

## Особенности морфологии эритроцитов и лейкоцитарной формулы периферической крови рыб в водоемах Чернобыльской зоны отчуждения

Н.А. Поморцева<sup>1</sup>, Д.И. Гудков<sup>1</sup>, Н.К. Родионова<sup>2</sup>, А.Е. Каглян<sup>1</sup>, А.Б. Назаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

<sup>2</sup>Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р.Е. Кавецкого НАН Украины, Киев

<sup>3</sup>ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» МЧС Украины, Чернобыль

Анализ гематологических показателей рыб является одним из важнейших аспектов оценки иммунно-физиологического состояния организма. Кроветворная система является наиболее чувствительной к действию ионизирующего излучения, а структурно-функциональные изменения форменных элементов крови при хроническом радиационном воздействии могут быть причиной нарушения кроветворения на различных этапах онтогенеза рыб, однако исследования в этой области крайне немногочисленны. Изучение морфологических нарушений элементов крови, а также оценка их цитофизиологических изменений является необходимым элементом мониторинга состояния популяций рыб, как в рыбоводной практике, так и при прогнозировании последствий антропогенного воздействия на аборигенную ихтиофауну природных водоемов. Таким образом, всесторонние исследования в данной области позволят выявить ряд интегральных показателей для оценки физиологического состояния организма при диагностике и прогнозировании развития патологии у рыб в условиях хронического воздействия малых доз ионизирующего излучения.

Целью настоящей работы была оценка количественных и качественных показателей периферической некоторых аборигенных видов рыб, обитающих в наиболее загрязненных радионуклидами водоемах Чернобыльской зоны отчуждения

*Материал и методика.* Объектом исследований были карась обыкновенный *Carassius carassius* L. и окунь обыкновенный *Perca fluviatilis* L. Сбор материала проводили в августе 2010 г. в оз. Глубокое, оз. Азбучин и Яновском затоне, расположенных в ближней (10-километровой) Чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО). Контролем служили рыбы тех же видов, отобранные в этот же период в Каневском водохранилище (р. Днепр), затоне «Щепочка» (р. Припять), а также в озерах Таращанского района Киевской области с фоновыми уровнями радионуклидного загрязнения. В рыбе измеряли удельную активность основных дозообразующих радионуклидов, в мазках крови определяли лейкоцитарную формулу, состояние эритроцитарного звена, а также цитогенетические и морфологические нарушения клеток.

Измерение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробах проводили при помощи  $\gamma$ -спектрометрического комплекса в составе детектора PGT IGC-25 (Франция), анализатора «Nokia LP 4900 B» («Nokia», Финляндия), источника низковольтного питания – крейт NIM BIN, усилителя NU 8210 («Elektronikus Merokeszulekek Gyara», Венгрия) и свинцовой защиты толщиной 100 мм. Для определения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  использовали низкофоновый  $\beta$ -радиометр NRR-610 («Tesla» Чехия). Минимальная детектируемая прибором активность составляет 0,04 Бк при экспозиции препарата 1000 сек. Определение удельной активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в электролитически приготовленных препаратах осуществляли с использованием  $\alpha$ -спектрометрического тракта, в составе камеры с детектором, системы электропитания, вакуумной системы и анализатора импульсов NUC-8192 («Elektronikus Merokeszulekek Gyara», Венгрия), собранного из электронных блоков в составе «NIM». Для измерения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  использовали рентгено-спектрометрический тракт в составе рентгеновского детектора EG&G Ortec LOAX-51370/20 CFG-SU-GMX («EG&G Ortec», США) и анализатора «Nokia LP 4900 B». Основные измерения удельной активности радионуклидов проведены в отделе лабораторных исследований Государственного специализированного научно-производственного предприятия «Чернобыльский

радиоэкологический центр» МЧС Украины. Серию параллельных измерений удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в тканях и органах рыб выполняли в отделе пресноводной радиоэкологии Института гидробиологии НАН Украины при помощи радиохимических методов выделения радионуклидов с последующим измерением на установке УМФ-2000 («Доза», Россия). Результаты измерений удельной активности радионуклидов приведены в беккерелях на килограмм (Бк/кг) массы при естественной влажности.

Оценку мощности поглощенной дозы от инкорпорированных  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238, 239, 240}\text{Pu}$ , и  $^{241}\text{Am}$  проводили по методике [9] с использованием дозовых пересчетных коэффициентов (dose conversion coefficients). Расчет дозы внутреннего облучения выполняли для двух основных групп – бентосных и пелагических видов рыб. Погрешность оценки дозовых нагрузок не превышала 20–25%.

Исследования гематологических показателей проводили на живых, внешне здоровых неповрежденных особях. Кровь отбирали из гемального канала хвостового стебля. Препараты периферической крови изготавливали на месте вылова рыб, высушивали на воздухе и фиксировали в 99,8% метаноле. Мазки окрашивали азур-эозином по Паппенгейму. Дальнейший анализ заключался в определении морфологического состава крови методами световой иммерсионной микроскопии (увеличение  $90\times 10$ ). В мазке проводили подсчет лейкоцитов (молодых форм гранулоцитарного ряда – миелобластов, промиелоцитов, метамиелоцитов, миелоцитов; нейтрофилов палочко- и сегментоядерных; псевдоэозинофилов, псевдобазофилов, а также агранулоцитов – моноцитов, лимфоцитов, пенистых клеток), эритроцитов различной степени зрелости, а также различных форм тромбоцитов. Клетки крови и их патологические изменения идентифицировали по [2, 4]. Лейкоцитарную формулу определяли при подсчете 200 клеток белой крови. Количество лейкоцитов и тромбоцитов рассчитывали на 1000 эритроцитов в мазке крови. Тромбоциты разделяли на круглые и овальные. Также оценивали частоту встречаемости микроядер в эритроцитах и число эритроцитов с деформированными ядрами.

*Результаты исследований и их обсуждение.* У рыб, обитающих в озерах Глубокое и Азбучин, выявлена высокая удельная активность основных дозообразующих радионуклидов –  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . В оз. Глубокое удельную активность  $^{90}\text{Sr}$  у карася регистрировали в диапазоне 4200–31000 (18300), а  $^{137}\text{Cs}$  – 2600–5700 (3900) Бк/кг. У окуня в оз. Глубокое удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  отмечена в диапазоне 1500–16000 (9400), а  $^{137}\text{Cs}$  – 5000–19000 (10600) Бк/кг. Содержание радионуклидов в карасе оз. Азбучин в период исследований отмечали в пределах 2300–46000 (20400) для  $^{90}\text{Sr}$  и 1900–11000 (4100) Бк/кг для  $^{137}\text{Cs}$ . Удельная активность трансураниевых элементов в тканях рыб была на уровне 3–9 (7) Бк/кг. Окунь Яновского затона характеризовался существенно меньшими показателями удельной активности радионуклидов. Так содержание  $^{90}\text{Sr}$  у рыб этого водоема составило 1300–2500 (1900), а  $^{137}\text{Cs}$  – 2200–3400 (2700) Бк/кг. У исследуемых видов рыб из водоемов, которые были использованы нами в качестве контрольных, удельная активность радионуклидов была на уровне 2–6 (3) Бк/кг для  $^{90}\text{Sr}$  и 5–25 (10) Бк/кг для  $^{137}\text{Cs}$ .

Анализ усредненных показателей мощности поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов свидетельствует, что в настоящее время в замкнутых водоемах ЧЗО около 80–90% дозы внутреннего облучения рыб приходится на долю  $^{90}\text{Sr}$ . Максимальными значениями этого показателя характеризуются рыбы оз. Азбучин, для которых доза облучения от внутренних источников составляет в среднем 17 мкГр/ч, а вклад  $^{90}\text{Sr}$  в мощность поглощенной дозы, благодаря высокой удельной активности радионуклида в воде и особенностям гидрохимического режима, превышает 90%. В оз. Глубокое  $^{90}\text{Sr}$  формирует до 80% дозовой нагрузки от инкорпорированных радионуклидов, при общей дозе внутреннего облучения рыб около 15 мкГр/ч. В контрольных водоемах вклад  $^{90}\text{Sr}$  в дозу внутреннего облучения рыб составлял около 40%, а средняя мощность поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов не

превышала 0,01 мкГр/ч. Однако в данном случае речь идет о дозе, которую рыбы получают только от инкорпорированных радионуклидов. Известно, что карась является бентофагом, значительную часть времени в период нагула и зимовки, проводящий вблизи донных отложений. Таким образом, рассчитанная мощность поглощенной дозы от инкорпорированных радионуклидов для рыб озер Азбучин и Глубокое, согласно [8, 10], обуславливает дозовые нагрузки, при которых у рыб наблюдаются изменения кроветворной и иммунной систем, а учитывая высокие уровни загрязнения донных отложений исследованных озер, можно предположить, что внешняя доза облучения придонных видов рыб может существенно превышает дозу от инкорпорированных радионуклидов. Соответственно, общая мощность поглощенной дозы для рыб будет в несколько раз выше, и приблизится к дозовым нагрузкам, при которых проявляются негативные эффекты для репродуктивной системы рыб.

При проведении гематологических исследований установлено, что у рыб, обитающих в исследованных озерах ЧЗО, отмечаются значительные количественные и качественные изменения во всех ростках кроветворения. Результаты анализа содержания тромбоцитов и лейкоцитов приведены в табл. 1 и 2. Отмечено, что у рыб из водоемов с высоким уровнем радионуклидного загрязнения содержание лейкоцитов существенно ниже их уровня, по сравнению с рыбами контрольных водоемов. При этом общее количество тромбоцитов у рыб из загрязненных водоемов, выше контрольных данных. Следует также отметить, что у окуня из оз. Глубокое отмечается увеличенное содержание овальных форм тромбоцитов. Известно, что при развитии заболеваний у рыб, вызванных интоксикацией и сопровождающихся гемолизом эритроцитов, количество овальных преобладает над круглыми тромбоцитами [3]. Возможно, что в наших исследованиях, регистрируемые эффекты обусловлены в определенной мере эндогенной интоксикацией, развивающейся при действии ионизирующего излучения, особенно с учетом высоких уровней содержания радионуклидов в органах и тканях рыб.

Таблица 1. Количество лейкоцитов и тромбоцитов (на 1000 эритроцитов) в периферической крови окуня обыкновенного, ‰ (M±m)

Водоем	Тромбоциты		Лейкоциты
	круглые	овальные	
Озеро Глубокое	3,7±0,13	14,3±3,60	44,5±0,56
Яновский затон	7,4±1,86	2,6±0,61	42,2±9,30
Затон «Щепочка» (контроль)	8,2±1,04	1,0±0,03	67,6±8,25
Каневское водохранилище (контроль)	3,9±0,04	0,4±0,01	68,9±8,43

Таблица 2. Количество лейкоцитов и тромбоцитов (на 1000 эритроцитов) в периферической крови карася обыкновенного, ‰ (M±m)

Водоем	Тромбоциты		Лейкоциты
	круглые	овальные	
Озеро Глубокое	8,0±2,16	4,0±0,22	34,8±8,48
Озеро Азбучин	3,2±1,44	0,1±0,02	33,8±4,41
Таращанские озера (контроль)	7,5±3,20	0,6±0,10	52,6±7,40

У исследуемых видов рыб были распространены следующие патологические изменения в морфологии клеток крови согласно [2] (табл. 3 и 4):

1. Деформация ядра. Ядро имеет неправильную форму при сохранении нормальных размеров. Структура хроматина ядра и размеры самой клетки также соответствует норме.

2. Пристеночное ядро. Ядро располагается не в центре, как в нормальной клетке, а смещено к краю цитоплазмы, иногда соприкасается с оболочкой.

3. Микроцит. Клетка эритроцита с уменьшенным диаметром, ядро окружено узким слоем цитоплазмы. Такой микроцит обречен на быструю гибель. Образование микроцитов возможно при наличии различных загрязнителей в среде.

4. Шистоцит. Безъядерный эритроцит. Образование шистоцитов – результат цитокенеза, когда ядро перемещается к одному из полюсов клетки, от которой отпочковывается микроцит, оставляя большую часть цитоплазмы как безъядерную клетку.

5. Ядро вакуолизированное. Наличие вакуоли в ядре. Обнаружены нами в единичных случаях.

6. Цитоплазма вакуолизированная. Во время наших исследований обнаружена сильная вакуолизация цитоплазмы как в лейкоцитах так и в эритроидных клетках.

7. Лизис. Процесс, заключающийся в распаде клетки. Ядро теряет свою структуру, цитоплазма часто отсутствует.

8. Пикноз. Уплотнение базихроматина ядра, которое при этом становится темным и бесструктурным. Размер клетки уменьшается.

9. Кариолиз. Растворяется часть ядра с сохранением его нормальной структуры.

10. Двухъядерный эритроцит. Внутри нормальной по размеру клетки находятся 2 ядра. Размеры и форма ядер не соответствуют норме, тогда как структура хроматина визуально обнаруживаемых отклонений не имеет. Также в мазках крови окуня нами были обнаружены такие нарушения ядра как протуберанцы – выросты в виде хроматиновых нитей.

Таблица 3. Нарушения морфологии эритроцитов окуня обыкновенного, ‰ (M±m)

Вид нарушений	Озеро Глубокое	Яновский затон	Затон «Щепочка» (контроль)	Каневское в-ще (контроль)
Деформация ядра	11,20±3,69	3,00±1,42	1,20±0,06	3,30±0,2
Пристеночное ядро	5,80 ±0,14	5,26±1,57	0,23±0,01	2,70±0,08
Микроцит	0,05±0,001	0,73±0,04	0,13±0,01	0,18±0,06
Шистоцит	0,22±0,01	0,20±0,05	–	0,08±0,001
Вакуолизированное ядро	–	0,06±0,05	–	–
Вакуолизированная цитоплазма	1,21±0,11	0,13±0,04	–	0,02±0,001
Лизис	1,44±0,01	4,09±0,61	0,27±0,02	2,39±0,02
Пикноз	2,22±0,01	0,36±0,08	0,12±0,01	0,39±0,001
Протуберанцы	0,27±0,08	–	–	0,02±0,001
Двухъядерный	0,11±0,04	–	–	–
Общее количество нарушений	22,55±4,09	13,83±3,86	1,95±0,11	9,08±0,36

Таблица 4. Нарушения морфологии эритроцитов карася обыкновенного, ‰ (M±m)

Вид нарушений	Озеро Глубокое	Озеро Азбучин	Тарашанские озера (контроль)
Деформация ядра	21,99±7,59	7,86±1,86	1,41±0,10
Пристеночное ядро	20,86±10,2	3,46±0,87	2,20±1,70
Микроцит	0,66±0,2	0,53±0,02	–
Шистоцит	2,73±0,41	0,33±0,001	–
Вакуолизированная цитоплазма	0,66±0,11	0,73±0,001	–
Амитоз	3,79±0,25	1,79±0,04	0,20±0,01
Лизис	1,13±0,01	0,20±0,001	0,25±0,01
Пикноз	0,86±0,01	–	–
Кариолиз	1,53±0,08	–	–
Двухъядерный	5,26±0,36	1,59±0,03	–
Общее количество нарушений	59,47±19,2	16,49±2,82	4,06±1,82

В приведенных таблицах видно, что эритроциты карася и окуня из оз. Глубокого наиболее подвержены патологическим изменениям как ядра, так и самой клетки. Общее количество нарушений клеток в этом водоеме регистрировали на следующем уровне: для карася обыкновенного 59,5 %, а для окуня 22,6 %, что значительно превышает показатели нарушений для рыб из контрольных водоемов. Среди исследованных рыб, особи без клеточных патологий нами не обнаружены. По литературным данным, увеличение частоты нарушений морфологии клетки оценивается как дегенеративные изменения, возникающие в результате негативного воздействия факторов внешней среды на организм рыб [6], а дегенеративные формы ядра эритроцитов у здоровых рыб встречается с частотой не более 0,4 % [5]. Исследования, выполненные на водоемах-хранилищах жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» (Российская Федерация), которые характеризуются значительно более высокими уровнями радионуклидного загрязнения биотических и абиотических компонентов по сравнению с озерами ЧЗО, показали, что уровень патологических изменений ядер эритроцитов в периферической крови плотвы достигал величины 180 % [7].

Известно, что в периферической крови рыб присутствуют клетки всех генераций по уровню дифференцировки и стадии созревания [4]. И в наших исследованиях мы наблюдали аналогичную картину (табл. 5 и 6).

Таблица 5. Показатели лейкограмм периферической крови окуня, % (M±m).

Форменные элементы крови	Озеро Глубокое	Яновский затон	Затон «Щепочка» (контроль)	Каневское водохранилище (контроль)
Бластные клетки	3,0±0,1	0,2±0,1	1,3±0,01	1,2±0,02
Лимфоциты	71,0±6,6	70,3±12,7	89,9±6,8	93,4±1,07
Моноциты	1,7±0,01	0,3±0,01	0,7±0,02	0,8±0,02
Эозинофилы	0,2±0,01	0,6±0,09	0,3±0,01	0,1±0,01
Базофилы	–	–	–	–
Нейтрофилы	24,1±9,4	28,6±6,3	7,9±1,8	4,5±1,8
Пенистые клетки	–	–	–	–

Таблица 6. Показатели лейкограмм периферической крови карася, % (M±m).

Форменные элементы крови	Озеро Глубокое	Озеро Азбучин	Таращанские озера (контроль)
Бластные клетки	0,2±0,1	1,4±0,1	0,6±0,1
Лимфоциты	49,8±12,5	45,8±9,5	79,6±7,8
Моноциты	1,4±0,2	3,0±0,6	4,8±2,5
Эозинофилы	26,4±5,9	14,2±2,7	9,0±4,8
Базофилы	3,0±0,5	1,8±0,2	0,5±0,1
Нейтрофилы	18,8±0,5	33,4±1,7	5,5±2,9
Пенистые клетки	0,4±0,02	0,4±0,02	–

Обращает на себя внимание снижение процентного содержания лимфоцитов (функция которых заключается в реализации иммунологических реакций) в периферической крови карася и окуня, обитающих в озерах ЧЗО, по сравнению с контрольными водоемами. В случае развития лимфопении (при тяжелых вариантах токсикозов) у рыб параллельно развивается тромбоцитопения, главным образом за счет круглых тромбоцитов [2]. При этом увеличивается количество гранулоцитов. Так, в гемограмме окуня, наиболее высокое относительное содержание гранулоцитарных элементов – нейтрофилов и псевдоэозинофилов (выполняющих фагоцитарную функцию и участвующих в аллергических и аутоаллергических реакциях) отмечали в крови рыб из оз. Глубокого и Яновского затона по сравнению с контрольными водоемами. В тоже время,

наблюдали отсутствие псевдобазофилов в крови окуня из всех исследуемых водоемов. Относительно высокий процент моноцитов (фагоцитирующих клеток, поглощающих бактерий, а также продукты распада клеток и тканей) у окуня из оз. Глубокое, свидетельствует об увеличении количества поврежденных клеточных элементов. Обычно нарастание моноцитов в крови совпадает с усилением распада не только клеток красной крови, но и с гибелью самих лейкоцитов.

Анализ гемограммы карася показал аналогичную дозовую зависимость между высоким содержанием гранулоцитов и низким содержанием агранулоцитов в крови рыб из водоемов ЧЗО. При этом в крови рыб из оз. Азбучин, характеризующихся наиболее интенсивным накоплением  $^{90}\text{Sr}$ , относительное количество лимфоцитов и моноцитов составляло 48,8 %, что 1,6 раза меньше по сравнению с данными для рыб из контрольных водоемов. Высокий процент эозинофилов в периферической крови карася обыкновенного из оз. Глубокое, может свидетельствовать о физиологическом неблагополучии рыбы, проявившемся в аллергической реакции. Необходимо отметить, что сочетание эозинофилии с лимфопенией является неблагоприятным признаком, свидетельствующим о хроническом стрессе у рыб [1]. Часто встречающиеся на мазках бластные формы белой крови, являются свидетельством интенсивной деятельности кроветворных органов. Высокое содержание нейтрофилов в крови рыбы, обитающей в водоемах ЧЗО, указывает на зараженность рыбы гельминтами. При этом инвазия, в данном случае, является не первопричиной, а лишь фактором, усиливающим повреждающее воздействие на фоне снижения иммунных реакций организма. Данное предположение подтверждают литературные данные, согласно которым у рыб, выловленных в чистых районах и сильно зараженной паразитическими простейшими, подобных сдвигов в крови не наблюдали, а следовательно, обнаруженные патологические отклонения в крови могут быть токсикологического происхождения [2]. Вышеизложенное позволяет заключить, что характер изменений в крови исследуемых видов рыб ЧЗО близок к тем, которые возникают обычно при токсических заболеваниях.

В качестве показателя, в определенной степени подтверждающего неблагополучие среды обитания исследованных видов рыб в водоемах ЧЗО, использовали индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛ), являющегося отношением количества гранулоцитов и агранулоцитов, и отражающего степень отклонения гематологических параметров от нормы. У различных видов рыб допустимое значение ИСЛ может отличаться. В частности, у большинства карповых рыб значение ИСЛ составляет 0,30 [3]. По нашим данным, индекс сдвига лейкоцитов у рыб Яновского затона, оз. Азбучин и оз. Глубокое составлял 0,23, 0,13 и 0,12, соответственно. По данным [2], отклонение ИСЛ от нормы в сторону уменьшения является одним из признаков кумулятивного токсикоза. Наименьший показатель ИСЛ был зарегистрирован у рыб оз. Глубокое и оз. Азбучин, характеризующихся наибольшими уровнями дозовых нагрузок среди водоемов ЧЗО.

Таким образом, зарегистрированные отклонения показателей периферической крови окуня и карася обыкновенного в водоемах ЧЗО, проявляющиеся, в первую очередь, в разнообразных нарушениях морфологии ядер эритроцитов, а также в изменениях лейкоцитарной формулы крови рыб, указывают на существенные изменения гематологических показателей рыб, обитающих в условиях хронических доз ионизирующего излучения и свидетельствуют о негативном воздействии факторов внешней среды на организм рыб. Поскольку карась обыкновенный является бентофагом и большую часть жизни проводит вблизи донных отложений, являющихся источником повышенных доз ионизирующего излучения, это вид находится в более радиационно-неблагоприятных условиях обитания по сравнению с окунем, что отражается на его гематологических показателях.

*Литература:*

- [1] Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции на резистентность организма. – Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 1977. – 224 с.
- [2] Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рубницкая О.А. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб. – Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1989. – 111 с.
- [3] Житенева Л.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А. Тромбоциты рыб и других групп позвоночных. – Ростов-на-Дону, 2003. – 72 с.
- [4] Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 184 с.
- [5] Калинина М.В. Картина крови молоди кеты как индикатор загрязнения водоемов тяжелыми металлами // Международная научная конференция «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах», 27–29 мая, 2002 г., Москва. – М., 2002. – С. 123.
- [6] Лугаськова Н.В. Видовая специфика цитогенетической стабильности рыб в условиях эвтрофного водоема // Экология. – 2003. – № 3. – С. 235–240.
- [7] Тряпицына Г.А. Реакции биоценозов водных экосистем на хроническое радиационное воздействие. Автореф. дис... д-ра биол. наук: 2011 / Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – М., 2011. – 46 с.
- [8] Шеханова И.А. Радиоэкология рыб. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 204 с.
- [9] Handbook for assessment of the exposure of biota to ionising radiation from radionuclides in the environment / Eds. J. Brown, P. Strand, A. Hosseini, P. Børretzen. – Project within the EC 5th Framework Programme, Contract № FIGE-CT-2000-00102. Stockholm: Framework for Assessment of Environmental Impact, 2003. 395 p.
- [10] Sazykina T.G., Kryshev A.I. Effects of ionizing radiation to aquatic organisms. The EPIC database // Contributed Papers of the International Conference on the Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation, 6–10 October 2003, Stockholm, Sweden. – Stockholm, 2003. – P. 91–94.