

УДК 616.36-002.951.21-089-073.756.8
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-5-10-16

**КТ-ВОЛЮМЕТРИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ
ПРИ АЛЬВЕОЛЯРНОМ ЭХИНОКОККОЗЕ ПЕЧЕНИ:
ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

*И.А. Баудинов, А.И. Кадырова, К.Р. Оморев,
С.А. Айтбаев, А. Мукамметкан, А.М. Туманбаев, А.А. Куликова*

Аннотация. Альвеолярный эхинококкоз печени характеризуется инфильтративным ростом, требуя точного предоперационного планирования резекции и оценки будущего остаточного объема печени для профилактики послеоперационной печеночной недостаточности. Представлен первый опыт применения программы LiverAnalysis+ для КТ-воллюметрии при альвеолярном эхинококкозе печени в Кыргызской Республике. Пациенту 24 лет с альвеолярным эхинококкозом печени проведена КТ-воллюметрия, объем печени около 1700 мл, предполагаемый будущий остаток печени – 746 мл (43,9 %). Выполнена анатомическая резекция сегментов 6,7 и очага в S4b. Фактический вес резецированной печени (1080 г) на 7,9 % превышал расчетный. КТ через 2 недели показала удовлетворительную регенерацию печени (1547 мл), через 5 месяцев – стабилизацию регенерации (1201 мл). Применение LiverAnalysis+ продемонстрировало перспективность КТ-воллюметрии для предоперационного планирования при альвеолярном эхинококкозе печени.

Ключевые слова: альвеолярный эхинококкоз печени; КТ-воллюметрия; будущий остаточный объем печени; предоперационное планирование; послеоперационная печеночная недостаточность.

**БООРДУН АЛЬВЕОКОККОЗУН ХИРУРГИЯЛЫК ДАРЫЛООНУ
ПЛАНДОДО КТ-ВОЛЮМЕТРИЯНЫ КОЛДОНУУ:
КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНДАГЫ БИРИНЧИ ТАЖРЫЙБА**

*И.А. Баудинов, А.И. Кадырова, К.Р. Оморев,
С.А. Айтбаев, А. Мукамметкан, А.М. Туманбаев, А.А. Куликова*

Аннотация. Боордун альвеолярдык эхинококкозу инфильтративдик өсүүсү менен мүнөздөлүп, операцияга чейинки так пландоону жана келечектеги боордун калдыгынын көлөмүн аныктоо аркылуу операциядан кийинки боор жетишсиздигин алдын алууну талап кылат. Бул макалада Кыргызстанда боордун альвеолярдык эхинококкозунда LiverAnalysis+ программасын колдонуу менен КТ-воллюметрия жасоонун биринчи тажрыйбасы көрсөтүлгөн. 24 жаштагы бейтапка КТ-воллюметрия жүргүзүлүп, жалпы боордун көлөмү 1700 мл, келечектеги боордун калдыгы 746 мл (43,9%) түзгөн. Боордун 6,7 сегменттеринин жана S4b сегментиндеги очоктун анатомиялык резекциясы жасалган. Чыныгы резекцияланган боордун салмагы (1080 г) эсептелгенден 7,9% жогору болгон. Эки жумадан кийин боордун калыбына келиши канааттандыруучулук (1547 мл), 5 айдан кийин – стабилдүү (1201 мл) болгон. LiverAnalysis+ программасы өзүнүн келечектүүлүгүн көрсөттү.

Түйүндүү сөздөр: боордун альвеолярдык эхинококкозу; КТ-воллюметрия; боордун келечектеги калдык көлөмү; операцияга чейинки пландаштыруу; операциядан кийинки боор жетишсиздиги.

**CT-VOLUMETRY IN SURGICAL PLANNING
FOR HEPATIC ALVEOLAR ECHINOCOCCOSIS:
FIRST EXPERIENCE OF APPLICATION IN THE KYRGYZ REPUBLIC**

*I.A. Baudinov, A.I. Kadyrova, K.R. Omorov,
S.A. Aitbaev, A. Mukametkan, A.M. Tumanbaev, A.A. Kulikova*

Abstract. Alveolar echinococcosis of the liver is characterized by infiltrative growth, requiring precise preoperative planning and assessment of future liver remnant to prevent postoperative liver failure. We present the first experience with the LiverAnalysis+ software for CT volumetry in liver alveolar echinococcosis in Kyrgyzstan. A 24-year-old patient underwent CT volumetry, with a total liver volume of approximately 1700 ml and a calculated future liver remnant of 746 ml (43.9%). Anatomical resection of liver segments 6,7 and lesion in segment 4b was performed. The actual weight of the resected liver (1080 g) exceeded the calculated weight by 7.9%. CT scan after two weeks showed adequate regeneration (1547 ml), and at 5 months stable regeneration (1201 ml). LiverAnalysis+ demonstrated promising results in preoperative planning for liver alveolar echinococcosis.

Keywords: hepatic alveolar echinococcosis; CT-volumetry; future liver remnant (FLR); preoperative planning; post-hepatectomy liver failure.

Введение. Альвеолярный эхинококкоз (АЭ) печени – это хроническая зоонозная инфекция, вызванная псевдоопухолевым внутрипеченочным развитием личиночной стадии ленточного червя *Echinococcus multilocularis* [1]. Альвеолярный эхинококкоз часто описывается как «паразитарный рак» из-за его инфильтрирующего характера роста [2]. Это действительно уместно, учитывая, что заболевание характеризуется инфильтративным ростом и распространением личинок от первичного очага к окружающим тканям и органам [3]. После того, как паразитарный узел вырастает до значительного размера, он затрагивает желчные и кровеносные сосуды, распространяется на лимфатические узлы и может иметь отдаленные метастазы [4, 5]. Полное хирургическое удаление пораженной ткани остается единственным радикальным методом лечения [6]. Хирургическое лечение АЭ печени, особенно при наличии крупных или анатомически сложных поражений, требует тщательного предоперационного планирования [7]. Компьютерная томография (КТ) с внутривенным болюсным контрастированием является основным методом диагностики альвеолярного эхинококкоза печени [8]. Для детального анализа изображений, оценки объема поражения и расчета будущего остаточного объема печени (БОП) перед хирургическими вмешательствами требуется специализированное программное обеспечение [9]. Одним из таких инструментов

является LiverAnalysis+ – программный комплекс, предназначенный для автоматической сегментации, волюметрии, позволяющий проводить виртуальную резекцию печени с определением БОП. Методы волюметрии печени, основанные на данных КТ с внутривенным контрастированием, позволяют:

- 1) произвести оценку общего объема печени (ООП), принимая во внимание индивидуальные характеристики пациента;
- 2) определить сосудистую анатомию печени с выделением портальных, печеночных вен и артериальных сосудов, с реконструкцией 3D-модели;
- 3) провести автоматическую сегментацию печени на основе классификации Couinaud с расчётом объема каждого сегмента по отдельности;
- 4) выделить зону поражения с определением взаимоотношения между паразитарным узлом, желчными протоками и сосудистыми структурами, вычислить объем образования;
- 5) провести компьютерное моделирование резекции с проведением линии разреза с учетом сегментации печени, положения кровеносных сосудов и желчевыводящих протоков;
- 6) рассчитать будущий остаточный объем печени с прогнозированием функциональной безопасности операции, определением риска развития постоперационной печеночной недостаточности (ППН).

Ряд исследований показал, что у пациентов с БОП менее 30 % от общего объема печени (а при фиброзе и циррозе – менее 40 %) высок риск развития ППН, что делает предоперационную волюметрию крайне важным инструментом в хирургическом лечении [10]. Постгепатэктомическая печеночная недостаточность является частым осложнением после резекции печени [11]. Для увеличения объема будущей остаточной печени хирургические вмешательства проводят поэтапно с использованием различных регенеративных техник, таких как эмболизация портальной вены (ЭПВ, portal vein embolization (PVE)), ассоциированная сепарация печени и лигирование портальной вены (АСПЛПВ), associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy (ALPPS)) и печеночная венозная депривация (ПВД, liver venous deprivation (LVD)) [12]. Перед каждым этапом проводится волюметрия для оценки гипертрофии БОП и возможности проведения резекции печени [13]. Данное исследование является оценкой первого опыта применения специализированной программы для волюметрии печени в предоперационном планировании хирургического лечения АЭ печени в Кыргызской Республике.

Цель исследования – оценить возможности использования программы LiverAnalysis+ для волюметрии печени в предоперационном ведении пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени, определить влияние предоперационной оценки будущего остаточного объема печени на выбор тактики хирургического лечения и прогнозирование риска постоперационной печеночной недостаточности.

Материалы и методы. Настоящее исследование представляет собой клинический случай (кейс-репорт) первого опыта применения волюметрии печени с использованием программы LiverAnalysis+ для предоперационного планирования хирургического лечения альвеолярного эхинококкоза печени в Кыргызской Республике.

Клинический случай

Пациент: мужчина, 24 года, жалобы на тупую боль в правом подреберье, снижение массы тела и слабость. Из анамнеза год назад по данным УЗИ выявили кистозные образования печени, лечение получал симптоматическое, однако

симптомы нарастали. Физикальное обследование – печень увеличена, край печени плотный безболезненный, желтушность отсутствует. Лабораторные тесты – показатели билирубина, АЛТ, АСТ в пределах нормы, сохранность функционального резерва печени по ИКГ-тесту = 7,2 % (индекс задержки индоциана зеленого через 15 минут; ICG-R15, Indocyanine Green Retention at 15 minutes).

КТ с внутривенным болюсным контрастированием на КТ-аппарате NeoViz 128 (Neosoft, Китай) по стандартной методике с получением серий снимков в нативную, артериальную, портальную и венозную фазы. По данным КТ исследования выставлено заключение: данные за два образования S6,7 и S4b печени, вероятно альвеолярный эхинококкоз (рисунок 1).

Постпроцессорный анализ проведен с помощью программы LiverAnalysis+, включал автоматическую волюметрию, сегментацию печени и сосудов, виртуальную резекцию для расчета будущего остаточного объема печени (рисунок 2).

Результаты предоперационной КТ-волюметрии представлены в таблице (рисунок 3).

Общий объем печени – 1700 мл; объем очага в S6,7 – 221 мл; объем очага в S4b – 19 мл; объем резецируемой S6,7 и S4b печени – 954 мл (56,1 %), будущий объем печени – 746 мл (43,9 %). Таким образом, по данным волюметрии, расчетный БОП после компьютерного моделирования резекции печени достигал значения 43,9 %, что обеспечивало достаточный резерв печени, исключая высокий риск послеоперационной печеночной недостаточности (ППН). В норме плотность печени равна 1,05 г/мл, таким образом ожидаемый вес удаленной части печени составил около 1001 г ($954 \times 1,05 = 1001$ г).

Хирургическое вмешательство. Пациенту выполнена анатомическая резекция S6,7 печени (задний сектор правой доли) с удалением пораженного участка S4b. Тип доступа – лапаротомия с подреберным разрезом. Основные этапы операции: мобилизация печени с использованием 3D-реконструкции для точного определения границ поражения; выделение сосудов – контроль правой печеночной артерии и ветви воротной вены; резекция пораженных сегментов



Рисунок 1 – КТ-исследование печени, венозная фаза контрастирования. Два образования печени (звезды) с кальцинацией (стрелки) и кистозными включениями (головки стрелок)

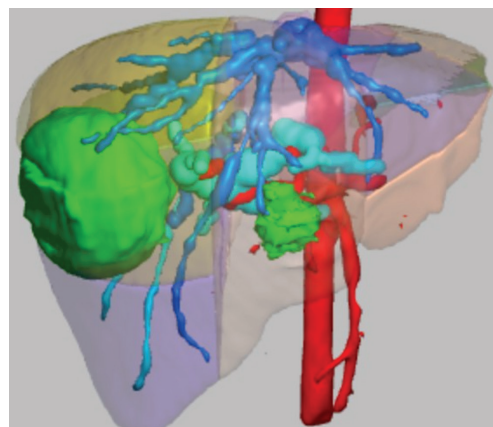


Рисунок 2 – Волюметрия печени с использованием программы LiverAnalysis+, 3D-реконструкция. Сегменты печени представлены разными цветами. Два образования печени закрашены зеленым цветом (звезды). Артериальные сосуды красного цвета. Воротная вена голубого цвета. Печеночные вены синего цвета

Печень	Volume(Functional)	Volume Proportion (Functional)	Сред. КТ (НУ)	Макс. КТ (НУ)	Мин. КТ (НУ)
Печень	1700.37cm ³	100.0%	96	726	-315
Liver Resection	953.95cm ³	56.10%	-	-	-
Residual Liver	746.42cm ³	43.90%	96	726	-315
Vessels					
Vessels	Объем	Пропорция объемов	Сред. КТ (НУ)	Макс. КТ (НУ)	Мин. КТ (НУ)
Печеночная артерия	0.54cm ³	0.03%	167	338	78
Печеночная вена	8.05cm ³	0.47%	112	172	-199
Воротная вена	23.54cm ³	1.38%	104	191	-132
Аорта	67.54cm ³	3.97%	241	581	-64
Секция печени					
Секция печени	Volume(Functional)	Volume Proportion (Functional)	Сред. КТ (НУ)	Макс. КТ (НУ)	Мин. КТ (НУ)
Секция печени1	126.67cm ³	7.45%	94	170	-65
Секция печени2	67.65cm ³	3.98%	97	158	-72
Секция печени3	89.44cm ³	5.26%	99	268	-101
Секция печени4а	240.24cm ³	14.13%	100	166	-51
Поражение + Safety Margin					
Поражение	Volume(Functional)	Volume Proportion (Functional)	Сред. КТ (НУ)	Макс. КТ (НУ)	Мин. КТ (НУ)
Поражение1	221.23cm ³	13.01%	65	776	-102
Поражение2	19.27cm ³	1.13%	88	613	-110
Total Lesions	240.5cm ³	14.14%	-	-	-

Рисунок 3 – Результаты КТ-волюметрии

с применением гемостаза и минимизацией кровопотери; интраоперационная оценка – УЗИ печени для исключения дополнительных мелких патологических очагов, невизуализируемых при абдоминальном исследовании. Длительность операции – 4 часа 35 минут. Интраоперационная кровопотеря – 450 мл. Общий вес резецированной паренхимы печени с паразитарными узлами составил около 1080 граммов (960 мл). Ожидаемый вес резецированной печени по данным КТ-волюметрии был около 1001 грамма, ошибка составила + 7,9 % ($1080 \times 100 \div 1001$).

Постоперационный период.

Ранний период: пациент находился в отделении реанимации и интенсивной терапии 2-е суток, проводилась антибактериальная и инфузионная терапия.

Поздний период: на 8-е сутки показатели билирубина нормализовались (13 мкмоль/л), самостоятельное питание с 5-х суток. Выписан на 12-е сутки в удовлетворительном состоянии.

Заключение прижизненного патологоанатомического исследования: альвеолярный эхинококкоз печени.

Контрольное КТ-исследование через 2 недели после хирургического вмешательства. Объем печени после операции составил 1547 мл. Структура печеночной паренхимы однородная, без признаков ишемии. Диаметр воротной вены – 15 мм, без признаков портальной гипертензии. В правом поддиафрагмальном пространстве – следовое количество выпота.

Через 5 месяцев после операции проведено контрольное КТ-исследование, показавшее, что объем печени составил 1201 мл, что свидетельствует о нормальном процессе регенерации. В настоящее время состояние пациента удовлетворительное, он вернулся к работе, жалоб не предъявляет, показатели функции печени в норме. Объемные показатели печени в динамике представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, в раннем послеоперационном периоде отмечается активное увеличение объема оставшейся паренхимы, в отсроченном периоде объем печени уменьшается. Данная динамика типична для регенерации печени и наблюдается независимо от характера заболевания и локализация патологического процесса [14].

Таблица 1 – Расчетный объем печени на различных этапах

Этап	Объем печени (мл)	Примечания
Объем печени до операции	1700	-
Расчетный БОП	746 (43,9 %)	-
Объем печени после резекции	740	-
Объем печени через 2 недели	1547	Активная регенерация
Объем печени через 5 месяцев	1201	Стабилизация регенерации

Обсуждение. Альвеолярный эхинококкоз печени представляет собой серьезное заболевание, требующее тщательного предоперационного планирования, особенно при значительном поражении паренхимы печени. Одним из ключевых аспектов успешного хирургического лечения является точная оценка объема поражения и будущего остаточного объема печени. Риск развития ППН увеличивается у пациентов при удалении более 50 % паренхимы. В таких случаях ключевую роль играет точный расчет БОП, который позволяет определить, сможет ли оставшаяся часть печени компенсировать утрату функциональной ткани?

Применение LiverAnalysis+ позволило:

- 1) автоматически сегментировать печень, рассчитать ее объем и объем пораженных участков;
- 2) определить БОП, который составил 43,9 %, что находилось в пределах допустимых значений для безопасной резекции;
- 3) смоделировать виртуальную резекцию, что позволило хирургам заранее оценить возможные анатомические изменения;
- 4) провести предварительный расчет веса резецируемой части печени. Согласно КТ-волюметрии, ожидаемый вес удаленной печени составлял 1001 г, в то время как фактический вес удаленной паренхимы – 1080 г. Ошибка расчетов составила +7,9 %.
- 5) контрольное КТ через 2 недели показало, что объем печени составил 1547 мл, а через 5 месяцев – 1201, что подтверждает регенеративный потенциал органа.

Ранее в клинической практике предоперационная оценка печени основывалась на визуальной интерпретации КТ-изображений, что могло приводить к субъективным ошибкам. Использование автоматической волюметрии печени позволяет объективизировать данные, улучшить планирование операции и снизить вероятность постоперационных осложнений.

Перспективы дальнейшего использования волюметрии печени. Данный клинический случай подтвердил высокую эффективность КТ-волюметрии печени с использованием LiverAnalysis+ для предоперационного ведения пациентов с АЭ печени. Однако, несмотря на точность расчета анатомического будущего остаточного объема печени, оценка функционального состояния оставшейся ткани остается за пределами данного метода исследования. Объем оставшейся печени не всегда коррелирует с ее функциональной активностью, особенно у пациентов с фиброзом, стеатозом или после химиотерапии. Включение функциональных методов оценки позволит персонализировать предоперационное планирование. Объективную оценку функциональной способности будущего остатка печени (фБОП), проводят, используя такие методы, как гепатобилиарная сцинтиграфия с ⁹⁹Tc-меоброфенином, функциональная МРТ с контрастом Gd-EOB-DTPA (Gadolinium-Ethoxybenzyl-Diethylenetriamine Pentaacetic Acid; Гадолиний-этоксibenзил-диэтиленetriаминпентауксусная кислота).

Эти методы помогают определить жизнеспособность оставшейся ткани, особенно в условиях диффузного поражения паренхимы печени, что невозможно при стандартной КТ-волюметрии. Разработка алгоритмов, объединяющих КТ-волюметрию, гепатобилиарную сцинтиграфию и функциональную МРТ, позволит более точно предсказывать исходы операции. Использование искусственного интеллекта (ИИ) для автоматического анализа функциональных и анатомических данных позволит повысить точность предоперационного планирования.

Выводы

1. Использование автоматизированной КТ-волюметрии с программой LiverAnalysis+

в предоперационном планировании при альвеолярном эхинококкозе позволило объективно оценить объем резекции, рассчитать будущий остаточный объем печени (БОП = 43,9 %) и подтвердить безопасность вмешательства. Фактический вес резецированной печени составил 1080 г, что на 7,9 % больше расчетного по данным КТ-волюметрии (1001 г).

2. Виртуальная резекция печени и сосудистая сегментация обеспечили возможность компьютерного моделирования анатомических изменений, что позволило оптимизировать хирургическую тактику и минимизировать интраоперационные риски.
3. Первый опыт использования КТ-волюметрии в Кыргызской Республике продемонстрировал перспективность автоматической волюметрии как инструмента для повышения точности предоперационного планирования, индивидуального прогнозирования ППН и оптимизации хирургического лечения. Однако полученные результаты на данном этапе недостаточны, необходимо проведение дальнейших более масштабных исследований для окончательной валидации метода.
4. Перспективы дальнейшего использования КТ-волюметрии заключаются в интеграции функциональных методов оценки печени, таких как гепатобилиарная сцинтиграфия с ⁹⁹Tc-меоброфенином, функциональная МРТ с контрастом Gd-EOB-DTPA, для более точного прогнозирования послеоперационного состояния печени и регенерации паренхимы.
5. Также важно учитывать возможные расхождения между расчетным и фактическим весом резецируемой печени и соответственно БОП, что должно быть учтено для дальнейшего совершенствования алгоритмов предоперационного планирования.

Поступила: 27.02.2025;

рецензирована: 13.03.2025; принята: 17.03.2025.

Литература

1. H. Wen et al. Echinococcosis: Advances in the 21st Century // Clin. Microbiol. Rev. Vol. 32. No. 2. Mar. 2019. DOI: 10.1128/CMR.00075-18.
2. A. Massolo, M.A. Santa, M. Musiani, and K.E. Ruckstuhl. Parasitology // A review on invasions by parasites with complex life cycles: the European strain of Echinococcus multilocularis in North America as a model. 2021. DOI: 10.1017/S0031182021001426.
3. B. Dezsényi et al. Emerging human alveolar echinococcosis in Hungary (2003–2018): a retrospective case series analysis from a multi-centre study // BMC Infect. Dis. Vol. 21. No. 1. Dec. 2021. DOI: 10.1186/s12879-021-05859-5.
4. Y. Zhou, P. Feng, F. Tian, H. Fong, H. Yang, and H. Zhu. A CT-based radiomics model for predicting lymph node metastasis in hepatic alveolar echinococcosis patients to support lymph node dissection // Eur. J. Med. Res. Vol. 29. No. 1. P. 409. Aug. 2024. DOI: 10.1186/s40001-024-01999-x.
5. J. Chen et al. A liver CT based nomogram to pre-operatively predict lung metastasis secondary to hepatic alveolar echinococcosis // Eur. J. Radiol. Vol. 183. P. 111865. Feb. 2025. DOI: 10.1016/j.ejrad.2024.111865.
6. Bk. Bebezov et al. Advanced liver resections in alveococcosis // Вестник КРСУ. 2022. Vol. 22. No 8. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-1-23-29.
7. R.A. Omorov, S.A. Aitbaev, A.K. Kaniyev, and A.A. Abdiev. Results of Surgical Treatment of Patients with Liver Alveolar Echinococcosis // Ann. Khirurgicheskoyeypatologii Ann. HPB Surg. Vol. 23. No. 1. Pp. 74–79. Apr. 2018. DOI: 10.16931/1995-5464.2018-1-74-79.
8. T. Graeter and J. Schmidberger. Stage-Oriented CT Classification and Intermodal Evolution Model in Hepatic Alveolar Echinococcosis // RöFo – Fortschritte Auf Dem Geb. Röntgenstrahlen Bildgeb. Verfahr. Vol. 194. No. 05. Pp. 532–544. May 2022. DOI: 10.1055/a-1710-3669.
9. Y. Peng et al. CT-derived extracellular volume and liver volumetry can predict posthepatectomy liver failure in hepatocellular carcinoma // Insights Imaging. Vol. 14. No. 1. P. 145. Sep. 2023. DOI: 10.1186/s13244-023-01496-5.
10. F. Yi, W. Zhang, and L. Feng. Efficacy and safety of different options for liver regeneration of future liver remnant in patients with liver malignancies: a systematic review and network meta-analysis // World J. Surg. Oncol. Vol. 20. No. 1. Dec. 2022. DOI: 10.1186/s12957-022-02867-w.
11. H. Fernandez, S. Nadalin, and G. Testa. Optimizing future remnant liver prior to major hepatectomies: increasing volume while decreasing morbidity and mortality // Hepatobiliary Surg. Nutr. Vol. 9. No. 2. Pp. 215–218. Apr. 2020. DOI: 10.21037/hbsn.2019.10.24.
12. D. Balci, Y. Sakamoto, J. Li, F. Di Benedetto, E.O. Kirimker, and H. Petrowsky. Associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy (ALPPS) procedure for cholangiocarcinoma // Int. J. Surg. Lond. Engl. Vol. 82S. Pp. 97–102. Oct. 2020. DOI: 10.1016/j.ijsu.2020.06.045.
13. Q. Guo et al. Application of hepatic lobe hyperplasia techniques in the treatment of advanced hepatic alveolar echinococcosis: a single-centre experience // BMC Surg. Vol. 22. No. 1. P. 415. Dec. 2022. DOI: 10.1186/s12893-022-01864-w.
14. L.I. Galchenko, A.N. Kalyagin, and I.A. Pavlyuk. Regeneration of the liver with trauma, resections and some focal lesions // Современные проблемы науки и образования. Mod. Probl. Sci. Educ. 2022. № 1. Pp. 52–52. DOI: 10.17513/spno.31461.