



УДК 574.24+577.121+591.111.1

ББК 28.9+28.08

Орехова Наталья Александровна

кандидат биологических наук,

научный сотрудник

Института экологии растений и животных УрО РАН

г. Екатеринбург

Orekhova Nataliya Alexandrovna

Candidate of Biology,

Researcher of Institute of Plant and Animal Ecology

Ural Division of the Russian Academy of Sciences,

Yekaterinburg

**Морфофункциональные изменения системы крови *Apodemus (S.) uralensis*
в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС)
Morphofunctional Changes of the Blood System of *Apodemus (S.) Uralensis*
Within the East-Ural Radioactive Trace (EURT)**

В радиоактивной среде обитания повышение кислород-транспортной функции крови обеспечивается за счет увеличения циклов оксигенации-деоксигенации гемоглобина при меньшей численности эритроцитов в периферической крови. «Избыточная» функциональная нагрузка на эритроцит ведет к снижению работы защитной антиоксидантной системы клетки, повышению уровня липопероксидации, изменению физико-химических свойств мембран и, как следствие, ускоренным процессам старения и сокращению продолжительности жизни в циркуляторном русле. Реализация баланса в эритроцитарной системе импактных животных (активированный эритропоэз – ускоренное старение эритроцитов) указывает на компенсаторно-восстановительную направленность реакций в условиях хронического облучения, способствующей сохранению жизнеспособности организма.

In the radioactive environment the increasing of the oxygen-transport blood function is ensured by the increasing of the cycles of oxygenation-deoxygenation of hemoglobin with fewer erythrocytes in peripheral blood. The «excess» functional load on the erythrocyte leads to the insufficiency of a protective antioxidant system of a cell, the intensification of lipid peroxidation, changes in physic-chemical properties of membranes and, consequently, to the accelerated aging and reduced life expectancy of erythrocyte in the circulatory channel. The realization of balance in the red blood system of impact animals (activated erythropoiesis – the accelerated aging of erythrocytes) indicates compensatory direction of adaptive responses and of preserving the viability of the organism under the conditions of chronic irradiation.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, популяции мелких грызунов, хронический стресс, эритроциты, плазма крови, морфофункциональные показатели

Key words: radioactive contamination, populations of small rodents, chronic stress, erythrocytes, plasma of peripheral blood, morphofunctional indicators.

В условиях глобального радиоактивного загрязнения, обусловленного испытаниями ядерного оружия, особую актуальность получили исследования эффектов малых доз облучения на организм и популяции животных и человека. Система крови, как результирующая деятельности различных органов и физиологических систем организма, поддерживающих постоянство ее морфологического и химического состава, чрезвычайно чувствительна к воздействию различных стрессоров, в том числе облучения [1–3]. При массовых контактах биоты и населения с повышенным уровнем радиоактивности в окружающей среде гематологические исследования становятся необходимым элементом радиэкологического мониторинга для получения информации о процессах адаптации-дезадаптации и оценки «здоровья среды» в целом [3–7].

Одним из подходов изучения механизмов устойчивости биоты к радиоактивному загрязнению является исследование системы красной крови, которая играет ведущую роль в поддержании кислородного обеспечения тканей, органов и организма в целом [8] и, как следствие, энергетического гомеостаза – базисного фактора устойчивой адаптации к действию любых естественных и антропогенных факторов среды обитания [9]. Цель работы: анализ морфофункциональных изменений эритроцитов и их микроокружения (плазмы крови) в организме мелких грызунов, обитающих в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа).

Методика исследования. Объект исследования – малая лесная мышь (*Apodemus (S.) uralensis*), доминирующая в фауне мелких грызунов территории ВУРСа, с долей отлова в выборках разных лет 40–60 % [10]. Импактный участок находится в головной части ВУРСа с плотностью загрязнения почвы по ^{90}Sr от 6.7 до 16.7 МБк/м², контрольный участок – в 10 км от центральной оси следа с уровнем загрязнения до 0.044 МБк/м² [11]. Исследование проведено на неполовозрелых сеголетках (57 – ВУРС, 59 – контроль) в период с 2002 по 2010 гг.

Животных забивали декапитацией, кровь собирали в пробирки, обработанные 5 %-ным раствором цитрата натрия [12]. Для выделения плазмы



и эритроцитарной массы образцы крови центрифугировали при 3000 об/мин в течение 30 мин [13]. Показатели определяли по унифицированным и стандартным методикам с использованием морфометрии, спектрометрии и фотоколориметрии [12–15]:

а) эритроциты – численность в периферической крови, индексы эритроцитов (средний объем, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, степень насыщения эритроцита гемоглобином), состояние антиоксидантной системы (активность пероксидазы, каталазы), концентрация продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – малонового диальдегида (МДА), осмотическая резистентность, уровень гликолиза (активность глюкозофосфатизомеразы);

б) плазма крови – концентрация гемоглобина, общих липидов и холестерина.

Полученные данные обработаны с использованием пакета Statistica 8.0.

Результаты и их обсуждение. Ранее установлено, что обитание малой лесной мыши на территории ВУРСа вызывает изменения в метаболическом гомеостазе (липидный, углеводный, белковый, энергетический обмен), соответствующие стресс-реализующей стратегии физиологической адаптации, которая обеспечивает поддержание повышенных уровней энергетического гомеостаза и клеточно-тканевой функциональной активности в неблагоприятных условиях среды обитания [16]. Механизмы реализации этой стратегии, зависящей от кислородного обеспечения тканей [17], следует согласовывать, прежде всего, с состоянием системы красной крови.

Численность эритроцитов в периферической крови лесных мышей из зоны ВУРСа снижено в среднем до 88 % от показателей контроля (табл.), при этом объем клеток (mcV) увеличен непропорционально более значительно (до 170 %) по сравнению с увеличением (до 103 %) концентрации в них гемоглобина (mcH). Следовательно, у импактных животных проявляется тенденция к эритропении с эритроцитами, превосходящими по своему объему нормальные красные кровяные клетки и имеющие относительно меньшую, чем в норме, степень насыщения гемоглобином (mcHc).

Морфофункциональные характеристики системы крови лесных мышей в зоне ВУРСа и на контрольной территории

Показатели, ед. измерения	Участок отлова	Среднее значение	Медиана	Квартили	<i>p</i>
<i>Эритроциты:</i>					
Численность, $\times 10^9$ /л	Контроль	9,4	9,2	8,2–10,7	0,002
	ВУРС	8,3	8,4	7,4–9,2	
mcH, 10^{-12} г/эритроцит	Контроль	15,2	15,1	14,4–16,1	0,066
	ВУРС	15,7	15,5	14,5–16,7	
mcV, $\mu\text{м}^3$	Контроль	41,1	42,0	37,6–44,1	$>10^{-6}$
	ВУРС	69,8	56,3	44,9–83,8	
mcHc, %	Контроль	37,8	37,0	33,0–41,0	$>10^{-5}$
	ВУРС	28,9	29,2	20,9–33,7	
Активность пероксидазы, 10^{-11} Кат/эритроцит	Контроль	41,5	40,4	31,2–51,3	$>10^{-4}$
	ВУРС	30,5	31,2	21,4–39,8	
Активность каталазы, 10^{-13} Кат/эритроцит	Контроль	89,4	80,8	53,0–123,6	0,047
	ВУРС	72,1	64,5	33,6–109,9	
Активность глюкозофосфатизомеразы 10^{-12} Кат/эритроцит	Контроль	74,4	73,1	48,5–98,9	$>10^{-5}$
	ВУРС	118,7	111,5	71,0–151,4	
Концентрация МДА, 10^{-20} моль/эритроцит	Контроль	8,2	7,1	4,9–10,3	$>10^{-5}$
	ВУРС	14,5	12,9	9,6–20,0	
<i>Плазма крови:</i>					
Концентрация общих липидов, г/л	Контроль	3,4	3,4	2,6–4,1	$>10^{-4}$
	ВУРС	4,8	4,2	3,2–5,7	
Концентрация холестерина, 10^{-3} моль/л	Контроль	2,3	2,1	1,8–2,8	$>10^{-5}$
	ВУРС	3,2	3,1	2,1–4,1	
Концентрация гемоглобина, г/л	Контроль	1,0	1,0	0,8–1,2	$>10^{-3}$
	ВУРС	1,7	1,8	0,8–1,9	

К числу факторов, влияющих на увеличение объема эритроцитов, следует отнести реализацию в условиях ВУРСа жиромобилизующего эффекта – одного из проявлений хронического стресса, выражающегося в «избыточном», относительно контроля, поступлении общих липидов, в том числе холестерина, в циркуляторное русло (табл). Липиды, способные к адсорбции на поверхности эритроцита, могут обуславливать увеличение площади наружной мембраны и, как следствие, размеров клетки [18]. При явных признаках липидемии (общие липиды >8 г/л; холестерин >5 ммоль/л), отмеченной у 12 % особей, в периферической крови были представлены эритроциты с объемом, превышающим $100 \mu\text{м}^3$.



Судя по активности глюкозофосфатизомеразы в эритроците (табл), уровень гликолитических процессов, определяющих в этом типе клеток общую продукцию АТФ [19], выше, чем в контроле, тогда как активность антиоксидантных ферментов (пероксидаза и каталаза), ответственных за поддержание структурной целостности мембраны и молекул гемоглобина [20,21], более низкая. Это может свидетельствовать о перераспределении энергетического бюджета эритроцита в пользу поддержания его основной функции (циклов оксигенации-деоксигенации гемоглобина), что ведет к минимизации пула АТФ для эффективной работы защитной системы клетки [19]. При недостаточности форменных элементов красной крови «гиперфункциональное» состояние эритроцита в неблагоприятных условиях ВУРСа является необходимым звеном для повышения кислород-транспортной функции крови, как следствие, степени оксигенации тканей и интенсивности в них окислительных, энергообразующих процессов [16].

Гистограмма распределения эритроцитов по величине осмотической резистентности показывает, что в периферической крови импактных животных популяцию эритроцитов составляют клетки, полный гемолиз которых наступает при более высоких концентрациях солевого раствора ($p=0,013$; рис). Это свидетельствует о преимущественной циркуляции в кровотоке более зрелых и старых форм клеток [20]. Повышение чувствительности эритроцитарных мембран к действию гемолитических факторов обусловлено ростом продукции ПОЛ (МДА) в клетках (см. табл). Считается, что накопление МДА и его взаимодействие с белковыми структурами липопротеидного комплекса вызывает уменьшение доли липидов, находящихся в жидкой фазе и, как следствие, увеличение регидности эритроцитарных мембран [22], что определяет, в целом, понижение уровня «критического объема» клетки в гипотоническом растворе.

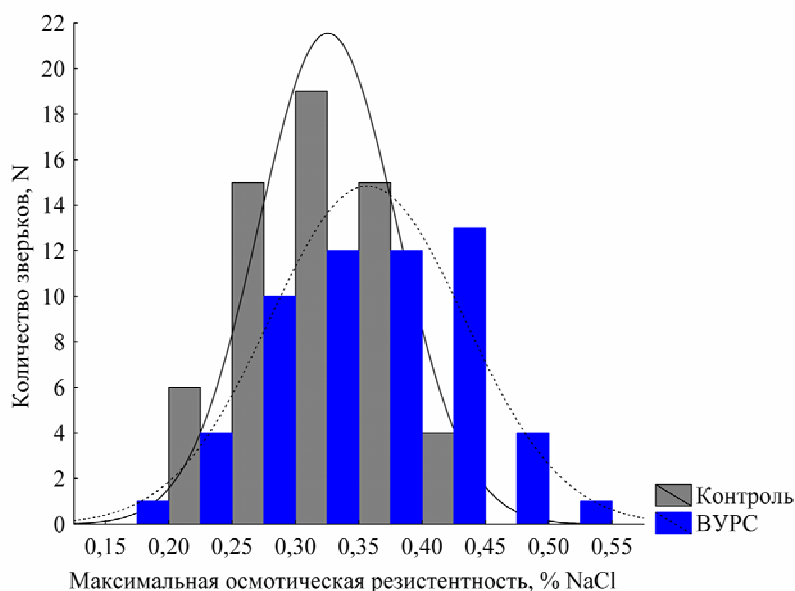


Рис. Гистограмма распределения эритроцитов по величине осмотической резистентности в выборках животных контрольной и радиационно-загрязненной (ВУРС) территорий

Рост продукции ПОЛ в эритроцитах животных ВУРСа следует рассматривать как суммирующий эффект антиоксидантной недостаточности и повышения числа циклов оксигенации гемоглобина, снижающих барьер для активации свободно-радикальных перекисных процессов. Полиненасыщенные жирные кислоты мембранных липидов находятся при этом в окружении более высоких концентраций кислорода, а гемовое железо выступает в роли активного прооксиданта [22].

В целом, «гиперфункциональное» состояние эритроцита детерминирует недостаток энергообеспечения защитной системы клетки, необходимой для поддержания структурной целостности мембраны и молекул гемоглобина, интенсификацию ПОЛ, снижение осмотической резистентности, что наряду с тенденцией к эритропении и повышением содержания в плазме крови гемоглобина как показателя внутрисосудистого гемолиза (см. табл), свидетельствует о процессах ускоренного старения эритроцитов и более выраженной их деструкции в циркуляторном русле.

Старение быстро обновляемых элементов, к числу которых относятся эритроциты, является для организма в целом чисто функциональным процессом, как правило, не лимитирующим продолжительность его жизни,



ввиду регуляции клеточного состава в эритроцитарной системе за счет деятельности органов кроветворения [23]. Как показали исследования [5,6], лесные мыши из зоны ВУРСа поддерживают более активное состояние кроветворения, что выражается в более высокой, чем в контроле, численности эритроидных элементов в костном мозге и их митотической активности. Можно полагать, что активизированный эритропоэз является средством для поддержания баланса в эритроцитарной системе вследствие ускоренного старения клеток, что способствует сохранению жизнеспособности организма в неблагоприятных условиях.

С учетом тесных множественных взаимодействий регуляторных систем организма наблюдаемые морфофункциональные сдвиги в эритроцитах не следует, однако, понимать исключительно только как следствие реализации неспецифических реакций на хроническое облучение. Возможно, что структурные изменения клеток могут быть вызваны нарушением эффективности гемопоэза, а более выраженное их «старение» с сокращенными сроками жизни в циркуляторном русле обусловлено изначальной дефектностью предшественников [2,4,24,25]. Первопричина, лежащая в основе морфофункциональных изменений клеток красной крови, будет разрешена только при одновременном анализе в облученном организме эффективности работы гемопоэтических систем и неспецифических механизмов регуляции метаболического гомеостаза.

Библиографический список

1. Горизонтов, Н.Д., Белоусова, О.И., Федотова, М.И. Стресс и система крови [Текст] / Н.Д. Горизонтов с соавт. – М.: Медицина, 1983. – 239 с.
2. Жербин, Е.А. Чухловин, А.Б. Радиационная гематология [Текст] / Е.А. Жербин, А.Б. Чухловин. – М.: Медицина, 1989. – 176 с.
3. Комар, В.Е. Современное состояние проблемы биологической индикации лучевых поражений [Текст] / В.Е. Комар // Радиобиология. – 1992. – Т.32. – № 1. – С. 84-97.
4. Материй, Л.Д., Ермакова, О.В., Таскаев, А.И. Морфофункциональная оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиоэкологических исследованиях (на примере полевки-экономки) [Текст] / Л.Д. Материй с соавт., – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2003. – 164 с.
5. Пашнина, И.А. Анализ иммунологических и гематологических особенностей грызунов, обитающих в радиоактивной среде [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16: защищена 21.02.03 / Пашнина Ирина Александровна. – Екатеринбург, 2003. – 17 с.
6. Тарахтий, Э.А., Кардонина, Т.Л. Количественно-морфологические исследования системы крови лесной мыши и красной полевки, обитающих на территории ВУРСа [Текст] / Э.А. Тарахтий, Т.Л. Кардонина // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т. 35. – № 4. – С. 550-559.

7. Захаров, В.М., Чубинишвили, А.Т., Дмитриев, С.Г. Здоровье среды: практика оценки [Текст] / В.М. Захаров с соавт. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 320 с.
8. Клиорин, А.И., Тиунов, Л.А. Функциональная неравнозначность эритроцитов [Текст] / А.И. Клиорин, Л.А. Тиунов – Л.: Наука, 1974. – 148 с.
9. Большаков, В.Н., Ковальчук, Л.А., Ястребов, А.П. Энергетический обмен у полевок и его изменения в экстремальных условиях [Текст] / В.Н. Большаков с соавт. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. – 104 с.
10. Григоркина, Е.Б., Оленев, Г.В., Модоров, М.В., Тарасов, О.В. Мелкие млекопитающие в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа: 50 лет спустя [Текст] / Е.Б. Григоркина с соавт. // Вопросы радиационной безопасности. – 2007. – спец. вып. – С. 68-78.
11. Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты [Текст] / В.Н. Позолотина с соавт. – Екатеринбург: Голицынский, 2008. – 204 с.
12. Биохимические методы исследования в клинике [Текст] / под ред. акад. А.А. Покровского. – М.: Медицина, 1969. – 652 с.
13. Лабораторные методы исследования в клинике [Текст] / под ред. В.В. Миньшикова. – М.: Медицина, 1987. – 364 с.
14. Современные методы в биохимии [Текст] / под ред. В.Н. Ореховича –М: Медицина, 1977. – 391 с.
15. Иогансен, М.Г., Звягина, Ф.Э. Безбензидиновый метод определения степени гемолиза [Текст] / М.Г. Иогансен, Ф.Э. Звягина // Лабораторное дело. – 1986. – № 7. – С. 488-491.
16. Орехова Н.А. Анализ метаболического гомеостаза грызунов разной экологической специализации, обитающих в радиоактивной среде [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16: защищена 16.03.10 / Орехова Наталья Александровна. – Екатеринбург, 2010. – 20 с.
17. Кулинский, В.И., Ольховский, И.А. Две адаптационные стратегии в неблагоприятных условиях – резистентная и толерантная: роль гормонов и рецепторов [Текст] / В.И. Кулинский, И.А. Ольховский // Успехи современной биологии. – 1992. – Т. 112. – № 5/6. – С. 697-714.
18. Адо, А.Д., Ишимова, Л.М. Патологическая физиология [Текст] / А.Д. Адо, Л.М. Ишимова. – М.: Медицина, 1973. – 534 с.
19. Бохински, Р. Современные воззрения в биохимии [Текст]: пер. с англ. / Р. Бохински. – М: Мир, 1987. – 529 с.
20. Войтенко, В.П., Полюхов, А.М. Системные механизмы развития и старения [Текст] / В.П. Войтенко, А.М. Полюхов. – Л: Наука, 1986. – С. 41-47.
21. Крайнев, С.И. О формах каталазы в эритроцитах человека [Текст] / С.И. Крайнев // Биохимия. – 1970. – Т.35. – №4. – С. 662-669.
22. Поливода, Б.И., Конев, В.В., Попов, Г.А. Биофизические аспекты радиационного поражения бомембран [Текст] / Б.И. Поливода с соавт. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 150 с.
23. Мосягина, Е.Н., Владимирская, Е.Б., Торубарова, Н.А. Кинетика форменных элементов крови [Текст] / Е.Н. Мосягина с соавт. – М.: Медицина, 1976. – 270 с.
24. Муксинова, К.Н., Мушкачева, Г.С. Клеточные и молекулярные основы перестройки кроветворения при длительном радиационном воздействии [Текст] / К.Н. Муксинова, Г.С. Мушкачева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 158 с.
25. Шибкова, Д.З., Андреева, О.Г., Шведов, В.Л., Аклеев, А.В. Оценка закономерностей гомеостаза системы гемопоза при хронической радиационном воздействии [Текст] / Д.З. Шибкова с соавт., // Проблемы радиозологии и пограничных



дисциплин: сб. ст. / под общ. ред. А.В. Трапезникова, С.М. Вовка. Заречный, 2000. – С.234-277.

Bibliography

1. Ado, A.D., Ishimova, L.M. Pathological Physiology / A.D. Ado, L.M. Ishimova. – М.: Meditsina, 1973. – 534 p.
2. Biochemical Studies in the Clinic [Text] / Ed. by A.A. Pokrovsky. – М.: Meditsina, 1969. – 652 p.
3. Bokhinsky, R. Modern Views in Biochemistry / R. Bokhinsky. – М.: Mir, 1987. – 529 p.
4. Bolshakov, V.N., Kovalchuk, L.A., Yastrebov, A.P. The Energy Exchange in Voles and its Changes in Extreme Conditions / V.N. Bolshakov, et al. – Sverdlovsk: UNC USSR, 1984. – 104 p.
5. Gorizontov, N.D., Belousova, O.I., Fedotova M.I. Stress and Blood System / N.D. Gorizontov, et al. – М.: Meditsina, 1983. – 239 p.
6. Grigorkina, E.B, Olenev, G.V., Modorov, M.V, Tarasov, O.V. Small Mammals Within the Eastern Ural Radioactive Trace: After 50 Years / E.B. Grigorkina, et al. // Problems of Radiation Safety. – 2007. – Special Iss. – P. 68-78.
7. Iogannsen, M.G, Zvyagina, F.E. Benzidine-Free Quantitation of Hemolysis / M.G. Iogannsen, F.E. Zvyagin // Laboratory Business. – 1986. – № 7. – P. 488-491.
8. Klorin, A.I, Tiunov, L.A Functional Nonequivalence of Erythrocytes / A.I. Klorin, L.A. Tiunov – L.: Nauka, 1974. – 148 p.
9. Komar, V.E. The Radiological Principles of Indication of Radiation Injury / V.E. Komar // Radiobiology. – 1992. – V.32. – № 1. – P. 84-97.
10. Krainov, S.I. On the Forms of Catalase in Human Erythrocytes / S.I. Krainev // Biochemistry. – 1970. – V.35. – № 4. – P. 662-669.
11. Kulinsky, V.I, Olkhovsky, I.A. Two Adaptive Strategies in Adverse Conditions – Resistant and Tolerant: the Role of Hormones and Receptors / V. I. Kulinsky, I.A. Olkhovsky // Successes of Modern Biology. – 1992. – V. 112. – № 5-6. – P. 697-714.
12. Laboratory Methods in the Clinic [Text] / Ed. by V.V. Menshikov. – М.: Meditsina, 1987. – 364 p.
13. Materiy, L.D., Ermakova, O.V., Taskaev, A.I. Morphofunctional Organism State Evaluation of Small Mammals in Radioecological Studies (By the Example of *Microtus Oeconomus*) / L.D. Materiy. et al. – Syktyvkar: UD RAS. 2003. – 164 p.
14. Modern Methods in Biochemistry [Text] / Ed. by V.N. Orekhovich – М.: Meditsina, 1977. – 391 p.
15. Mosyagina, E.N., Vladimir, E.B., Torubarova, N.A. Kinetics of Blood Cells / E.N. Mosyagina, et al. – М.: Meditsina, 1976. – 270 p.
16. Muksinova, K.N., Mushkacheva, G.S. Cellular and Molecular Basis of Hematopoiesis in Long-Term Restructuring of Radiation Exposure / K.N. Muksinova, G.S. Mushkacheva. – М.: Energoatomizdat, 1990. – 158 p.
17. Orekhova, N.A. Analysis of the Metabolic Homeostasis of Rodents with Different Ecological Specialization, Living in a Radioactive Environment: Synopsis of Dis. ... Candidate of Biol.: 03.00.16: Discussed 16.03.10 / Orekhova Nataliya Alexandrovna. – Ekaterinburg, 2010. – 20 p.
18. Pashnina, I.A. Analysis of the Immunologic and Hematologic Features of Rodents Living in a Radioactive Environment: Synopsis of Dis. ... Candidate of Biol.: 03.00.16: Discussed 21.02.03 / Pashnina Irin. Alexandrovna. – Yekaterinburg, 2003. – 17 p.
19. Polivoda, B.I, Konev, V.V. Popov, G.A. Biophysical Aspects of Radiation Damage Biomembran / B.I. Polivoda, et al., – М.: Energoatomizdat, 1990. – 150 p.
20. Pozolotina, V.N., Molchanova, I.V, Karavaeva, E.N, Mikhailovskaya, L.N, Antonova, E.V. Current State of Terrestrial Ecosystems in the Eastern Ural Radioactive Trace: Contamination Levels and Biological Effects / V.N. Pozolotina, et al. – Ekaterinburg: Goshchitskii, 2008. – 204 p.

21. Shibkova, D.Z., Andreeva, O.G., Shvedov, V.L., Akleev, A.V. Assessment of Patterns of Hematopoietic Homeostasis in Chronic Radiation Exposure / D.Z. Shibkova, et al. // Problems of Radioecology and Boundary Disciplines / Ed. by A.V. Trapeznikov, S.M. Vovka. –M.: Zarechny, 2000. – P.234-277.
22. Tarakhtiy, E.A., Kardonina, T.L. Quantitative Morphological Study of the Blood System of *Apodemus Uralensis* and *Myodes Rutilus*, Living on the Territory of EURT / E.A. Tarakhtiy, T.L. Kardonina // Radiobiology. Radioecology. – 1995. – V.35. – №.4 – P.550-559.
23. Voitenko, V.P., Polyukhov, A.M. System Development and Aging Mechanisms / V.P. Voitenko, A.M. Polyukhov. – L.: Nauka, 1986. – P. 41-47.
24. Zakharov, V.M., Chubinishvili, A.T., Dmitriev, S.G. Environmental Health: Practice of Assessment / V.M. Zakharov, et al. – M.: Centre of the Russian Environmental Policy, 2000. – 320 p.
25. Zherbin, E.A., Chukhlovin, A.B. Radiation Hematology / E.A. Zherbin, A.B. Chukhlovin. – M.: Meditsina, 1989. – 176 p.