УДК 548.5; 548.3 *Оригинальная статья*

# Состав, свойства и особенности желчных камней из организма человека

О.А. Голованова, С. В. Симонов
*ФГАОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»*
*644077, Россия, Омск, пр. Мира, 55а*
*golovanoa2000@mail.ru*

DOI: 10.26456/pcascnn/2025.17.831

**Аннотация:** Проведено исследование состава, свойств и особенностей желчных камней, извлеченных из организма человека. Установлен с помощью набора физико-химических методов химический состав и свойства желчных камней, что может способствовать более глубокому пониманию механизмов их образования, которые до сих пор не известны. Рентгенофазовый анализ показал, что исследуемые камни являются смешанными, с преобладанием холестерина в их составе. Особое внимание уделено обнаружению фосфата кальция, что может быть ключевым фактором в понимании патогенеза желчнокаменной болезни, ранее данное соединение не было выявлено в составе желчных камней разных коллекций. Для подтверждения группового состава камней использована инфракрасная Фурье спектроскопия, с помощью которой обнаружен билирубин, представленный в виде билирубината натрия. Кроме того, методом фотонной корреляционной спектроскопии был определен средний гидродинамический радиус частиц нанопорошков из камней в исследуемой коллекции, что дало возможность оценить их размерные характеристики. В рамках исследования также проведено избирательное растворение нанопорошков из камней с целью выявления наиболее эффективного растворителя, что имеет практическое значение для понимания свойств и методов лизиса. Результаты работы открывают новые горизонты для дальнейших исследований в области бионеорганической нанохимии.

*Ключевые слова: желчные камни, состав, механизмы образования, холестерин, деградация, гидродинамический радиус.*

*Голованова Ольга Александровна – д.г.-м.н., профессор, заведующая кафедрой неорганической химии ФГАОУ ВО «Омский Государственный Университет имени Ф.М. Достоевского»*
*Симонов Сергей Валерьевич – инженер-исследователь кафедры неорганической химии ФГАОУ ВО «Омский Государственный Университет им. Ф.М. Достоевского»*

*Original paper*

# Composition, properties and features of gallstones from human body

O.A. Golovanova, S.V. Simonov
*Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2025.17.831

**Abstract:** A study of composition, properties and characteristics of gallstones extracted from the human body has been conducted. An analysis of the chemical composition and properties of stones has been established using a set of physico-chemical methods, which may contribute to a deeper understanding of mechanisms of their formation, which are still unknown. X-ray phase analysis showed that the stones under study are mixed, with a predominance of cholesterol in their composition. Special attention is paid to the detection of calcium phosphate, which may be a key factor in understanding the pathogenesis of gallstone disease, as this compound has not previously been detected in gallstones from different collections. To confirm the group composition of the stones, infrared Fourier spectroscopy was used, which revealed the conditions of absorption of bilirubin, represented as sodium bilirubinate. In addition, the average hydrodynamic radius of the nanopowder particles from the stones in the studied collection was determined by photon correlation spectroscopy, which made it possible to evaluate their dimensional characteristics. The study also carried out selective dissolution nanopowder from stones in order to identify the most effective solvent, which is of practical importance for understanding the properties and methods of lysis. The results of the work open up new horizons for further research in the field of bioorganic nanochemistry.

© О.А. Голованова, С. В. Симонов, 2025

*Keywords: gallstones, composition, mechanisms of formation, cholesterol, degradation, hydrodynamic radius.*

*Olga A. Golovanova – Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Inorganic Chemistry, Dostoevsky Omsk State University, ORCID: 0000-0001-9995-5672*
*Sergey V. Simonov – Researcher, Department of Inorganic Chemistry, Dostoevsky Omsk State University*

Поступила в редакцию/received: 14.07.2025; после рецензирования/revised: 05.09.2025; принята/accepted 15.09.2025.

## 1. Введение

Хроническое заболевание, во время которого происходит образование твердых камней в желчном пузыре и желчетоках, называется желчнокаменная болезнь (ЖКБ) [1]. В России, как и в Европе, уровень заболеваемости достаточно высок и составляет 10-15%. Для сравнения, в странах Азии этот показатель не превышает 5% [2-5]. Во время исследования статистики заболевания, была проведена оценка некоторых региональных эпидемиологий (см. рис. 1). Так, согласно исследованию, проводимому в Республике Башкортостан в 2016 году, среди взрослого населения заболеваемость уменьшилась с 464, 4 чел. на 100 тыс. населения в 2005 году до 303,7 чел. на 100 тыс. населения [6]. В исследовании, проводимом в Республике Казахстан в Сайрамском районе (Южная часть Казахстана) в 2018 г., заболеванию подвержены 90,23% испытуемых [6, 7]. Если говорить про статистику дальнего зарубежья, то согласно одному исследованию, эпидемиология ЖКБ на юго-востоке Франции находится в интервале, заданном общей статистикой – 13,9%. От этой патологии в основном страдают женщины [8-10]. Согласно израильскому исследованию, ЖКБ подвержены 12,1% исследуемого населения Тель-Авива [11].

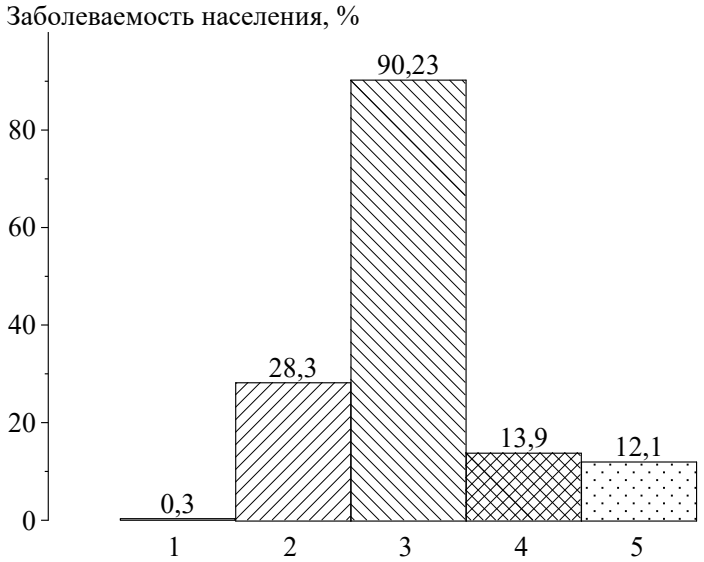


Рис. 1. Гистограмма с заболеваемостью населения исследованных местностей. 1 – Республика Башкортостан, 2016 год; 2 – Республика Саха, 2021 год; 3 – Республика Казахстан, Сайрамский район, 2018 год; 4 – Юго-восточная Франция; 5 – Израиль, г. Тель-Авив.

Таким образом, исследования в этой области имеют огромное значение и являются актуальными. Необходимы усилия для выявления биохимических и физиологических процессов, которые приводят к образованию желчных камней. Это позволит не только улучшить диагностику и лечение, но и повысить осведомленность населения о факторах риска и методах профилактики. В конечном итоге, понимание этого механизма может стать ключом к тому, чтобы миллионы людей смогли избежать страданий и жить полноценной жизнью [12-16].

## 2. Экспериментальная часть

Рентгенофазовый анализ полученных образцов проводился на дифрактрометре ДРОН-3. Первоначальная обработка спектров осуществляется с помощью программы DifWin 1. Качественный и количественный анализ фазового состава образцов осуществляется в программе Match! 3 (Crystal Impact, Германия) на основе открытой кристаллографической базы данных (COD, 2020). Предел обнаружения методики составляет 5%. С использованием формулы Дебая–Шерра рассчитаны размеры кристаллитов. Инфракрасные (ИК) спектры снимали на спектрофотометре ФСМ 2202 (Инфраспек, Россия). В ходе исследования образец в виде порошка смешивали с $KBr$, наносили на германиевую кювету и прессовали. Регистрацию спектров исследуемых образцов проводили в области от 400 до 4000 см$^{-1}$ с разрешением 4 см$^{-1}$. Предел обнаружения составляет 5%. Определение гидродинамического радиуса частиц камней из коллекции осуществляется методом ФКС на анализаторе размера частиц Photocor Compact (Фотокор, Россия) с применением оригинального пакета программ: Photocor-FC для управления измерениями и DynaLS для последующей обработки корреляционных функций.

Для более детального определения неорганической составляющей камней, проводилось избирательное растворение для удаления холестериновой компоненты. В качестве экстрагентов применялись этанол, ацетон, а также фитопрепараты – натуральный многокомпонентный комплекс оксафорин, отвар кукурузных рылец и лимонная кислота [1]. В целях лизиса желчных камней использовались растворители: этанол – бесцветная жидкость; ацетон – бесцветная летучая жидкость с характерным запахом; оксафорин – представляет собой экстракт корней и корневищ марены красильной, а также включает оболочку капсулы (желатин, красители Е171 и Е141; отвар кукурузных рылец – широкий спектр фармакологической активности этих веществ обусловлен их богатым химическим составом, «включающим фенольные соединения (такие как флавоноиды, антоцианы и фенолкарбоновые кислоты), тритерпеновые сапонины, органические кислоты, витамины как водорастворимые, так и

жирорастворимые, эфирные масла, полисахариды, фитостерины и другие биологически активные компоненты; лимонная кислота – растворимость в воде – 162 г / 100 мл при 25°C [1].

## 3. Результаты исследований и их обсуждение

Таблица 1. Исследуемая коллекция желчных камней.

| Номер образца | Фото | Описание | Массы и количество |
|---|---|---|---|
| 1 | | Образец представляет собой камни неправильной формы, темно-желто-коричневого цвета, разного размера, конкременты полностью заполняли полость желчного пузыря | Масса составила 0,1851, 0,1353, 0,1485, 0,1027, 0,1027, 0,0925, 0,0900, 0,0858, 0,0915 и 0,0811 г, большое количество камней |
| 2 | | Представлен камнями от желто-зеленого до серо-желтого цветов, неправильной формы | Масса камней составила 3,0176 и 1,5421 г, всего 6 камней |
| 3 | | Представлен камнями фасеточного типа с острыми гранями темно-красного цвета с белыми вкраплениями | Масса камней составила 0,8433, 0,8731, 0,9210 и 0,8381 г, всего 4 камня |
| 4 | | Неправильной формы, черного цвета с желто-белыми включениями в разных частях камня | Масса камней составила 0,7988 и 0,8412 г, всего 4 камня |
| 5 | | Образец представляет собой гладкий продолговатый камень серого цвета с зелеными включениями у оснований конкремент занимал 60% полости желчного пузыря). В длину камень достигает 30 мм, 20 мм в ширину и 11 мм в высоту | Масса камня составила 5,7186 г, 1 камень |

*Описание камней из коллекции*. Наша коллекция представлена 5-ю камнями (см. Таблицу 1). Первый образец был получен от юноши 19 лет. Второй образец был получен от женщины 60 лет. Третий образец был получен от женщины 43 лет. Четвертый образец был получен от женщины 45 лет (см. Таблицу 1). Пятый образец был получен от девушки 23 лет, является самым примечательным образцом коллекции, так как внешне ясно дифференцируется на составляющие слои – корку, подкорку и ядро (см. рис. 2). Для представленных в Таблицу 1 образцов был проведен РФА, полученные дифрактограммы представлены на рис. 3. Видно, что

преобладающим компонентом во всех образах является холестерин ($2\theta$= 2,627, 18,089, 25,281). В образцах №1, 3, 4 и 5 присутствует фосфат кальция ($2\theta$= 9,677, 29,557, 50,294), в 1 и 3 – ватерит ($2\theta$= 20,935, 43,821, 100,369), причем в 1 образце фаза арагонита ($2\theta$= 21,075, 52,455, 88,542) преобладает над фазой ватерита (см. Таблицу 2).

Для определения группового состава исследуемых образцов, была применена ИК-Фурье-спектроскопия. Согласно ИК-спектрам исследуемых камней, в них помимо холестерина (широкий дублет в диапазоне 2932,16…2934,09 см$^{-1}$, который соответствует ассиметричным колебаниям связей $C-H$ в $CH_2-$ и $CH_3-$ группах холестерина, также интенсивная полоса поглощения при 1466,08 см$^{-1}$ и полоса при 1377,34 см$^{-1}$ связаны с кольцевой деформацией холестерина и деформационными колебания $C-H$ связей в $CH_2$-группе холестерина соответственно и полоса поглощения при 1057,12 см$^{-1}$ характерна для колебаний $C-C$ связей кольца в молекуле холестерина), карбоната кальция (полосы поглощения при 882, 877, 738 и 670 см$^{-1}$ соответствуют колебаниям карбонатной группе), присутствует билирубин.

а

б

Рис. 2. Коллекция исследуемых камней (образец №5), а– исходный камень, б – его срез.

Таблица 2. Параметры кристаллической решетки.

| Номер образца | Обнаруженное вещество | Параметры решетки, нм | | |
|---|---|---|---|---|
| | | a | b | c |
| 1 | Холестерин | 14,10000 | 33,75000 | 10,46000 |
| | Арагонит | 4,96230 | 7,96800 | 5,74390 |
| | Фосфат Кальция | 5,75300 | 18,26500 | 7,62500 |
| | Ватерит | 4,13000 | 7,15000 | 8,48000 |
| 2 | Холестерин | 14,10000 | 33,75000 | 10,46000 |
| | Фосфат Кальция | 5,75300 | 18,26500 | 7,62500 |
| 3 | Холестерин | 14,10000 | 33,75000 | 10,46000 |
| | Фосфат Кальция | 5,75300 | 18,26500 | 7,62500 |
| | Ватерит | 4,13000 | 7,15000 | 8,48000 |
| 4 | Холестерин | 14,10000 | 33,75000 | 10,46000 |
| | Фосфат Кальция | 5,75300 | 18,26500 | 7,62500 |
| | Ватерит | 4,13000 | 7,15000 | 8,48000 |
| 5 | Холестерин | 14,10000 | 33,75000 | 10,46000 |

Область колебаний 3500…3000 см$^{-1}$ указывает на присутствие в структуре исследуемых желчных камней билирубина (обнаружен во всех

камнях), данная область колебаний соответствует валентным колебаниям пиррольной $NH$ -группы в билирубине (см. рис. 4).

Для определения дисперсности порошков, получаемых из желчных камней, было проведена фотонная корреляционная спектроскопия (см. Таблицу 3). Значения гидродинамического радиуса варьируются от 19,19 нм (образец №1) до 83,50 нм (образец №3), что указывает на значительную неоднородность нанодисперсии желчных камней в образцах и их разную твердость и способность к разрушению. Наименьший размер частиц (19,19 нм) отмечен в образце №1, что указывает на высокую степень дисперсности (мелкая фракция). Наибольший размер (83,50 нм) зафиксирован в образце №3, что указывает на наличие более крупных агрегатов или частиц.

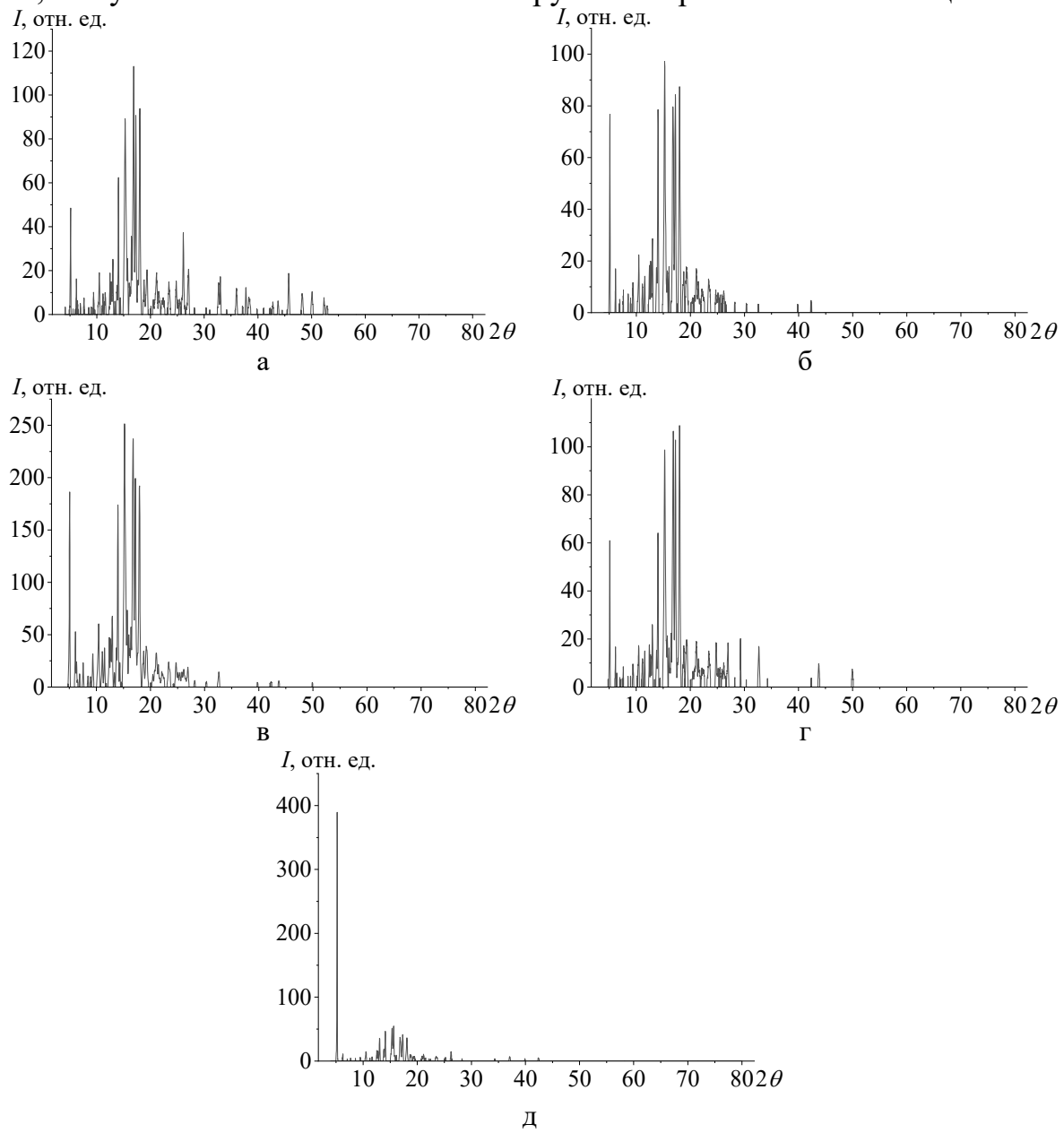


Рис. 3. Дифрактограммы образцов: а – №1, б – №2, в – №3, г – №4, д – №5.

Для оценки поведения наночастиц желчных камней в различных растворителях, а также с целью удаления холестериновой составляющей и определения дополнительных компонент в исследуемых образцах, было изучено растворение наночастиц желчных конкрементов (см. Таблицу 4). Анализ результатов растворения в этаноле и ацетоне демонстрирует высокую эффективность в растворении наночастиц желчных камней, достигая 75-99% растворения в зависимости от пробы.

Оксафарин и отвар кукурузных рылец не показали существенного эффекта в этом исследовании, что ставит под сомнение их использование в литолитической терапии. Хотя в инструкциях к обоим препаратам отмечается растворение наночастиц камней (хемолиз).

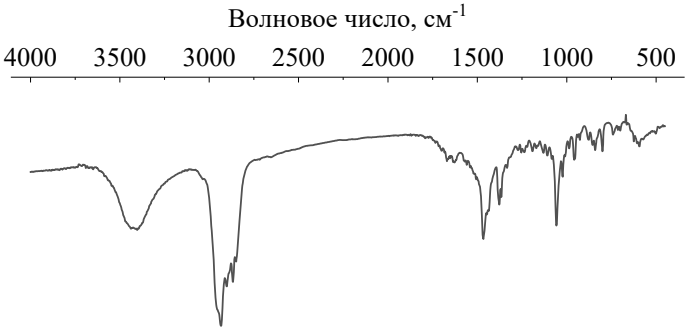


Рис. 4. ИК-спектр образца №1.

Таблица 3. Значения средних гидродинамических радиусов наночастиц образцов из коллекции.

| Номер образца | Среднее значение гидродинамического радиуса, нм |
|---|---|
| 1 | 19,19 |
| 2 | 67,44 |
| 3 | 61,63 |
| 4 | 80,36 |
| 5 | 83,50 |

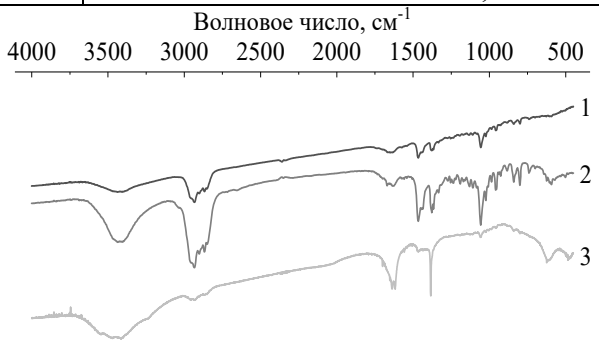


Рис. 5. ИК-спектры до и после избирательного растворения образца №5. Линия 1 – ИК-спектр корки образца № 5; линия 2 – ИК-спектр корки образца № 5 после растворения в этаноле; линия 3 – ИК-спектр корки образца № 5 после растворения в ацетоне.

В ходе растворения при помощи лимонной кислоты растворы приобрели зеленый цвет, сами конкременты потемнели. Исходя из результатов, лимонная кислота не подходит на роль экстрагента ввиду

возможного взаимодействия с холестерином, желчными кислотами или билирубином и дальнейшим увеличением массы растворяемых камней.

После избирательного растворения исследуемых наночастиц камней, были повторно сняты ИК-спектры с остатков после растворения. Наблюдается большее пропускание после растворения в этаноле, пики поглощения других соединений не выявляются. Ацетон в качестве растворителя является наиболее эффективным для удаления органической составляющей. Наблюдается уменьшение пропускания и искажение ранее обнаруженных пиков (см. рис. 5).

Таблица 4. Результаты избирательного растворения камней из коллекции.

| Растворитель | Начальная масса камня, г | Конечная масса камня, г | % растворения |
|---|---|---|---|
| Образец 1.0 | | | |
| Этанол | 1,0666 | 0,0627 | 94,12 |
| Ацетон | 1,0559 | 0,0289 | 97,26 |
| Образец 2.1 | | | |
| Этанол | 1,0633 | 0,0203 | 98,09 |
| Ацетон | 0,9232 | 0,0994 | 89,23 |
| Образец 2.2 | | | |
| Этанол | 1,706 | 0,0154 | 99,10 |
| Ацетон | 0,9387 | 0,1163 | 87,61 |
| Образец 2.3 | | | |
| Этанол | 1,0484 | 0,0596 | 94,32 |
| Ацетон | 1,0702 | 0,0485 | 95,47 |
| *Продолжение Таблицы 4* | | | |
| Образец 3.1 | | | |
| Этанол | 1,0605 | 0,0885 | 91,65 |
| Ацетон | 1,0031 | 0,0997 | 90,06 |
| Образец 3.2 | | | |
| Этанол | 1,0878 | 0,1301 | 88,04 |
| Ацетон | 0,9574 | 0,0786 | 91,79 |
| Образец 4.1 | | | |
| Этанол | 1,0683 | 0,0802 | 92,49 |
| Ацетон | 1,0068 | 0,0586 | 94,18 |
| Образец 4.2 | | | |
| Этанол | 1,0324 | 0,1224 | 88,14 |
| Ацетон | 1,0014 | 0,1025 | 89,76 |
| Образец 5.0 | | | |
| Этанол | 0,9852 | 0,0992 | 89,93 |
| Ацетон | 0,0678 | 0,0168 | 75,29 |

## Заключение

С помощью физико-химических методов были установлены состав и ряд свойств желчных камней, удаленных из организма человека: все камни из коллекции являются смешанными, преобладающее вещество – холестерин; размер частиц порошков, полученных из камней варьируется от 19,19 до 83,50 нм; определены способы деградации наночастиц желчных

камней: наиболее эффективным растворителем оказался этанол, фитопрепараты не показали должного эффекта. Наблюдается рост ЖКБ, поэтому актуальность подобных работ велика, так как установление механизмов образования желчных камней в дальнейшем может помочь решить проблему данного заболевания.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023).*

**Библиографический список:**

1. **Голованова, О.А.** Кристаллогенезис в организме человека / О.А. Голованова. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2022. – 349 с.
2. **Леончук, С.С.** Влияние аминокислот на состав и дисперсность карбоната кальция, осажденного в желчи / С.С. Леончук, О.А. Голованова// Журнал неорганической химии. – 2022. – Т. 67. – № 4. – С. 466-475 DOI: 10.31857/S0044457X22040110.
3. **Portincasa, P.** Management of gallstones and its related complications / P. Portincasa, A. Di Ciaula, O. de Bari et al. // Expert Review of Gastroenterology & Hepatology. – 2015. – V. 10. – I. 1. – P. 93-112. DOI: 10.1586/17474124.2016.1109445.
4. **Lammert, F.** Gallstone disease: from genes to evidence-based therapy/ F. Lammert, J.-F. Miquel // Journal of Hepatology. – 2008. – V.48. – Suppl. 1. – P. S124-S135. DOI: 10.1016/j.jhep.2008.01.012.
5. **Di Ciaula, A.** An update on the pathogenesis of cholesterol gallstone disease/ A. Di Ciaula, D.Q.-H. Wang, P. Portincasa // Current Opinion in Gastroenterology. – 2018. – V. 34. – I. 2. – P. 71-80. DOI: 10.1097/mog.0000000000000423.
6. **Свистунов, А.А.** Желчнокаменная болезнь как клинический маркер метаболического синдрома / А.А. Свистунов, М.А. Осадчук, Н.В. Киреева, А.М. Осадчук // Ожирение и обмен веществ. – 2018. – Т. 15. – № 3. – С. 3-8. DOI: 10.14341/omet9553.
7. **Acalovschi, M.** Are plasma lipid levels related to ABCG5/ABCG8 polymorphisms? / M. Acalovschi, A. Ciocan, O. Mostean et al. // European Journal of Internal Medicine. – 2006. – V. 17. – I. 7. – P. 490-494. DOI: 10.1016/j.ejim.2006.04.012.
8. **Wittenburg, H.** FXR and ABCG5/ABCG8 as determinants of cholesterol gallstone formation from quantitative trait locus mapping in mice. / H. Wittenburg, M.A. Lyons, R. Li et al. // Gastroenterology. – 2003. – V. 125. – I. 3. – P. 868-881. DOI: 10.1016/s0016-5085(03)01053-9.
9. **Shabanzadeh, D.M.** Determinants for gallstone formation - a new data cohort study and a systematic review with meta-analysis / D.M. Shabanzadeh, L.T. Sørensen, T. Jørgensen // Scandinavian Journal of Gastroenterology. – 2016. – V. 51. – I. 10. – P. 1239-1248. DOI: 10.1080/00365521.2016.1182583.
10. **Ouhenia, S.** Synthesis of calcium carbonate polymorphs in the presence of polyacrylic acid / S. Ouhenia, D. Chateigner, M.A. Belkhir et al. // Journal of Crystal Growth. – 2008. – V. 310. – I. 11. – P. 2832-2841. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2008.02.006.
11. **Скибицкая, Н.А.** Наноразмерные надмолекулярные структуры биогенного карбонатного породообразующего вещества органогенных месторождений углеводородов / Н.А. Скибицкая, О.П. Яковлева, В.А. Кузьмин // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитики. – 2010. – № 1. – 17 с.
12. **Shabanzadeh, D.M.** Metabolic biomarkers and gallstone disease - a population-based study / D.M. Shabanzadeh, T. Skaaby, L.T. Sørensen et al. // Scandinavian Journal of Gastroenterology. – 2017. – V. 52. – I. 11. – P.1270-1277. DOI: 10.1080/00365521.2017.1365166.
13. **Голованова, О.А.** Синтез карбоната кальция в присутствии желчи, альбумина и аминокислот / О.А. Голованова, С.С. Леончук // Журнал неорганической химии. – 2020. – Т. 65. – № 4. – С. 449-457. DOI: 10.31857/S0044457X20040066.
14. **Марахова, А.** Определение размеров наночастиц в коллоидных растворах методом динамического рассеяния света / А. Марахова, В. Жилкина, Е. Блынская, К. Алексеев, Я. Станишевский // Наноиндустрия. – 2016. – № 1(63). – С. 88-93.
15. **Голованова, О.А.** Корреляционные зависимости между фазовым, элементным и аминокислотным составом физиогенных, патогенных ОМА и их синтетических аналогов / О.А. Голованова, С.А. Герк, А.Н. Куриганова, Р.Р. Измайлов // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 4(16). – С. 131-139.
16. **Голованова, О.А.** Термодинамические и кинетические закономерности кристаллизации оксалата кальция в присутствии аминокислот / О.А. Голованова, В.В. Корольков // Кристаллография. – 2017.

– Т. 62. – № 5. – С. 819-828. DOI: 10.7868/S0023476117050071.

**References:**

1. Golovanova O.A. *Kristallogenezis v organizme cheloveka* [Crystallogenesis in the human body]. Omsk, Dostoevsky Omsk State University Publ., 2022, 349 p. (In Russian).
2. Leonchuk S.S., Golovanova O.A. The effect of amino acids on the composition and dispersion of calcium carbonate precipitated in bile, *Journal of Inorganic Chemistry*, 2022, vol. 67, issue 4, pp. 439-448. DOI: 10.1134/S0036023622040118.
3. Portincasa P., Di Ciaula A., de Bari O. et al. Management of gallstones and its related complications. https:// *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*, 2015, vol. 10, issue 1, pp. 93-112. DOI: 10.1586/17474124.2016.1109445.
4. Lammert F., Miquel J.-F. Gallstone disease: from genes to evidence-based therapy, Journal of Hepatology, 2008, vol. 48, supplement 1, pp. S124-S135. DOI: 10.1016/j.jhep.2008.01.012.
5. Di Ciaula A., Wang D.Q.-H., Portincasa P. An update on the pathogenesis of cholesterol gallstone disease, *Current Opinion in Gastroenterology*, 2018, vol. 34, issue 2, pp. 71-80. DOI: 10.1097/mog.0000000000000423.
6. Svistunov A.A., Osadchuk M.A., Kireeva N.V., Osadchuk A.M. Zhelchnokamennaya bolezn' kak klinicheskij marker metabolicheskogo sindroma [Gallstone disease as a clinical marker of the metabolic syndrome], *Ozhirenie i obmen veshchestv [Obesity and Metabolism]*, 2018, vol. 15, issue 3, pp. 3-8. DOI: 10.14341/omet9553. (In Russian).
7. Acalovschi M., Ciocan A., Mostean O. et al. Are plasma lipid levels related to ABCG5/ABCG8 polymorphisms?, European Journal of Internal Medicine, 2006, vol. 17, issue 7, pp. 490-494. DOI: 10.1016/j.ejim.2006.04.012.
8. Wittenburg H., Lyons M.A., Li R. et al. FXR and ABCG5/ABCG8 as determinants of cholesterol gallstone formation from quantitative trait locus mapping in mice, *Gastroenterology*, 2003, vol. 125, issue 3, pp. 868-881. DOI: 10.1016/s0016-5085(03)01053-9.
9. Shabanzadeh D.M., Sørensen L.T., Jørgensen T. Determinants for gallstone formation - a new data cohort study and a systematic review with meta-analysis, *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 2016, vol. 51, issue 10, pp. 1239-1248. DOI: 10.1080/00365521.2016.1182583.
10. Ouhenia S., Chateigner D., Belkhir M.A. et al. Synthesis of calcium carbonate polymorphs in the presence of polyacrylic acid, *Journal of Crystal Growth*, 2008, vol. 310, issue 11, pp. 2832-2841. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2008.02.006.
11. Skibitskaya N.A.,Yakovleva O.P., Kusmin V.A. Nanorazmernye nadmolekulyarnye struktury biogennogo karbonatnogo porodoobrazuyushchego veshchestva organogennykh mestorozhdenij uglevodorodov [Nano-sized permolecular structures of carbonaceous rock-forming stuff], *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika [Georesources. Geoenergetics. Geopolitics]*, 2010, no. 1, 17 p. (In Russian).
12. Shabanzadeh DM, Skaaby T, Sørensen LT, et al. Metabolic biomarkers and gallstone disease - a population-based study, *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 2017, vol. 52, issue 11, pp. 1270-1277. DOI: 10.1080/00365521.2017.1365166.
13. Golovanova O.A., Leonchuk S.S. Synthesis of calcium carbonate in the presence of bile, albumen, and amino acids, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2020, vol. 65, issue 4, pp. 472-479. DOI: 10.1134/S0036023620040063.
14. Marakhova A., Zhilkina V., Blynskaya E., Alekseev K., Stanishevsky Ya. Opredelenie razmerov nanochastits v kolloidnykh rastvorakh metodom dinamicheskogo rasseyaniya sveta [Determination of nanoparticle size in colloidal solutions by dynamic light scattering], *Nanoindustriya [Nanoindustry],* 2016, no. 1(63), pp. 88-93. (In Russian).
15. Golovanova O.A., Gerk S.A., Kuriganova A.N., Izmajlov R.R. Korrelyatsionnye zavisimosti mezhdu fazovym, elementnym i aminokislotnym sostavom fiziogennykh, patogennykh OMA i ikh sinteticheskikh analogov [Correlation dependences between phase, elemental and amino acid composition of physiogenic and pathogenic OMA and their synthetic analogues], *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technology]*, 2012, no. 4 (16), pp. 131-139. (In Russian).
16. Golovanova O.A., Korol'kov V.V. Thermodynamics and kinetics of calcium oxalate crystallization in the presence of amino acids, *Crystallography Reports,* 2017, vol. 62, issue 5, pp. 787-796. DOI: 10.1134/S1063774517050078.