



## МОРФОЛОГИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ МЕДНО-ЦИНКОВОЙ КОЛЧЕДАННОЙ РУДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

<sup>1</sup>Курамшина Г.Р., <sup>2</sup>Мусина Л.А., <sup>1</sup>Фаршатова Е.Р., <sup>1</sup>Камилов Ф.Х.

<sup>1</sup>Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, <sup>2</sup>Всероссийский центр глазной и пластической хирургии, Уфа, Россия, e-mail: tabletkadg@yandex.ru

### Для цитирования:

Курамшина Г.Р., Мусина Л.А., Фаршатова Е.Р., Камилов Ф.Х. Морфология костной ткани при действии химических компонентов медно-цинковой колчеданной руды в эксперименте. *Морфологические ведомости*. 2021;29(2):595. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29\(2\).595](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29(2).595)

**Резюме.** Болезни костно-мышечной системы у горняков, добывающих руду цветных металлов, занимают высокое место среди заболеваний с временной утратой трудоспособности. В крови, ротовой жидкости, твердых зубных отложениях, волосах у них определяются высокие концентрации эссенциальных и токсичных элементов, содержащихся в рудах, чем у работников других профессий горно-обогатительных комбинатов. Это свидетельствует о поступлении в организм и накоплении металлов из промышленной аэрозоли рабочей зоны в тканях. Остеопороз у горняков выявляется значительно чаще и имеет корреляционную связь со стажем работы. Цель исследования – изучение гистологической картины и ультраструктуры костной ткани экспериментальных животных при длительном воздействии элементов медно-цинковой руды. Эксперименты проведены на 36 половозрелых самцах крыс. Животные опытной группы ежедневно получали внутрижелудочно суспензию порошка медно-цинковой колчеданной руды в 2% растворе крахмала в течение трех месяцев из расчета 60 мг/100 г массы. Через 1, 2 и 3 месяца у животных выделяли бедренные кости, изучали в них содержание Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Sr, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg методом атомно-абсорбционной спектрометрии, гистологические и электронно-микроскопические изменения структуры диафиза и эпифиза, морфометрические показатели (суммарную площадь костных балок, поперечный размер костных трабекул и толщину суставного хряща, количество остецитов и остеонов диафиза в поле зрения). Установлено, что длительная интоксикация комплексом элементов, содержащихся в медно-цинковой колчеданной руде, вызывает в трубчатых костях экспериментальных животных нарушения ультраструктуры и микро-архитектоники пластинчатой и губчатой кости. Выявляются деструкция внутриклеточных органелл остецитов, вплоть до их разрушения, рассасывания и истончения костных пластинок, усиление резорбции с образованием узуров, снижение костеобразования, которые нарастают с увеличением длительности интоксикации. Таким образом длительная интоксикация комплексом элементов, содержащихся в медно-цинковой колчеданной руде, путем ежедневного введения малых доз суспензии порошка руды вызывает в трубчатых костях экспериментальных животных существенные нарушения ультраструктуры и микро-архитектоники пластинчатой и губчатой костной ткани.

**Ключевые слова:** костная ткань; ультраструктура; гистология; интоксикация; цветные металлы; крысы

Статья поступила в редакцию 21 октября 2020

Статья принята к публикации 6 июля 2021

## THE MORPHOLOGY OF BONE TISSUE UNDER THE ACTION OF CHEMICAL COMPONENTS OF COPPER-ZINC PYRITE ORE IN EXPERIMENT

<sup>1</sup>Kuramshina GR, <sup>2</sup>Musina LA, <sup>1</sup>Farshatova ER, <sup>1</sup>Kamilov FK

<sup>1</sup>Bashkir State Medical University, Ufa, <sup>2</sup>All-Russian Center of Eye and Plastic Surgery, Ufa, Russia, e-mail: tabletkadg@yandex.ru

### For the citation:

Kuramshina GR, Musina LA, Farshatova ER, Kamilov FK. The morphology of bone tissue under the action of chemical components of copper-zinc pyrite ore in experiment. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological Newsletter*. 2021;29(2):595. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29\(2\).595](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2021.29(2).595)

**Summary.** Diseases of the musculoskeletal system in miners who mine non-ferrous metal ores rank high among diseases with temporary disability. In their blood, oral fluid, hard dental deposits, hair, they have high concentrations of essential and toxic elements contained in ores than in workers of other professions of mining and processing plants. This indicates the entry into the body and accumulation of metals from the industrial aerosol of the working area in the tissues. Osteoporosis in miners is detected much more often and has a correlation with work experience. The aim of the investigation was to study the histological picture and ultrastructure of the bone tissue of experimental animals under prolonged exposure to elements of copper-zinc ore. The experiments were carried out on 36 male rats. Animals of the experimental group received daily intragastrically the suspension of copper-zinc pyrite ore powder in 2% starch solution for three months at the rate of 60 mg/100 g of weight. After 1, 2 and 3 months, the femurs were extracted and the content of Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Sr, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg in them was studied by atomic absorption spectrometry and also histologically and by electronic microscopy the changes of the structures of the diaphysis and epiphysis including the morphometric parameters (total area of bone trabeculae, transverse size of bone trabeculae and thickness of the articular cartilage, the number of osteocytes and osteons of the diaphysis in the field of view). It has been established that long-term intoxication with a complex of elements contained in copper-zinc pyrite ore causes disruptions in the ultrastructure and micro-architectonics of the lamellar and cancellous tissue in the tubular bones of experimental animals. The destruction of intracellular organelles of osteocytes is revealed, up to their destruction, resorption and thinning of bone plates, increased resorption with the formation of bone erosion, a decrease in bone formation, which increase with an increase in the duration of intoxication. Thus, prolonged intoxication with a complex of elements contained in copper-zinc pyrite ore, by daily medication of small doses of a suspension of ore powder, causes significant disruption of the ultrastructure and micro-architectonics of lamellar and cancellous tissue in the tubular bones of experimental animals.

**Key words:** bone tissue; bone ultrastructure; histology; intoxication; non-ferrous metals; rats

Article received 21 October 2020

Article accepted 6 July 2021

**Введение.** Болезни костно-мышечной и соединительной ткани, включая низкоинтенсивные переломы, занимают высокое ранговое место среди общей и профессиональной заболеваемости на предприятиях добычи и переработки цветных металлов [1-2]. Остеопенический синдром, как показывают данные изучения минеральной плотности костной ткани, у горняков, добывающих руду подземным способом, выявляется в 2-4 раза чаще, чем у работников наземных служб того же предприятия и жителей близлежащих территорий, а снижение костной прочности у горняков обнаруживается в достаточно молодом возрасте и связаны со стажем работы [3-4]. В организме рабочих горно-обогатительных производств по добыче и переработке руды цветных металлов из промышленного аэрозоля рабочей зоны поступают и накапливаются эссенциальные токсичные металлы, содержащиеся в рудах, о чем свидетельствуют данные об их содержании в ротовой жидкости, твердых зубных отложениях, крови и волосах [4-6]. В медно-цинковой колчеданной руде Учалинского месторождения (Республика Башкортостан), обнаружено более 80 минералов, среднее содержание цинка в руде составляет около 5%, меди – 3,5%, серы – 15-45%, свинца – 0,1-0,3%, кадмия – 0,06-0,12%, мышьяка – 0,1-3,0%, сурьмы – 0,1-0,5%, и в качестве сопутствующих элементов присутствуют также хром, марганец, железо, серебро, ртуть, кремний и другие металлы.

Ранее проведенные исследования с моделированием хронического поступления элементов руды в организм экспериментальных животных показали их токсическое действие, проявляющееся нарушениями координации остеобластических и остеокластических процессов, изменением системных и локальных факторов регуляции ремоделирования, метаболизма костной ткани, интенсификацией свободнорадикального окисления [4, 9-10].

**Цель исследования:** изучить изменения гистологической картины и ультраструктуры костной ткани экспериментальных животных при длительном воздействии элементов медно-цинковой руды.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проведены на 36 половозрелых самцах крыс массой 180-220 г. Животным опытной группы ежедневно внутрижелудочно вводили суспензию измельченного до порошкообразного состояния медно-цинковой колчеданной руды, добываемой на Учалинском месторождении ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» в 2% растворе крахмала в течение трех месяцев из расчета 60 мг/100г массы тела. Контрольной группе крыс также внутрижелудочно ежедневно вводили 2% раствор крахмала.

Эксперимент проводили с соблюдением принципа гуманной методологии медико-биологических исследований на животных, учитывая требования приказа Минздравсоцразвития Российской Федерации № 708 от 23.08.2010г, а также «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» (Страсбург, 1985). Болезненные манипуляции животным выполняли в условиях контролируемого наркоза. Крысы обеих групп содержались в идентичных условиях вивария.

Животных из эксперимента выводили через 1, 2 и 3 месяца от начала эксперимента. В бедренных костях крыс изучали содержание кальция, магния, железа, марганца, хрома, стронция, меди, цинка, свинца, кадмия, ртути методом атомно-абсорбционной спектрометрии (спектрометр «SpectrAA 240 FS»). Для изучения гистологической структуры диафизов и эпифизов бедренных костей кусочки тканей фиксировали в 10% нейтральном формалине, декальцинировали в 10% растворе муравьиной кислоты, разведенной в формалине той же концентрации около двух месяцев, промывали 10% раствором забуференного формалина, обезживали в спиртах восходящей концентрации (от 70% до 100%) и заливали в парафин по стандартной методике. Гистологические срезы толщиной 5-6 мкм готовили на микротоме «LEICA 4RM2145», окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван-Гизон. Исследование и визуализа-

цию препаратов проводили с использованием микроскопа «LeicaLVL 108» со специализированным программным обеспечением управления настройками и захвата изображения. Микрофотосъемку проводили с помощью цифровой камеры Nikon D100. Морфометрические исследования проводили в 10 полях зрения при увеличении  $\times 20$ ,  $\times 100$ .

Для электронно-микроскопического изучения после декальцинации и промывки в забуференном формалине кусочки костной ткани (1-2 мм) фиксировали в 2% растворе глутарового альдегида на фосфатном буфере Миллонга (pH 7,2-7,4) в течение двух часов и час постфиксировали в 1% растворе четырехоксида осмия, приготовленном на том же буфере, обезвоживали в спиртах восходящей концентрации и абсолютном ацетоне. Заливку проводили в эпон-812 по общепринятой методике, ультратонкие срезы получали на ультрамикротоме «LKB – III», контрастировали 2% водным раствором уранилацетата и раствором цитрата свинца по Рейнольдсу. Срезы фотографировали в электронном микроскопе «Jem – 100B» при увеличении 2500 – 10000.

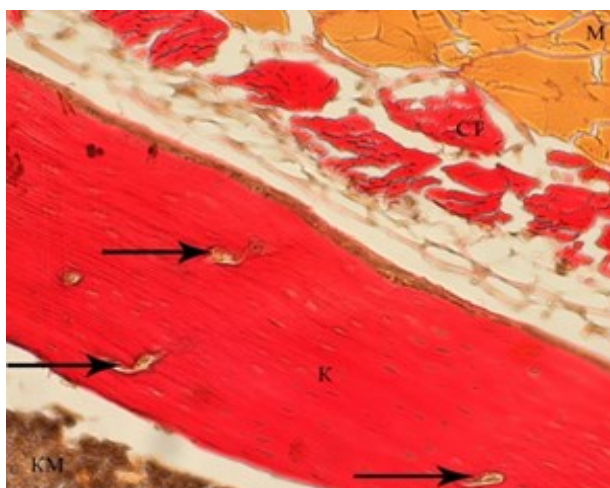
Статистическую обработку осуществляли с использованием программ Statistica 6,0 for Windows. Рассчитывали медиану, процентиля ( $Q_1$ - $Q_3$ ) и различия межгрупповых средних величин по U-критерию Манна-Уитни.

**Результаты исследования и обсуждение.** Костная ткань выполняет метаболическую функцию, участвуя в поддержании постоянной концентрации в крови кальция, фосфора, магния, а также ряда других макро- и микроэлементов. В костной ткани находится 99% Ca, 80% P, 66% Mg, она чувствительно реагирует на изменения баланса Sr, Si, Fe, Mn, Cu, Zn, Al, Mo, Se, I, F, а также на поступление таких токсических металлов как Pb, Hg, Cd, Cr [7-8]. Результаты определения некоторых элементов, содержащихся в медно-цинковой руде, в трубчатых костях (бедренная, большеберцовая, плечевая) крыс показали, что содержание одних элементов увеличивается уже к концу первого месяца интоксикации (Mn, Sr, Cr), затем не подвергается

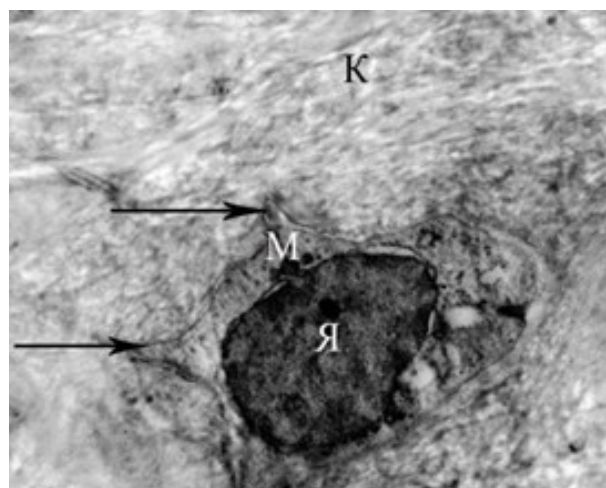
значительным изменениям, а другие Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Hg накапливаются постепенно, достигая высокого уровня к 3-м месяцам. При этом в костной ткани обнаруживается снижение содержания Ca и Mg. Обращает внимание накопление в костной ткани таких высокотоксичных элементов, как Pb, Cd и Hg, содержание которых увеличивается многократно.

При изучении гистологической картины бедренной кости контрольных животных диафиз представлен кортикальной костью с развитой сетью разнонаправленных гаверсовых каналов различного калибра и лакунами с остеócитами. Под надкостницей, содержащей остеопрогениторные клетки, и эндостом, состоящего из одного слоя – остеобластов, параллельно поверхности располагаются наружный и внутренний слои компактного вещества, образованные системой костных пластинок. В центре остеонов располагаются кровеносные сосуды, встречаются прободающие каналы, остеоны между собой соединены вставочными пластинками. Костный матрикс при окраске по Ван-Гизон проявляют свойства пикринофилии, характеризуя сохранность структуры коллагеновых волокон (рис. 1А). Остеоциты, располагающиеся между наружной и внутренней общими пластинками, чаще всего имеют звездчатую форму из-за множества отростков, тянущихся в костных каналах (рис. 1Б). В остеобластах в цитоплазме выявляются большое количество коротких цистерн гранулярного эндоплазматического ретикулума (рис. 1В).

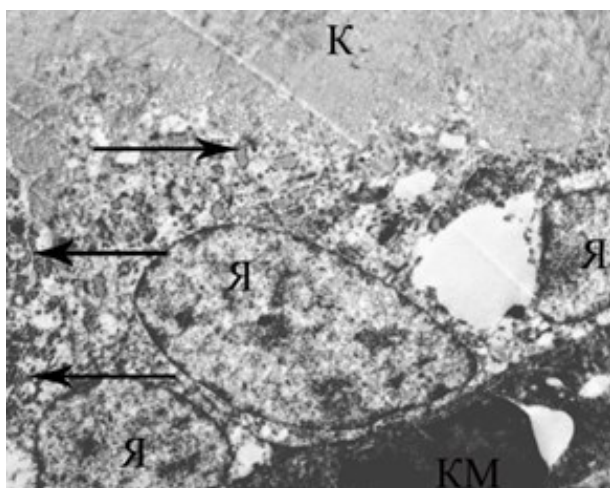
Эпифиз образован губчатой костью и эпифизарной хрящевой пластинкой. Костные балки губчатого вещества имеют типичное строение: сеть анастомозирующих трабекул образована параллельно расположенными костными пластинками, поверхность дуг и арок трабекул покрыта остеобластами, пространство между трабекулами заполнено костным мозгом. В эпифизарном хряще прослеживаются зоны покоя, пролиферации, гипертрофированного хряща, зона обызвествления хряща и зона окостенения, в которой выявляются остеопрогениторные клетки (рис. 1Г).



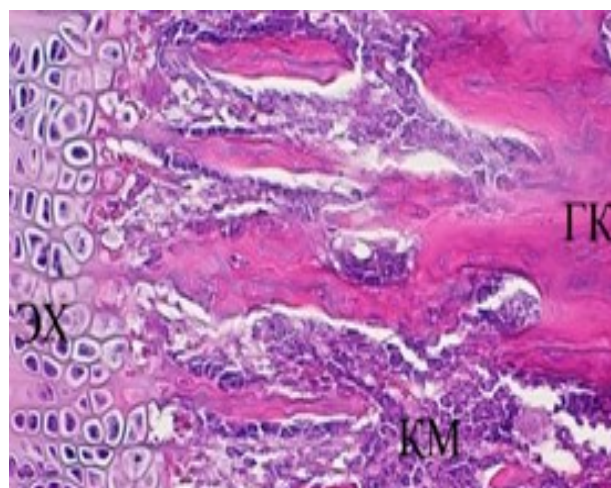
**Рис. 1А.** Кортикальная кость диафиза бедренной кости крыс контрольной группы. Обозначения: К – костная ткань; КМ – костный мозг; Ж – жировая ткань; СТ – соединительная ткань; Гаверсовы каналы с сосудами - (↑). Окр. по Ван-Гизон. Ув.: x100.



**Рис. 1Б.** Ультраструктура остеокита кости крыс контрольной группы. Обозначения: К – костная ткань; Я – ядро; М – митохондрия; каналцы гранулярного эндоплазматического ретикулума - (↑). Электронное микрофото. Ув.: x6000.



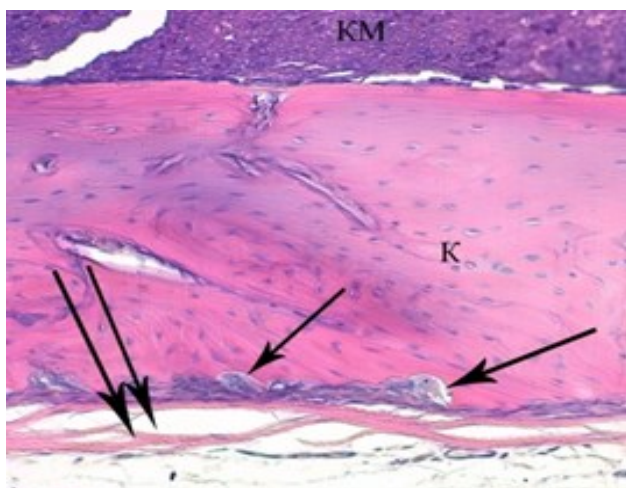
**Рис. 1В.** Ультраструктура остеобласта бедренной кости крыс контрольной группы. Обозначения: К – костная ткань; КМ – костный мозг; Я – ядро; каналцы гранулярного эндоплазматического ретикулума - (↑). Электронное микрофото. Ув.: x6000.



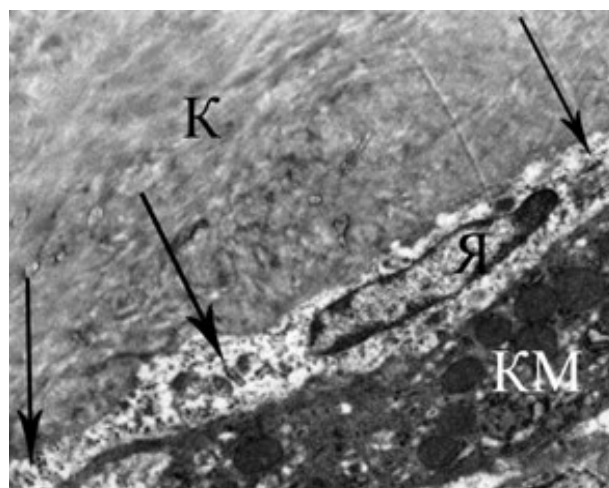
**Рис. 1Г.** Структура бедренной кости крыс контрольной группы. Обозначения: ЭХ – эпифизарный хрящ. ГК – губчатая кость. КМ – костный мозг. Окр. гематоксилином и эозином. Ув.: x 200.

У большинства животных опытной группы через месяц после начала эксперимента морфологические изменения проявлялись не столь заметно, структура костной ткани бедра мало отличалась от таковой контрольной группы. В области диафиза под надкостницей определялись неглубокие резорбционные полости – узурры. В этих областях наружный слой надкостницы отслаивался от клеточной части (рис. 2А). В структуре остеобластов эндоста количество характерных каналь-

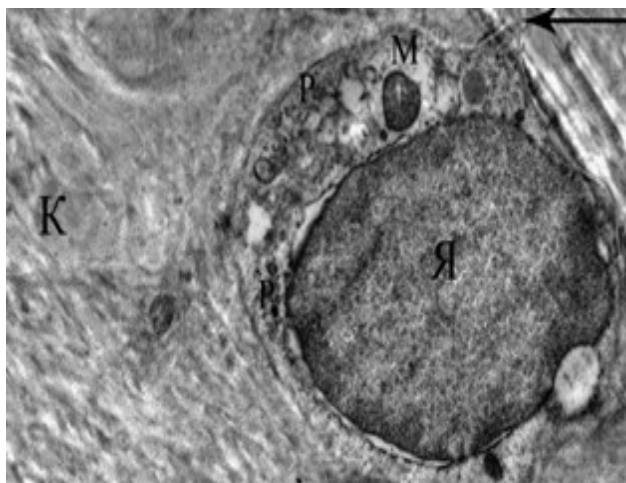
цев эндоплазматического ретикулума выявлялось меньше, чем в контрольной группе (рис. 2Б), в структуре остеокитов заметных изменений не обнаружилось (2В). В эпифизарном хряще хорошо просматривались типичные зоны. В зоне формирования энхондральной кости на поверхности новообразованных костных балок определялись длинные базофильно окрашивающиеся цепочки остеобластов, синтезирующих остеоид, бледно окрашивающийся эозином (рис. 2Г).



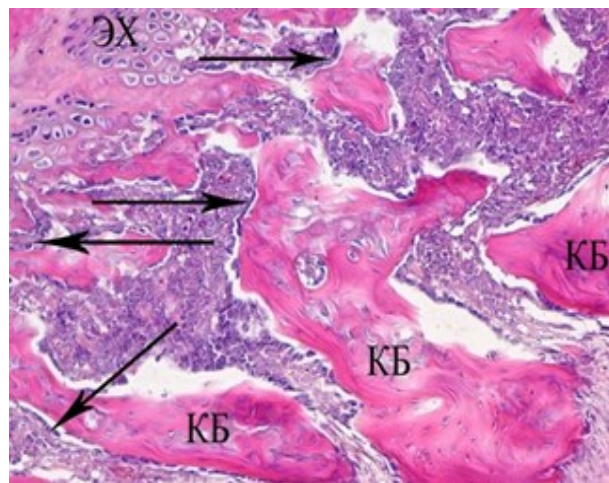
**Рис. 2А.** Структура бедренной кости крыс опытной группы через месяц после начала введения суспензии порошка руды. Кортикальная кость диафиза. Обозначения: К – костная ткань; КМ – костный мозг; резорбционные узур - (↑); отслоившиеся коллагеновые волокна - (↑↑). Окр. гематоксилином и эозином. Ув.: x100.



**Рис. 2Б.** Ультраструктура остеобласта эндоста бедренной кости крыс опытной группы через месяц после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – костная ткань; КМ – костный мозг; каналцы гранулярного эндоплазматического ретикула - (↑). Электронное микрофото. Ув. X6000.



**Рис. 2В.** Ультраструктура остеокита бедренной кости крыс опытной группы через месяц после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – компактная костная ткань; Я – ядро; М – митохондрий; Р – гранулярный эндоплазматический ретикулум; отросток остеокита в канальце - (↑). Электронное микрофото. Ув.: x6000.



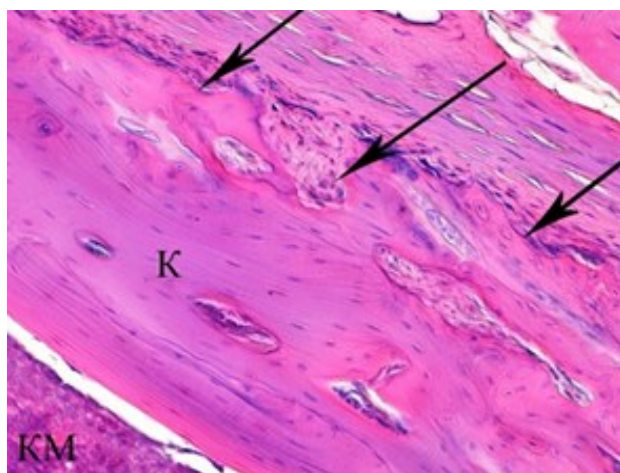
**Рис. 2Г.** Структура бедренной кости крыс опытной группы через месяц после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: ЭХ – эпифизарный хрящ и губчатая кость. КБ – новообразованные костные балки. Цепочки остеобластов - (↑). Окр. гематоксилином и эозином. Ув.: x100.

В опытной группе крыс через 2 месяца от начала введения экспериментов медно-цинковой руды выявились признаки деструктивных процессов эпифизарного хряща, губчатой кости и нарушения микроархитектоники костной ткани диафиза с усилением процессов ее резорбции. В области диафиза под надкостницей

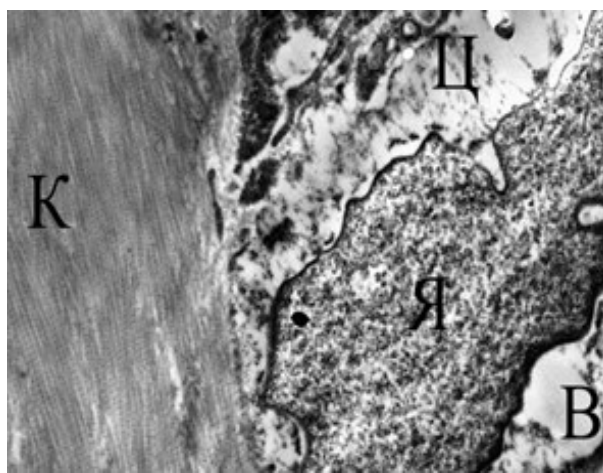
определялось значительное количество узуров, в резорбционных лакунах разрасталась волокнистая бессосудистая соединительная ткань, поверхность кортикальной пластинки под надкостницей становилась извилистой, изрезанной (рис. 3А). Некоторые остеобласты эндоста определялись, как активные с увеличением ка-

нальцев гранулярного эндоплазматического ретикулума в цитоплазме, но чаще «истощенные» с дистрофическими изменениями в виде набухания цитозоля и вакуолизации цитоплазмы, превращенные из удлинённых в большие круглые (рис. 3Б). Остеоциты в лакунах имели патологические изменения в виде набухания и вакуолизации цитоплазмы. Отдельные остеоциты подвергались сморщиванию, лакуны и каналы в костной ткани опу-

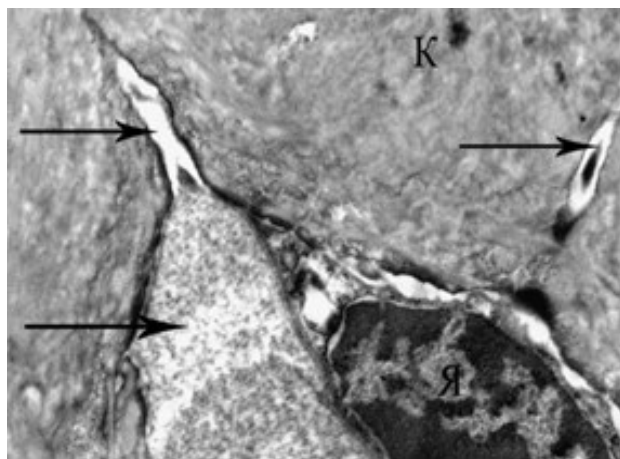
стевали, ядра становились плотными, отростки теряли связь с соседними клетками (рис. 3В). В эпифизах бедренных костей выявлялись начальные признаки разрушения хряща – характерные зоны покоя, пролиферации и гипертрофированного хряща не имели четких границ, а костные трабекулы губчатой кости были разной толщины, укороченные с неровными краями (рис. 3Г).



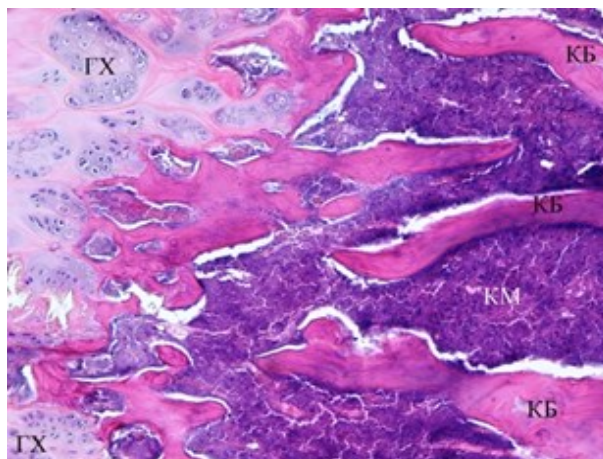
**Рис. 3А.** Кортикальная кость диафиза бедренной кости крыс опытной группы через 2 месяца от начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – костная ткань; КМ – костный мозг; резорбционные узурры - (↑). Окр. гематоксилином и эозином. Ув.: x100.



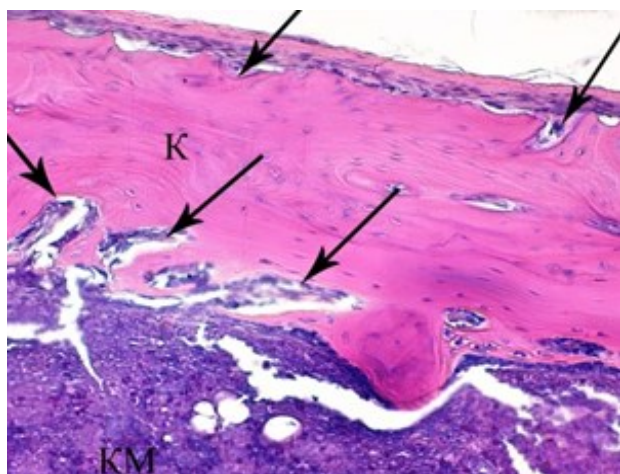
**Рис. 3Б.** Ультраструктура остеобласта бедренной кости крыс опытной группы через 2 месяца от начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – компактная костная ткань; Я – ядро; Ц – цитоплазма; В – вакуоли в цитоплазме. Электронное микрофото. Ув.: x6000.



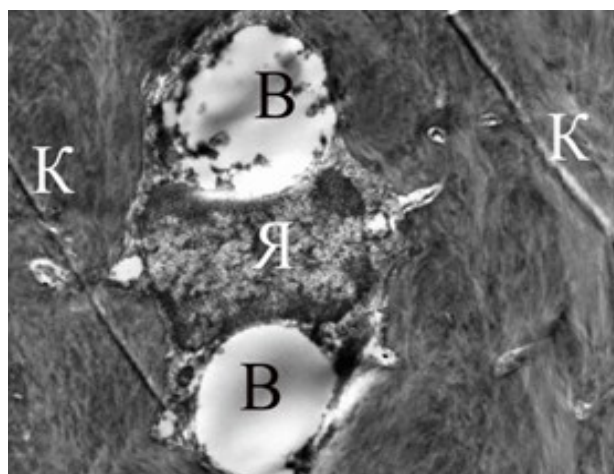
**Рис. 3В.** Ультраструктура сморщенного остеокита в области диафиза, бедренной кости крыс опытной группы через 2 месяца от начала эксперимента. Обозначения: К – компактная костная ткань; Я – ядро; пустые каналы и пустота в лакуне - (↑). Электронное микрофото. Ув.: x6000.



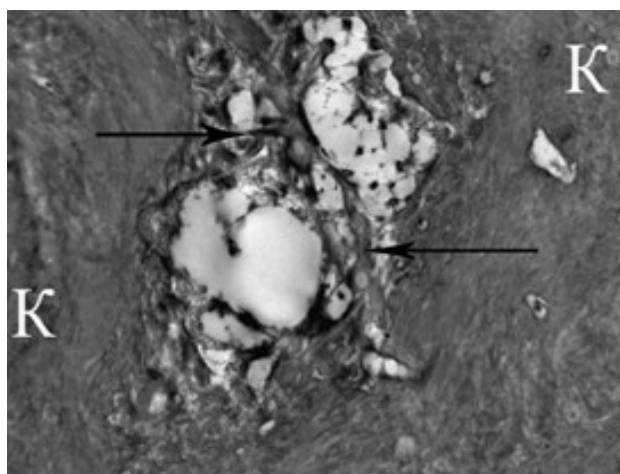
**Рис. 3Г.** Эпифизарный хрящ и губчатая кость бедренной кости крыс опытной группы через 2 месяца от начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: ГХ – гипертрофированный хрящ; КБ – костные балки; КМ – костный мозг. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x100.



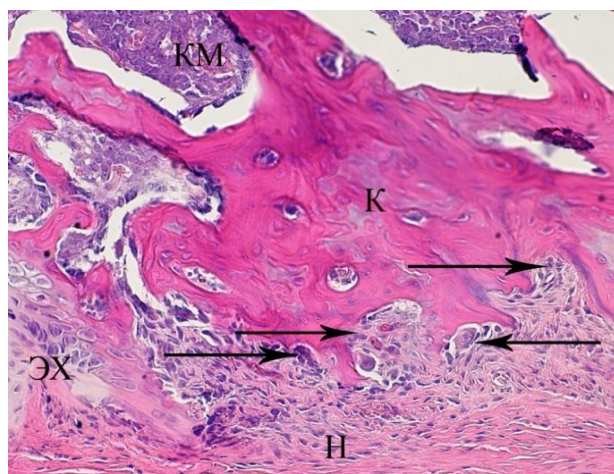
**Рис. 4А.** Кортикальная кость диафиза бедренной кости крыс опытной группы через 3 месяца после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – костная ткань; К – костный мозг; резорбционные лакуны или узур - (↑). Окраска гематоксилином и эозином. Ув.: x100.



**Рис. 4Б.** Ультраструктура остеокита в области диафиза бедренной кости крыс опытной группы через 3 месяца после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – компактная костная ткань; Я – деформированное ядро; В – вакуоли в цитоплазме. Электронное микрофото. Ув.: x6000.



**Рис. 4В.** Ультраструктура кости в области диафиза бедренной кости крыс опытной группы через 3 месяца после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: К – костная ткань; фрагменты разрушенного остеокита в лакуне - (↑). Электронное микрофото. Ув.: x6000.



**Рис. 4Г.** Структура бедренной кости крыс опытной группы через 3 месяца после начала введения суспензии порошка руды. Обозначения: ЭХ – эпифизарный хрящ) и губчатая кость; Н – надкостница; К – костная ткань, КМ – костный мозг; остеокласты в узур - (↑).

Через 3 месяца ежедневного введения суспензии порошка медно-цинковой руды в растворе крахмала патоморфологические изменения бедренной кости по степени проявления были более выраженными. В области диафиза наблюдалось заметное истончение костной ткани в результате разрушения и резорбции костного матрикса. Многочисленные и довольно глубокие узур определялись по всей

длины диафиза, в них со стороны надкостницы вращалась рыхлая соединительная ткань с многочисленными остеокластами (рис. 4А). В некоторых участках компактной кости диафиза определялись зоны костеобразования, которые иногда вытягивались на значительные расстояния в сторону эпифизов, а остеобластические клетки выявлялись нередко в 2-3 ряда. В цитоплазме остеокитов в костных лакунах

обнаруживались признаки деструкции внутриклеточных органелл, вместо которых появлялись большие светлые вакуоли, сильно деформируя и сжимая ядро (рис. 4Б), во многих лакунах кости обнаруживались только фрагменты разрушенных остеоцитов (рис. 4В). В эпифизах бедренной кости разрушения суставного хряща нарастали, который истончался, характерные зоны покоя пролиферации, гипертрофированного хряща и кальцификации не дифференцировались. Со стороны утолщенной надкостницы активизировались остеокласты, формирующие многочисленные глубокие резорбционные полости (рис. 4Г). Резорбции подвергались и костные балки губчатого вещества, которые сильно истончались, часто укорачивались, местами искривлялись, были с неровными краями и разной толщины.

Таким образом, при длительном поступлении в организм медно-цинковой

колчеданной руды в костной ткани определяется постепенное развитие деструктивно-дегенеративных изменений, сопровождающиеся, особенно в начальные сроки, признаками компенсаторно-восстановительных процессов. Развивается интенсивная резорбция, как пластинчатой, так и губчатой кости, а также эпифизарного хряща с нарушениями минерализации. Эти процессы приводят к истончению эпифизарного хряща, кортикальной пластинки трубчатой кости, уменьшению губчатой кости.

Изучение морфометрических показателей костной ткани подтверждают эти положения (таблица 1). У животных опытной группы статистически значимо снижены по сравнению с крысами контрольной группы в эпифизах бедренной кости суммарная площадь костных трабекул, поперечный разрез костных трабекул, толщина суставного хряща.

Таблица 1

**Морфологические показатели бедренной кости крыс при действии компонентов медно-цинковой руды, Me [Q<sub>1</sub>-Q<sub>3</sub>]**

| Показатели                                                                | Группы животных             |                             | p<    |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
|                                                                           | Контрольная, n=10           | Опытная, n=10               |       |
| Суммарная площадь костных балок эпифизов x100, в мкм <sup>2</sup>         | 259980<br>[218327 - 315015] | 222027<br>[167850 - 279483] | 0,041 |
| Поперечный размер костных трабекул эпифиза x20, в мкм                     | 49,8<br>[38,5 - 61,0]       | 40,9<br>[33,6 - 46,9]       | 0,038 |
| Количество остеоцитов диафиза в поле зрения x20, в мкм                    | 184<br>[159 - 191]          | 160<br>[131 - 192]          | 0,058 |
| Количество гаверсовых каналов (остеонов) диафиза в поле зрения x20, в мкм | 16,4<br>[12,8 - 21,3]       | 14,1<br>[11,6 - 19,8]       | 0,050 |
| Поперечный размер стенки бедренной кости x20, в мкм                       | 223,6<br>[181,8 - 385,5]    | 202,2<br>[163,3 - 276,4]    | 0,051 |
| Толщина суставного хряща эпифиза x20, в мкм                               | 147,1<br>[92,1 - 198,8]     | 98,3<br>[75,6 - 116,8]      | 0,003 |

Морфометрические изменения диафиза были менее выражены, в частности, количество остеоцитов, поперечный размер стенки и количество остеонов снижались на 12-15%.

Изучение структуры костной ткани опытной группы крыс подтверждают данные ранее проведенных биохимических исследований, свидетельствующих о том, что в результате длительного поступления в организм компонентов медно-цинковой

руды наблюдаются дисбаланс ремоделирования кости с превалированием резорбции, нарушения минерального обмена, усиление в костной ткани процессов свободнорадикального окисления на фоне резкого снижения узлового звена антиокислительной защиты – системы глутатиона, включая уровень восстановленного глутатиона, свободных тиольных групп белков, активность глутатионзависимых ферментов и ферментов его восстановле-

ния, а также тесно связанных с ними других компонентов антиоксидантной защиты [4, 9-11].

**Заключение.** Длительная интоксикация комплексом элементов, содержащихся в медно-цинковой колчеданной руде, путем ежедневного введения малых доз суспензии порошка руды вызывает в трубчатых костях экспериментальных животных нарушения ультраструктуры и микроархитектоники пластинчатой и губчатой кости. При гистологическом и

электронномикроскопическом исследовании выявляются деструкция внутриклеточных органелл остеоцитов, вплоть до их разрушения, рассасывание и истончение костных пластинок, усиление резорбции с образованием узуров, снижение костеобразования. Деструктивно-дегенеративные изменения в костной ткани нарастают с увеличением длительности интоксикации, хотя в начальные сроки сопровождаются заметными признаками компенсаторно-восстановительных процессов.

## Литература References

1. Askarova ZF, Chashchin VP, Denisov EI. Professional'nyy risk dlya zdorov'ya rabotnikov gornodobyvayushchikh predpriyatiy. S-Pb; 2010. 216s.
2. Battakova ZhE, Ismagilov AA, Sultanbekov ZK. Otsenka obshchey i professional'noy zabolevaemosti na predpriyatiyakh gornorudnoy promyshlennosti Kazakhstana. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2008;2:1-5.
3. Kudasheva AR, Yakupov RR. Problema osteopenii sredi rabotnikov gornodobyvayushchego predpriyatiya. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2011;8:27-29.
4. Kamilov FK, Farshatova ER, Men'shikova IA, Bikmetova ER, Ganeev TI. Osteoporoz: vliyaniye khimicheskikh faktorov proizvodstvennoy sredy na metabolism kostnoy tkani. Ufa: Izdatel'stvo «Mir pechati»; 2015. 311s.
5. Chashchin VP, Askarova ZF, Larionova TK, Kudasheva AR. Elementnyy status rabotnikov gorno-obogatitel'nogo predpriyatiya. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2007;10:9-13.
6. Trofimchuk AA, Kabirov MF, Gulyaeva OA. Uroven' essentsial'nykh i toksichnykh elementov v biosredakh polosti rta u rabotnikov gorno-obogatitel'nogo kombinata, zanyatykh dobychey i pererabotkoy medno-tsinkovykh rud. Problemy stomatologii. 2018;14(2):33-36.
7. Kazimirko VK, Kovalenko VN, Mal'tsev VI. Osteoporoz: patogenez, klinika, profilaktika i lechenie. Kiev: Morion; 2006. 159s.
8. Toksikologicheskaya khimiya. Metabolizm i analiz toksikantov/ Pod red. N.I. Kaletinoy. M.: GEOTAR-Media; 2008. 1016s.
9. Farshatova ER, Men'shikova IA, Kamilov FK. Vliyaniye metallov, sodержashchikhsya v medno-tsinkovykh kolchedannykh rudakh, na metabolism kostnoy tkani. Meditsinskiy vestnik Bashkortostana. 2014;9(4):57-59.
10. Kuramshina GR, Farshatova ER, Men'shikova IA, Ivanova GV. Antioksidantnaya sistema kostnoy tkani pri deystvii elementov medno-tsinkovoy kolchedannoy rudy. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauka o Zemle. 2017;27(3):375-379.
11. Davletgareeva GR, Farshatova ER, Kamilov FK. Nefermentativnoye zveno antioksidantnoy zashchity kostnoy tkani pri intoksikatsii komponentami medno-tsinkovoy kolchedannoy rudy. Meditsinskiy vestnik Bashkortostana. 2017;12(1):51-54.

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования.

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Курамшина Гульназ Ришатовна**, аспирант, кафедра биологической химии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;  
**e-mail:** [tabletkadg@yandex.ru](mailto:tabletkadg@yandex.ru)

**Мусина Ляля Ахияровна**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел морфологии, Всероссийский центр глазной и пластической хирургии, Уфа, Россия;  
**e-mail:** [morphoplant@mail.ru](mailto:morphoplant@mail.ru)

**Фаршатова Екатерина Рафаэлевна**, профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры патологической физиологии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;  
**e-mail:** [farshatova-ekaterina@mail.ru](mailto:farshatova-ekaterina@mail.ru)

**Камилов Феликс Хусаинович**, профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры биологической химии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;  
**e-mail:** [bro-raops@yandex.ru](mailto:bro-raops@yandex.ru)

**Gul'naz R. Kuramshina**, Aspirant, Department of Biological Chemistry, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;  
**e-mail:** [tabletkadg@yandex.ru](mailto:tabletkadg@yandex.ru)

**Lyalya A. Musina**, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Department of Morphology, All-Russian Center of Eye and Plastic Surgery, Ufa, Russia;  
**e-mail:** [morphoplant@mail.ru](mailto:morphoplant@mail.ru)

**Ekaterina R. Farshatova**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Pathological Physiology, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;  
**e-mail:** [farshatova-ekaterina@mail.ru](mailto:farshatova-ekaterina@mail.ru)

**Feliks Kh. Kamilov**, Professor, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Biological Chemistry, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;  
**e-mail:** [bro-raops@yandex.ru](mailto:bro-raops@yandex.ru)