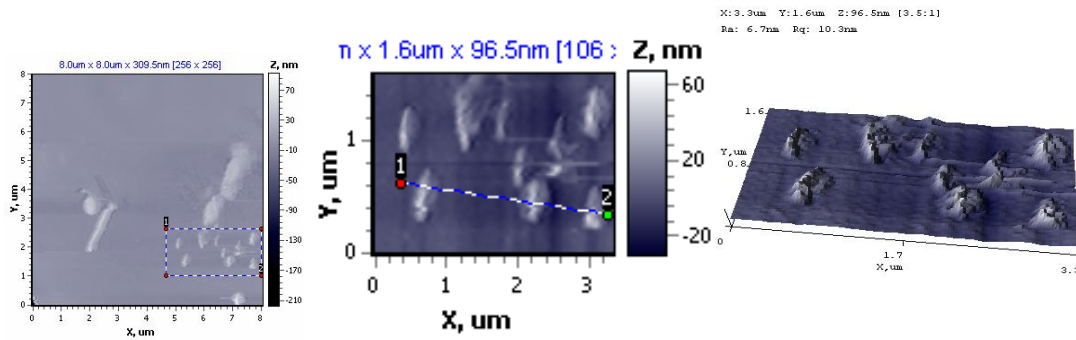


Рис. 7. Виділені фрагменти з лінією перерізу 1-2 та 3D зображення досліджуваного конкременту складу Вевеліт 62% Вітлокiт 25% Веделіт13%

Для детального дослідження структури уратного каміння проведено рентгеноструктурний аналіз, а на рисунку 8 наведені порошкові рентгенограми зразків, відібраних, відповідно, з внутрішньої і приповерхневої частин досліджуваних конкрементів. Спільною рисою досліджених фрагментів є слабо інтенсивні дифракційні картини, що особливо характерні для внутрішніх частин каменів. Це може бути обумовлено тим, що більша частина матеріалів знаходиться в аморфному стані. Внутрішні слабо зцементовані частини великих виділень є матеріалом, який легко розтирається в ступці з утворенням білого порошку з бежевим відтінком. На рентгенограмах цієї частини каменю (рис. 8а) спостерігаються дифракційні відображення з міжплощинним відстанями 5,19; 4,06; 3,898; 3,436; 3,175; 3,079; 2,81; 2,778; 2,718; 2,627 Å.

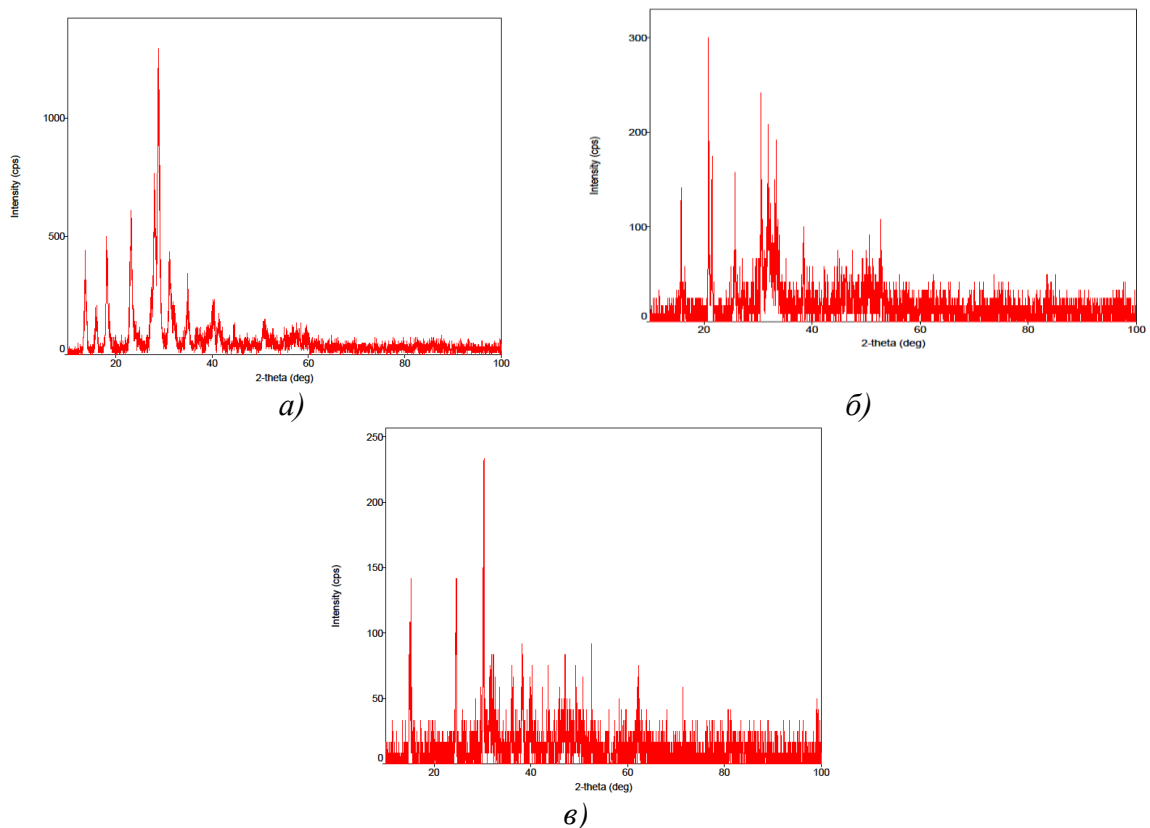


Рис. 8. Порошкова рентгенограма матеріалу з внутрішньої частини зразка конкременту в області 10 - 80° кутів 2θ. Віднесення дифракційних ліній: а) Ap–Апатит, St–Струвіт б) St –Струвіт, в) Wh - Вевеліт, Wt–Вітлокiт

На рентгенограмах наступного зразка досліджуваного конкременту (рис. 8б) спостерігаються дифракційні відображення з міжплощинними відстанями: 6,16; 5,93; 5,61; 5,38; 4,26; 4,14; 3,298;

2,96; 2,912; 2,803; 2,695; 2,655 Å, що відносяться до ортофосфату магнію і амонію –струвіту $MgNH_4PO_4 \cdot 2H_2O$.

На рентгенограмах третього зразка досліджуваного конкременту(рис. 8в) спостерігаються дифракційні відображення з міжплощинними відстанями: 5,890; 3,615; 2,943; 2,842Å, що відносяться до вевеліту $CaC_2O_4 \cdot H_2O$. В значно меншій кількості в цьому матеріалі присутній вітлокит $Ca_3(PO_4)_2$, який визначається за характерною для цього мінералу дифракційної лінії з міжплощинною відстанню 2,583Å.

Цікаво було прослідкувати взаємний зв'язок між фізико-хімічними показниками питної води (централізованого і децентралізованого водопостачання) та складом досліджуваних конкрементів. Вищевказані показники надані ДУ «Хмельницький обласний лабораторний центр МОЗ України» за останні чотири роки, а саме в період від 2014 по 2018 роки. Так як у Хмельницькому (в тому числі і м. Хмельницький) та Кам'янець-Подільському (в тому числі і м. Кам'янець-Подільський) районах за даними Хмельницької обласної лікарні зафіксована за 2018 рік найбільша кількість урологічних захворювань, то встановлення кореляції починали саме з цих населених пунктів. Показники порівнювались з існуючими Державними Санітарними нормами по воді Д Сан Пін 2.24-171-10. На рисунку9 представлено вміст амонію, нітритів, сульфатів у питній воді Хмельницького району та наведені показники жорсткості води (до уваги взято тільки ті фізико-хімічні показники, що перевищили норми Д Сан Пін).

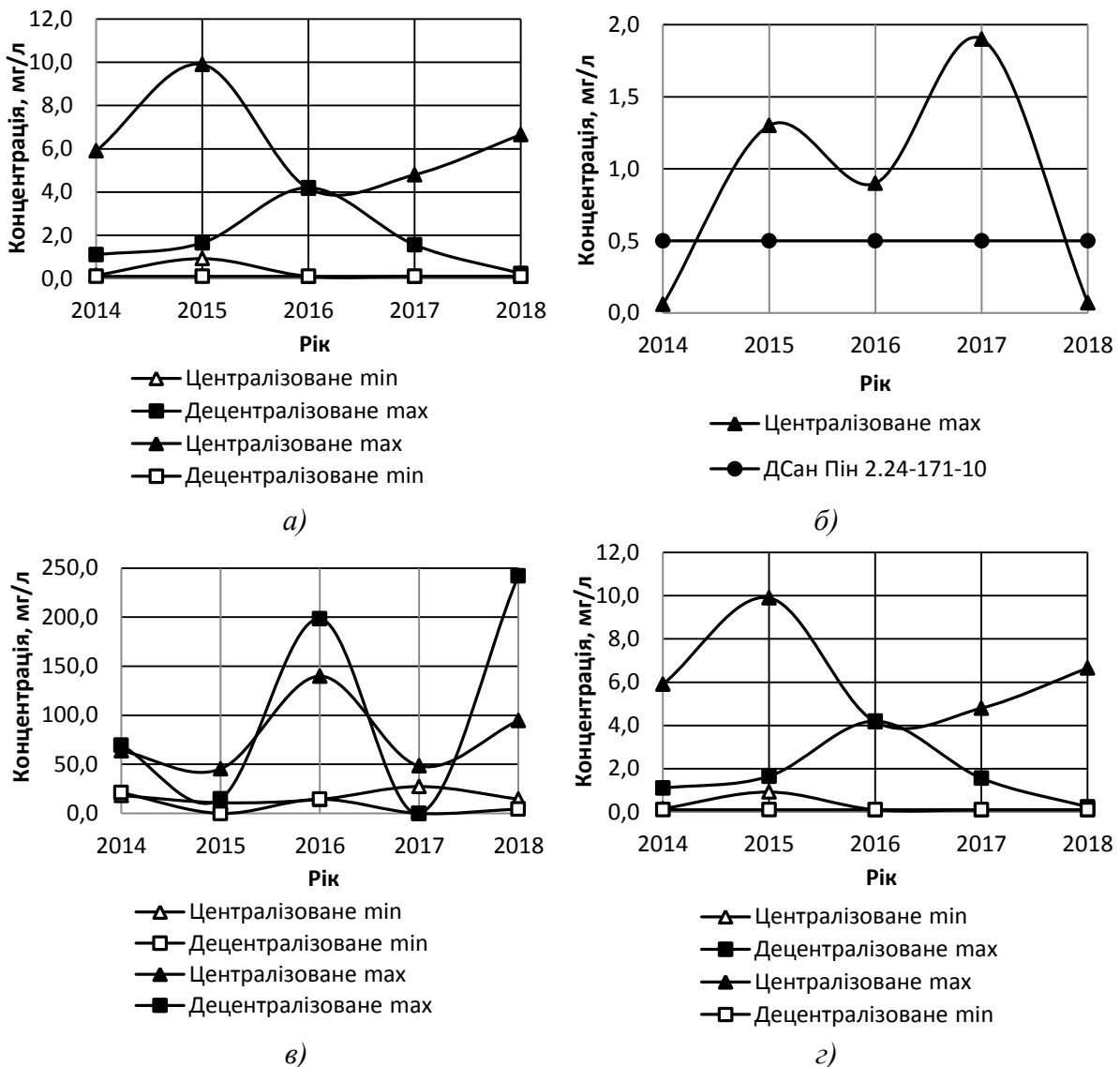


Рис. 9. Вміст у питній воді м. Хмельницький а) амонію, б) нітритів, в) сульфатів, г) солей жорсткості (жорсткість води)

На протязі 2014-2018 років вміст заліза у воді перевищує норми ДСан Пін в середньому у 20 разів. Вміст марганцю найвищий у 2014-2015 роках, при нормі 0,05 мг/л, він становив від 9,7 до 1,69 мг/л. Мідь знаходиться у межах норми на протязі досліджуваного періоду. Сухий залишок мав найгірші показники у 2015 та 2017 роках і при нормі 1000 мг/л становив від 1828 до 2250 мг/л.

На підставі результатів ІЧ-спектроскопії щодо мінерального складу досліджуваних конкрементів, з урахуванням кількості пацієнтів та фізико-хімічних показників води, яку вони вживали, представлено діаграму вмісту мінералів в уратному камінні(рис. 10).

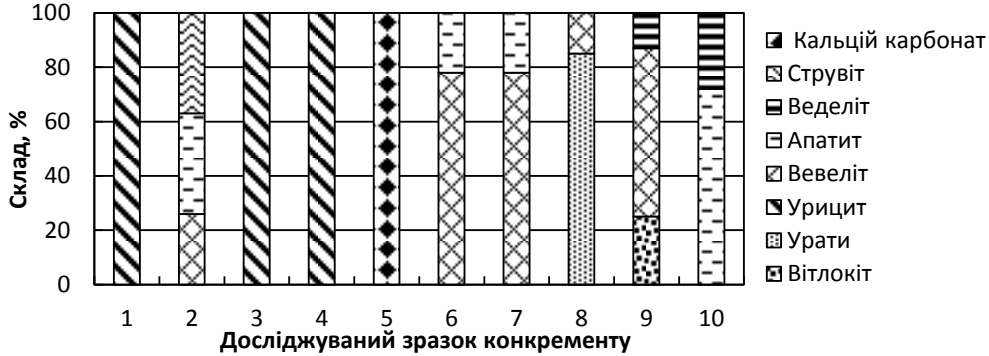


Рис. 10. Вміст мінералів в уратному камінні м. Хмельницький

Таким чином, у Хмельницькому районі (в тому числі і м. Хмельницький) до складу конкрементів входять розповсюджені уроліти змішаного типу вевеліт-апатит($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), а також монофазні конкременти урицити($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}$), що являють собою дигідрати сечової кислоти.

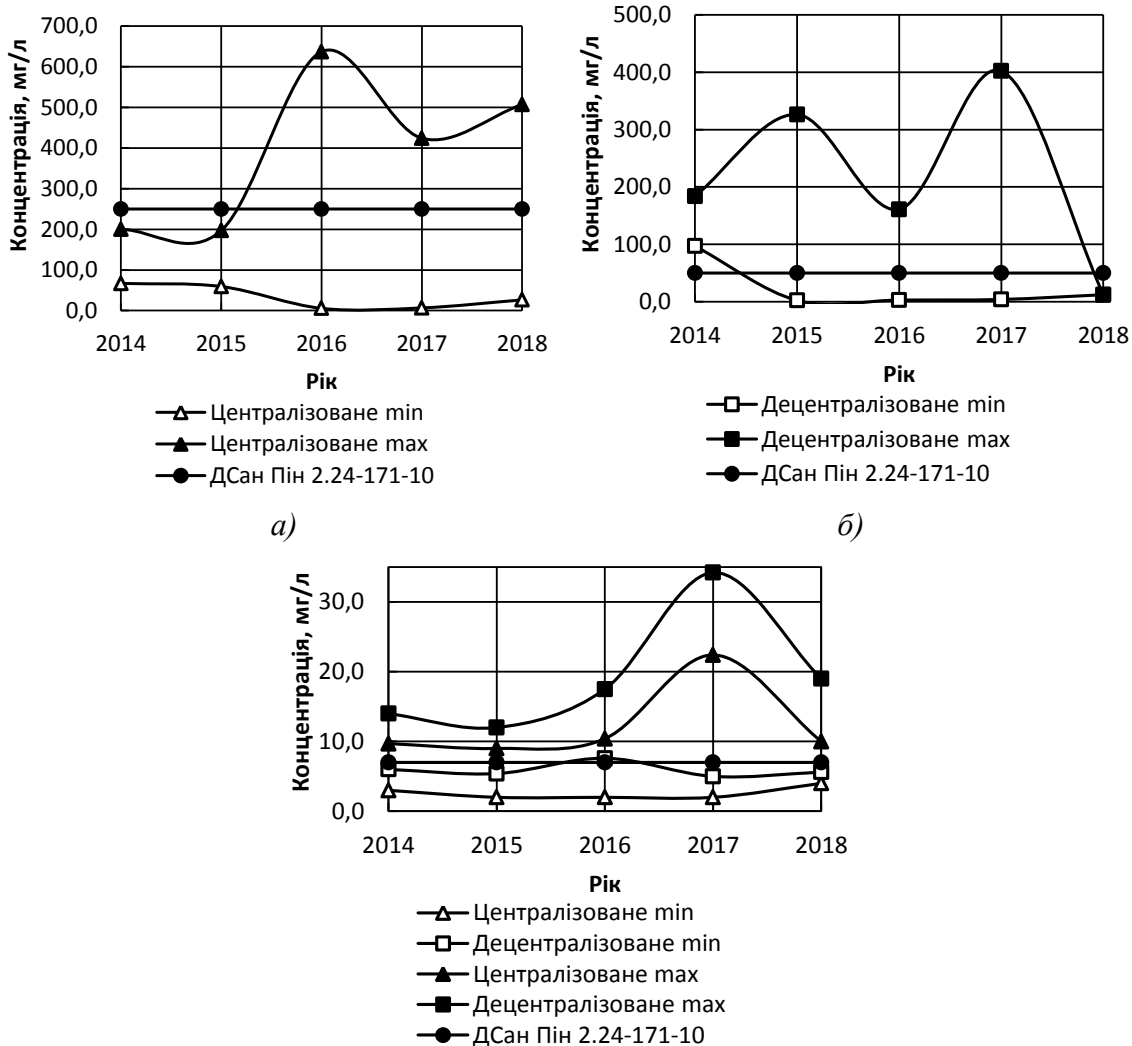


Рис. 11. Вміст у питній воді м. Кам'янець-Подільський а) сульфатів, б) нітратів, в) солей жорсткості (жорсткість води)

Аналогічно проаналізовано основні фізико-хімічні показники питної води та встановлено кореляцію їх з мінеральним складом досліджуваних конкрементів. На рисунку 11 представлено вміст сульфатів, нітратів у питній воді Кам'янець-Подільського району (м. Кам'янець-Подільський в тому числі) та наведені її показники жорсткості.

Вміст сульфатів перевищує у 2016 році втричі норми Д Сан Пін, а у 2018 – вдвічі. Вміст нітратів при нормі 50 мг/л становив у 2017 році 400 мг/л. Сухий залишок у 2016-2017 роках перевищує норму втричі, а жорсткість питної води максимальна у 2017 році. Діаграма (рис. 12) демонструє вміст мінералів в уратному камінні.

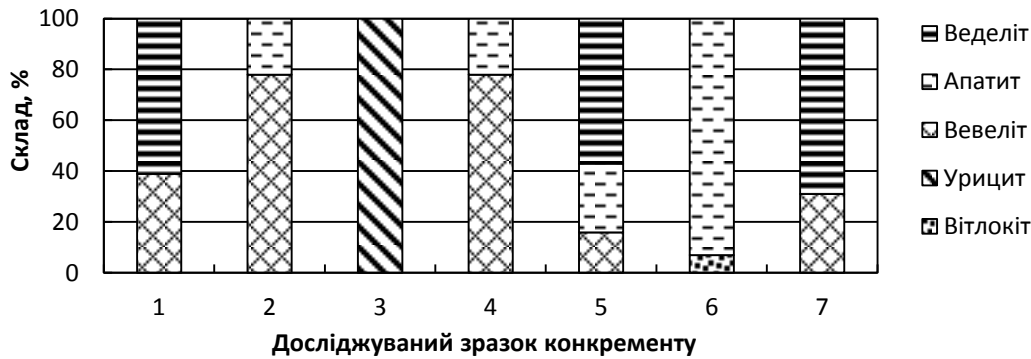


Рис. 12. Вміст мінералів в уратному камінні м. Кам'янець-Подільський

У Кам'янець-Подільському району (м. Кам'янець-Подільський в тому числі) до складу конкрементів входять розповсюджені уроліти змішаного типу вевеліт-апатит ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), а також монофазні конкременти веделіти ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Тобто, однією з причин утворення конкрементів є географічний чинник, в якому роль відіграє склад води. Крім того, важливим є кліматичний фактор та різні захворювання нирок і органів сечостатевої системи [12-14].

Висновки. Таким чином, інтерпретовано ІЧ-спектри досліджуваних конкрементів та встановлено їх мінералогічний склад. Відношення каменів змішаного типу до тої чи іншої групи проводили по основній компоненті, яка становить більше 50% всієї мінеральної основи. Досліджено поверхні зразків уратного каміння за допомогою атомно-силової мікроскопії; отримано 2D і 3D фото, оцінено розміри наночастинок, що входять до їх складу. Рентгеноструктурний аналіз підтвердив мінералогічний склад уратного каміння, який корелює з результатами ІЧ-спектроскопії. Проаналізовано показники елементного складу конкрементів, які взаємопов'язані з мінералогічним їх складом згідно з результатами ІЧ-спектроскопії. Охарактеризовано основні фізико-хімічні показники води та встановлено кореляцію між ними та мінералогічним складом досліджуваного уратного каміння. Використання сучасних методів аналізу, а саме: рентгеноструктурного, рентгенофлуоресцентного, ІЧ-спектроскопії, атомно-силової спектроскопії дає можливість оцінити структуру, хімічний та мінералогічний склад досліджуваних конкрементів. А це, в свою чергу, полегшить роботу медичних працівників у призначенні дієтичного харчування кожного пацієнта.

Список використаних джерел:

1. Структура, минеральный и химический состав мочевых камней / А.Ю. Чиглинец, Э.В. Сокол, Д.Ю. Нохрин. – Челябинск, 2010. 160 с.
2. Шафрановский И. И. Лекции по кристалломографии минералов / И. И. Шафрановский. – Львов: Изд-во Львовского гос. университета, 1960. – 163 с.
3. Козлова О. Г. Рост и морфология кристаллов / О. Г. Козлова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 357 с.
4. Пунин Ю. О. Расщепление кристаллов / Ю. О. Пунин // Зап. Всерос. минералог. о-ва – 1981. – Вып. 6. – С. 667–686.
5. Павлов Н.Н. Теоретические основы общей химии (учебное пособие для вузов) / Н.Н. Павлов. – М.: Высшая школа, 1978. – 304 с.
6. Роль биохимических методов в динамическом наблюдении и лечении больных мочекаменной болезнью / Н.К. Дзеранов [идр.] // Урология. – 2001. – № 1. – С. 18–20.
7. Каткова В.И. Мочевые камни: минералогия и генезис / В.И. Каткова; отв. ред. Н.П. Юшкин, Я.Э. Юдович; УрО РАН, Коми науч. центр. Ин-т геологии. – Сыктывкар: Б. и., 1996. – 86 с.

8. Медведев В.В., Волчек Ю.З. Клиническая лабораторная диагностика: Справочник для врачей / Под ред. В.А. Яковлева.– СПб., 1995; Медицинские лабораторные технологии и диагностика: Справочник / Под ред. А.И. Карпищенко. – СПб., 1998; Шулуток Б.И. Внутренняя медицина: Руководство для врачей. В 2 т. – СПб., 1999.
9. Кораго А.А. Введение в биоминералогию / А.А. Кораго. – СПб.:Недра, 1992. – 279 с.: ил. – Библиогр.: с. 233–237.
10. Santin M. Changes in the surface conditioning of calcium-salt crystals treated with physiological and alkaline urine / M. Santin, A. Motta, M Cannas // Br. J. Urol. – 1998. – Vol. 82, № 1. – P. 97–103.
11. Верменич Я. Хмельницька область // Енциклопедія історії України : у 10 т. / редкол.: В. А. Смолій (голова) та ін. ; Інститут історії України НАН України. –К.:Наукова думка, 2013. – Т. 10 : Т – Я. – С. 386.
12. Главные минералогические типы почечных камней / Е.Н. Нигматулина [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – № 12. – С. 67–81.
13. Вайнберг З.С. Камни почек / З.С. Вайнберг. – М.: Медицина, 1971. – 198 с.: ил. – Библиогр.: с. 192-198.
14. Боржиевский Ц.К. Химический состав и структура мочевых камней у жителей Львовской области / Ц.К. Боржиевский, А.Г. Козий // Врачеб. дело. – 1979. – № 1. – С. 70–72.
15. Дасаева Л.А. Диагностика, медикаментозное лечение и профилактика мочекаменной болезни / Л.А. Дасаева, С.Н. Шатохина, Е.М. Шилов // Клиническая медицина. – 2004. – № 1. – С. 21–26.
16. Единый Ю.Г. Исследование минеральной (кристаллической) основы мочевых камней / Ю.Г. Единый // Урология: респ. межведом. сб. – 1974. – Вып. 8. – С. 106–110.
17. Козловский Ю.Г. Макро- и микроэлементный состав камней мочеточников и сухих остатков питьевой воды / Ю.Г. Козловский // Вопросы биогеохимических эндемий в Казахстане: тр.науч. исслед. ин-та краевой патологии / отв. ред. М.Е. Зельцер. – Алма-Ата, 1976. – Т. 30. – С. 164–168.
18. Мебель М. Кристаллы в почечных камнях / М. Мебель, Г. Брин, Шуберт // Наука и человечество / АН СССР, Всесоюз. о-во «Знание». – М., 1988. – С. 35–43.
19. Мочекаменная болезнь и микроэлементы в техногенной зоне / Е.С. Мамбеталин [и др.] // Материалы IV Всесоюзного съезда урологов (10-12 октября 1990 г.) / Всесоюз. съезд урологов. – М., 1990. – С. 90.
20. Шатохина С.Н. Экспресс-методы в диагностике ранних стадий мочекаменной болезни / С.Н. Шатохина, А.А. Дасаева, Е.М. Шилов // Клиническая медицина. – 2004. – № 2. – С. 39–41.
21. Аляев Ю.Г. Метафилактика мочекаменной болезни / Ю.Г. Аляев, А.В.Амосов, В.С. Саенко. – М.: ООО «Канц-Эксмо», 2007. – 350 с.
22. Оношко В.Ф., Зеленкова С.В., Ботвинкин А.Д. Эпидемиологический анализ заболеваемости мочекаменной болезнью взрослого населения Иркутской области // Экспериментальная и клиническая урология, 2013. – №3.– С. 8–11.
23. Türk (Chair) C. EAU guidelines on Urolithiasis / C. Türk (Chair), T. Knoll (Vice-chair), A. Petrik et al. // European Association of Urology. –2015.
24. Young R.A. The Rietveld Method // IUCr Monographs in Crystallography 5, Oxford Science Publications. – 1993.

Стаття надійшла до редакції 09.06.2019