

УДК: 612.842:617.7-007.681:616-001.28

Н. А. Гарькава<sup>1</sup>, П. А. Федірко<sup>2</sup>✉, Т. Ф. Бабенко<sup>2</sup>, Р. Ю. Дорічевська<sup>2</sup><sup>1</sup>Державний заклад «Дніпропетровська медична академія Міністерства охорони здоров'я України», вул. Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, Україна<sup>2</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», 53, вул. Мельникова, м. Київ, 04050, Україна

## РАДІЦІЙНО-ІНДУКОВАНІ ПОРУШЕННЯ КРОВООБІГУ В ЦІЛІАРНОМУ ТІЛІ ТА ЗМІНИ КУТА ПЕРЕДНЬОЇ КАМЕРИ ОКА В ПАТОГЕНЕЗІ ГЛАУКОМИ В УЧАСНИКІВ АВАРІЙНИХ РОБІТ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС І МЕШКАНЦІВ ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

**Мета.** Оцінити зміни кровонаповнення ціліарного тіла і стану кута передньої камери ока (КПК) та вивчити їх вплив на патогенез глаукоми у радіаційно опромінених осіб.

**Матеріали і методи.** Використані результати обстеження випадково відібраної групи з 41 учасника ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС (УЛНА на ЧАЕС) і 18 мешканців зони гарантованого добровільного відселення; вік на момент обстеження 45–50 років. Контрольну групу становила 41 особа того ж віку. Стан кута передньої камери вивчався за допомогою гоніоскопії, зміни кровообігу в ціліарному тілі оцінювали за допомогою офтальмоореографії.

**Результати.** Виявлено зменшення кровотоку в ціліарному тілі у всіх УЛНА. Так, реографічний коефіцієнт (РК) в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС був вірогідно нижчим ( $p < 0,05$ ) ніж у контрольній групі. Дослідження стану КПК виявило вищий ризик появи інволюційних змін КПК у УЛНА, ранні інволюційні зміни КПК виявлено у 14 з 35 осіб, відносний ризик у порівнянні з контрольною групою становив 3,5 (1,27; 9,5)  $\chi^2 = 7,48$ ,  $p = 0,031$ . Для мешканців радіаційно забруднених територій характерні такі ж зміни.

**Висновки.** Вплив іонізуючої радіації спричиняє зниження кровотоку в судинному тракті та розвиток змін кута передньої камери. Наявністю цих змін можна пояснити особливості патогенезу глаукоми у радіаційно опромінених - пізній вияв і тяжкий перебіг.

**Ключові слова:** глаукома, іонізуюча радіація, учасники ліквідації наслідків аварії, мешканці радіаційно забруднених зон, кут передньої камери, ціліарне тіло, реографія, аварія на ЧАЕС.

*Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2017. Вип. 22. С. 332–338.*

✉ Федірко Павло Андрійович, E-mail: eye-rad@ukr.net

N. A. Garkava<sup>1</sup>, P. A. Fedirko<sup>2</sup>✉, T. F. Babenko<sup>2</sup>, R. E. Dorichevska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Institution «Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of health of Ukraine», Vernadsky str, 9, Dnipro, 49044, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy Medical Sciences of Ukraine», Melnykov str, 53, Kyiv, 04050, Ukraine

## Radiation induced violations of blood circulation in the ciliary body and changes of the anterior chamber angle in the pathogenesis of glaucoma in clean-up workers of the Chernobyl NPP accident and residents of contaminated areas

**Objective.** Estimate changes blood filling of the ciliary body and changes of the anterior chamber angle; study their influence to glaucoma pathogenesis in irradiated persons.

**Materials and methods.** Used the results of a randomly selected group survey of 41 clean-up workers of the Chernobyl NPP accident (clean-up workers), and 18 inhabitants of the zone of guaranteed voluntary resettlement; age at the time of the survey was 45–50 years. The control group consisted of 41 persons of the same age had not radiation exposure. State of the anterior chamber angle studied by gonioscopy, which was conducted 35 clean-up workers and 35 persons of the control group. Changes of the blood circulation in the ciliary body examine by the ophtalmoreography, what was done on 12 eyes of 6 clean-up workers, control was 12 eyes of 6 persons had not radiation exposure.

**Results.** Detection revealed of the blood circulation in the ciliary body in all clean-up workers, reography coefficient was probably lower ( $p < 0.05$ ), than in the control group. The research of the state of the anterior chamber angle revealed a higher relative risk of appearance of involution changes of the anterior chamber angle in clean-up workers of ChNPP accident, in comparison with the control group was 3.5 (1.27; 9.5)  $\chi^2 = 7.48$ ,  $p = 0.031$ . The same changes are characteristic for inhabitants of radiation-polluted territories.

**Conclusions.** Influence ionizing radiation causes a blood circulation decrease in the ciliary body and development changes of the angle of the anterior chamber. Presence of these changes can explain the features of the pathogenesis of glaucoma in irradiated - late manifestation and, at the same time, severe course.

**Key words:** glaucoma, ionizing radiation, clean-up workers of the Chernobyl NPP accident, residents of contaminated areas, anterior chamber angle, ciliary body, reography, the Chernobyl NPP accident.

*Problems of radiation medicine and radiobiology. 2017;22:332–338.*

### ВСТУП

Глаукома – хронічне прогресуюче захворювання, що вражає зоровий нерв і призводить до незворотнього поступового зниження зорових функцій – є однією з провідних причин сліпоти в усьому світі. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, зареєстровано понад 105 мільйонів людей, хворих на глаукому, представлену головним чином первинною відкритокутовою глаукомою. З них 9,1 мільйона людей сліпі на обидва ока [1]. Найявна стійка тенденція до зростання захворюваності на глаукому, перш за все, серед відносно молодих і працездатних вікових груп населення. Це обумовлює актуальність вивчення антропогенних факторів, що можуть сприяти появі та розвитку первинної відкритокутової глаукоми.

За повідомленнями, що з'явилися в останні роки, підвищений ризик розвитку відкритокутової глаукоми може бути найбільш віддаленим із відомих зараз наслідків впливу іонізуючої радіації на око. Через 20 років після

### INTRODUCTION

Glaucoma – chronic progressive illness, that affects the optic nerve and leads to irreversible gradual reduction of visual functions – is one of the leading causes of blindness around the world. According to the World Health Organization, Registered over 105 million people, glaucoma patients, represented primarily by the primary open-angle, of these, 9.1 million people are blind in the both eyes [1]. The current stable growth trend in the incidence of glaucoma, especially among relatively young and able-bodied age groups. All this determines the relevance of the study of anthropogenic factors, which may contribute to the appearance and development of the primary open-angle glaucoma.

The increased risk of developing open-angle glaucoma is the most distant consequence of the effects of ionizing radiation. 20 years after the Chernobyl NPP accident, for the first time was discovered the

Чорнобильської катастрофи вперше було виявлено тенденцію до прискорення зростання захворюваності на відкритокутову глаукому серед опромінених осіб [2]. Пізній вияв відкритокутової глаукоми, ймовірно, пояснюється тим [2], що вплив іонізуючої радіації спричиняє зниження не тільки продукції [3], але й відтоку внутрішньоочної рідини. Вивчення механізмів цього зниження важливе для оцінки ризиків розвитку і перспектив профілактики глаукоми у радіаційно опромінених осіб. Продукція внутрішньоочної рідини є функцією цiliarного тіла, а основним шляхом відтоку є трабекулярний шлях. Тому ми провели аналіз результатів дослідження стану структур кута передньої камери та кровотоку в цiliarному тілі в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС і мешканців зони гарантованого добровільного відселення.

### **МЕТА**

Мета дослідження: оцінити зміни кровонаповнення цiliarного тіла і стану кута передньої камери ока та вивчити їх вплив на патогенез глаукоми у радіаційно опромінених осіб.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

Використані результати обстеження випадково відібраної групи з 41 учасника ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС (УЛНА), вік на момент обстеження 45–50 років. Офіційно зареєстрована поглинута доза зовнішнього опромінення в УЛНА на ЧАЕС становила 0,1–0,91 Гр. Другу групу склали мешканці зони гарантованого добровільного відселення – 18 осіб, які мешкають на радіоактивно забруднених територіях і мають рівні внутрішнього опромінення, які перевищують  $0,3 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$  [4]. Контрольна група, яка не мала контактів з іонізуючим випромінюванням – 41 особа того ж віку. Критеріями добору були: нормальний рівень внутрішньоочного тиску, вік 45–50 років, еметропія або аметропія не більше 1,5 D. Обстеження УЛНА проводилось через 5–12 років після опромінення.

Офтальмографія, що дозволяє оцінити стан кровотоку в судинному тракті ока, перш за все в цiliarному тілі, була здійснена на 12 очах у 6 УЛНА, контролем були 12 очей 6 неопромінених осіб. Офтальмографія проводилась за стандартною методикою за допомогою датчика Чиберене і реографа РГ4-01. Як реєструючий пристрій використано багатоканальний кардіограф. Розраховували реографічний коефіцієнт за формулою Iantsch.

Гоніоскопію було проведено 35 учасникам ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС і 35 особам контрольної

tendency towards accelerating the incidence of the open-angle glaucoma among the radiation-exposed persons [2]. The late appearance of the open-angle glaucoma is explained by the fact [2] that the effect of ionizing radiation causes a decrease ether production [3] and ether outflow of the intraocular fluid. Study of this reduction is important to assess the risks and prospects of prevention of glaucoma in people exposed to radiation. Since the products of intraocular fluid is a function of the ciliary body, and the main outflow way is the trabecular, we analyzed the results of investigation of the anterior chamber angle structures and blood flow in the ciliary body clean-up workers of the Chornobyl NPP accident and residents of the zone of guaranteed voluntary resettlement.

### **OBJECTIVE**

The study objective was to estimate the changes of blood filling of the ciliary body, changes of the anterior chamber angle, and study their influence to pathogenesis of glaucoma in irradiated persons.

### **MATERIALS AND METHODS**

The results of the randomly selected group survey of 41 clean-up workers of the Chornobyl NPP accident, age at the time of the survey was 45–50 years used. The officially registered absorbed dose of external exposure in clean-up workers of the Chornobyl NPP accident was 0.1–0.91 Gy. The second group consisted of residents of the zone of guaranteed voluntary evacuation – 18 people living in contaminated areas and have internal exposure levels that exceed  $0.3 \text{ mSv year}^{-1}$  [4]. The control group consisted of 41 persons of the same age had not radiation exposure. The criteria for selection were: normal intraocular pressure, age 45–50 years, emmetropia or ametropia no more than 1.5 D. Clean-up workers survey conducted in 5–12 years after exposure.

The ophtalmoreography was done on 12 eyes of 6 clean-up workers of ChNPP accident, control was 12 eyes of 6 persons had not radiation exposure. The ophtalmoreography was performed according to the standard method using a sensor Chyberene and rheographer RG4-01. How to register a device uses a multichannel cardiograph. The rheographic coefficient was calculated by the formula Iantsch.

Gonioscopy was conducted 35 clean-up workers, 35 persons of the control group and 18 individuals

групи, а також 18 особам, рівні внутрішнього опромінення яких перевищували  $0,3 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ . Гоніоскопію здійснювали за стандартною методикою за допомогою тризеркального гоніоскопу. Оцінювали кут передньої камери: відкритий чи закритий, при відкритому куті визначали ширину КПК, також враховували наявність дегенеративно-інволюційних змін кута передньої камери ока: склероз трабекулярної зони, звуження венозного синуса склери, тенденцію до звуження КПК та екзогенну пігментацію.

Для оцінки результатів обстежень використані статистичні методи: обчислення середніх значень кількісних показників, оцінка вірогідності різниці за методом Ст'юдента, за критерієм  $\chi^2$ , ризик-аналіз.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

У контролі величина реографічного коефіцієнта (РК), який характеризує стан кровообігу в судинному тракті, варіювала мало. Вона становила  $(3,24 \pm 0,18) \%$  для правого і  $(3,32 \pm 0,11) \%$  для лівого ока, різниця між правим і лівим оком була невірогідна. У всіх УЛНА РК був нижчим контрольного рівня, становив  $(2,15 \pm 0,12) \%$  для правого і  $(3,11 \pm 0,19) \%$  – для лівого ока, різниця між правим і лівим оком вірогідна,  $p < 0,05$ . При порівнянні з контролем РК для правого ока був вірогідно нижчим ( $p < 0,05$ ).

Отримані результати офтальмоореографії засвідчили наявність вираженої асиметрії реографічного коефіцієнта між правим і лівим оком радіаційно опромінених. Показано, що реографічний коефіцієнт для лівого ока виявився в середньому вірогідно вищим, ніж реографічний коефіцієнт для правого ока (табл. 1). Це свідчить про порушення внутрішньоочного кровообігу в осіб, радіаційно опромінених у період участі в аварійних роботах на ЧАЕС.

Чутливість ціліарного тіла до радіаційного впливу відома. Раніше вивчалась акомодативна спромож-

(living in contaminated areas) as internal exposure levels exceeds shaft  $0.3 \text{ mSv}\cdot\text{year}^{-1}$ . Gonioscopy was performed according to the standard method using a threemirror gonioscope. Examined the angle of anterior chamber: open or close, at an open angle was determined the width of angle of anterior chamber, also took into account the presence of degenerative-involutional changes of angle of anterior chamber: sclerosis of trabecular zone, narrowing of the venous sinus of sclera, tendency to narrowing the angle of anterior chamber and exogenous pigmentation.

To evaluate the results of surveys used statistical methods: calculation of average values of quantitative indicators, estimation of probability difference by Student's method, criterion  $\chi^2$ , risk analysis.

## RESULTS

Size of the rheographic coefficient (RK), which characterizes the state of blood circulation in the vascular tract, varied a little in control. The was  $(3.24 \pm 0.18) \%$  to the right and  $(3.32 \pm 0.11) \%$  for the left eye with insignificant difference between the right and left eye. In all clean-up workers, the RC was below the control level, equal to  $(2.15 \pm 0.12) \%$  for the right and  $(3.11 \pm 0.19) \%$  for the left eye with significant difference between the right and left eye ( $p < 0.05$ ). When compared with the control of the RC for the right eye, it was probably lower ( $p < 0.05$ ).

The ophthalmoreography results indicated the presence of a pronounced asymmetry of rheographic coefficient (RC) between the right and left eye of irradiated persons. It was shown that the rheographic coefficient for the left eye was on average more than the rheographic coefficient for the right eye (Table 1). This indicates to abnormal intraocular blood circulation in persons, irradiated during the period of participation in emergency works at the ChNPP.

The sensitivity of the ciliary body to radiation is known. Previously studied accommodative ability of

### Таблиця 1

#### Реографічний коефіцієнт в УЛНА на ЧАЕС ( $M \pm m$ )

Table 1

#### The rheographic coefficient in the clean-up workers of ChNPP accident ( $M \pm m$ )

Назва показника Exponent	УЛНА на ЧАЕС / ChNPP accident clean-up workers		Контроль / control	
	Праве око	Ліве око	Праве око	Ліве око
Реографічний коефіцієнт, % The rheographic coefficient, %	$2,15 \pm 0,12$	$3,11 \pm 0,19$	$3,24 \pm 0,18$	$3,32 \pm 0,11$
p (в порівнянні з контролем) p (comparison with control)	$> 0,05$	$< 0,05$	-	-

ність ока, що зазнало радіаційного впливу [5]. Виявлене зменшення кровонаповнення цiliarного тіла не суперечить раніше отриманим даним та їх підтверджує. Але, крім того, порушення кровопостачання структур цiliarного тіла може суттєво знижувати здатність до продукції внутрішньоочної рідини, що пояснює виявлену раніше патологічну гідродинаміку в УЛНА на ЧАЕС [3]. У віддаленому періоді після радіаційного впливу зниження продукції внутрішньоочної рідини перестає компенсувати порушення її відтоку, що і є причиною збільшення частоти відкритокутової глаукоми.

До інволюційних змін кута передньої камери відносять склероз трабекулярної зони, відкладення в ній пігменту та ексфолюативних часток, звуження венозного синуса склери, тенденцію до звуження КПК в окремих ділянках [6].

При гоніоскопії в групі УЛНА ранні інволюційні зміни КПК виявлено у 14 з 35 осіб (40,0 %): склероз трабекулярної зони спостерігався у 9 осіб (25,7 %), відкладення пігменту в 12 випадках (34,3 %), звуження венозного синуса склери виявлялось у 8 випадках (22,9 %), тенденція до звуження КПК – у 7 випадках (20,0 %). У мешканців радіоактивно забруднених територій, які зазнавали внутрішнього опромінення в дозі понад 0,3 мЗв·рік<sup>-1</sup>, появу змін, які відносять до інволютивних, спостерігали в 61,1 % випадків, при цьому переважно зустрічалась екзогенна пігментація (50,0 %) і склероз трабекулярної зони (27,8 %). У контрольній групі при гоніоскопії знайдена помірна екзогенна пігментація КПК у 8,6 % випадків, склероз трабекулярної зони – у 1 людини (2,9 %).

Частота змін КПК в обстежених групах наведена на рис. 1.

Відносний ризик появи інволюційних змін КПК для УЛНА у порівнянні з контрольною групою становив 3,5 (1,27; 9,5),  $\chi^2 = 7,48$ ,  $p = 0,031$ . Особи, які зазнавали радіаційного впливу внаслідок внутрішнього опромінення в дозі понад 0,3 мЗв·рік<sup>-1</sup>, також мали вірогідно вищий рівень ризику появи змін КПК у порівнянні з контролем, відносний ризик становив 5,35 (1,98; 14,44) при  $\chi^2 = 14,46$ ,  $p = 0,00007$ .

Знайдені у відносно молодих пацієнтів зміни КПК були подібні до тих, що спостерігаються у людей похилого віку, але вони розвинулися передчасно, у відносно молодому віці. Рання поява морфологічних змін кута передньої камери може бути причиною утруднення відтоку внутрішньоочної рідини, а в результаті їх прогресування у віддаленому періоді після радіаційного впливу – і причиною

the eye that has undergone radiation exposure [5]. The detected decrease in blood flow to the ciliary body does not contradict previously received data and confirms them. But, in addition, disturbance of blood supply structures in ciliary body can significantly reduce the capacity for production of intraocular fluid explained previously revealed pathological hydrodynamics clean-up workers of ChNPP accident [3]. In the remote period after radiation exposure reduction of intraocular fluid production ceases compensate for the violation of its outflow, which is the reason for the increase incidence of open-angle glaucoma.

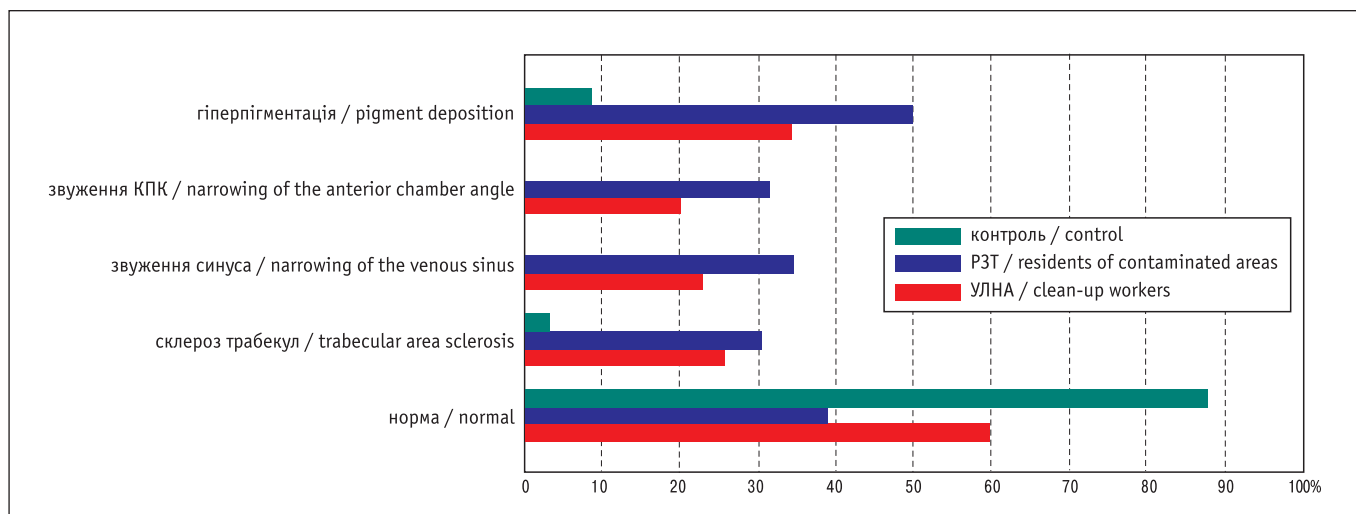
Sclerosis of the trabecular zone, deposition of pigment in it and exfoliative particles, narrowing of the venous sinus of the sclera, tendency to narrow the CCP in separate areas are attributed to involutinal changes in the angle of anterior chamber [6].

Early involutinal changes in the angle of anterior chamber were detected in 14 out of 35 people (40.0 %): trabecular area sclerosis was observed in 9 persons (25.7 %), pigment deposition in 12 cases (34.3 %), narrowing of the venous sinus of the sclera manifested in 8 cases (22.9 %), the the tendency to narrowing of the anterior chamber angle was observed in 7 cases (20.0 %). Changes including involutive ones were observed in 61.1% of cases, mostly met with exogenous pigmentation (50.0%) and sclerosis of the trabecular zone (27.8%) among the inhabitants of contaminated areas exposed to internal irradiation at a dose > 0.3 mSv·year<sup>-1</sup>. In the control group by gonioscopy was found moderate exogenous pigmentation of the angle of the anterior chamber in 8.6% of cases, trabecular sclerosis in 1 person (2.9%).

The frequency of changes in the CCP in the examined groups is shown in Fig. 1

Relative risk aging changes anterior chamber angle of clean-up workers in comparison with the control group was 3.5 (1.27; 9.5),  $\chi^2 = 7.48$ ,  $p = 0.031$ . Individuals who suffered radiation exposure due to internal irradiation at a dose above 0.3 mSv·year<sup>-1</sup>, also had a significantly higher level of risk of the anterior chamber angle changes, compared to control relative risk was 5.35 (1.98; 14.44),  $\chi^2 = 14.46$ ,  $p = 0.00007$ .

Found in our relatively young patients were anterior chamber angle changes similar to those observed in older people, but they have developed prematurely, at a relatively young age. The early appearance of morphological changes of anterior chamber angle can cause difficulty outflow of intraocular fluid, as a result of it progression in the remote period after radiation exposure – and cause



**Рисунок 1.** Частота змін кута передньої камери в групах осіб, які зазнали радіаційного впливу, в порівнянні з контролем (%).

**Figure 1.** Frequency of changes in the anterior chamber angle in groups of persons who were exposed to radiation, in comparison with control (%).

збільшення частоти відкритокутової глаукоми у радіаційно опромінених осіб. Важливо, що зміни КПК виявляються у мешканців територій з підвищеним рівнем забруднення, чисельність яких і досі велика [7]. Це збільшує ймовірність подальшого зростання частоти відкритокутової глаукоми в популяції у віддаленому періоді після Чорнобильської катастрофи.

## ВИСНОВОК

Доведено, що вплив іонізуючої радіації спричиняє зниження кровотоку в судинному тракті, перш за все в ціліарному тілі, і розвиток змін кута передньої камери. Радіаційно індуковане зниження кровотоку в ціліарному тілі здатне значно знизити продукцію внутрішньоочної рідини, що протягом певного часу компенсує зниження відтоку за рахунок змін КПК. Наявність цих змін можна пояснити особливості патогенезу глаукоми у радіаційно опромінених – її пізній вияв і, водночас, тяжкий перебіг.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Quigley H. A., Broman F. N. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br. Ophthalmology. 2006. Vol. 90. P. 262-267.
2. Федірко П. А., Кадошнікова І. В. Особливості клінічного перебігу і лікування відкритокутової глаукоми у осіб, радіаційно опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи. Таврійський медико-біологічний вісник. 2012. Т. 15, № 3, ч. 3 (59). С. 194-197.
3. Умовист Н. М., Давиденко Ф. Ф., Новицкий А. Н. Состояние зрительного анализатора у лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Проблемы радиационной медицины : сб. научн. трудов. Киев, 1993. С. 123-126.

increased frequency in open-angle glaucoma in radiation-exposed persons. It is important that changes in the anterior chamber angle are presents on residents of areas with high levels of pollution, whose numbers are still high [7]. This increases the likelihood of further increase of the frequency of open-angle glaucoma in a population in the remote period after the Chernobyl catastrophe.

## CONCLUSION

Ionizing radiation causes a blood circulation decrease in the ciliary body and development changes of the angle of anterior chamber. Radiation-induced reduction of blood flow in the ciliary body can significantly reduce the production of intraocular fluid, which over a period of time compensates for the reduction of outflow due to changes in anterior chamber angle. Presence of these changes can explain the features of pathogenesis of glaucoma in irradiated persons – late manifestation and, at the same time, severe course.

## REFERENCES

1. Quigley HA, Broman FN. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br Ophthalmology. 2006;90:262-7.
2. Fedirko PA, Kadoshnikova IV. [Peculiarities of clinical course and treatment of the open-angle glaucoma in radiation irradiated persons of the Chernobyl NPP accident]. Tavricheskiy medico-biologicheskii vestnik. 2012;15(3), chapt. 3(59):194-7. Ukrainian.
3. Umovist NM, Davidenko FF, Novitskiy AN. [The state of the visual analyzer in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident]. In: Problems of radiation medicine. Kyiv, 1993. p. 123-6. Russian.

4. Василенко В. В., Нечаєв С. Ю., Циганков М. Я., Ратія Г. Г., Берковський В. Б., Пікта В. О., Шпаченко Д. І., Задорожна Г. М., Міщенко Л. П. Основні чинники формування внутрішнього опромінення населення радіоактивно забруднених територій на поточному етапі аварії на ЧАЕС (на прикладі Київської області). Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2015. Вип. 20. С. 147-156.
5. Sergienko N. M., Fedirko P. A. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. Ophthal. Res. 2002. - Vol. 34, no. 4. P. 192-194.
6. van Beuningen E. G. A. Atlas der spaltlampengonioskopie - Leipzig : VEB Georg Thieme, 1955. 124 p.
7. Гунько Н. В. Оцінка ефективності організованого переселення в Україні жителів із зони безумовного (обов'язкового) відселення як заходу протирадіаційного захисту населення. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2015. Вип. 20. С. 174-184.
4. Vasylenko W, Nechaev SYu, Tsigankov MYa, Ratia GG, Berkovskyy VB, Pikta VO, Shpachenko DI, Zadorozhna GM, Mishhenko LP. [Main internal dose-forming factors for inhabitants of contaminated regions at current phase of the Chernobyl nuclear power plant accident (Kyiv region as an example)]. Probl Radiac Med Radiobiol. 2015;20:147-56.
5. Sergienko NM, Fedirko PA. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. Ophthal Res. 2002;34(4):192-4.
6. van Beuningen E. G. A. Atlas der spaltlampengonioskopie. Leipzig: VEB Georg Thieme, 1955. 124 p.
7. Gunko NV. Efficacy evaluation of managed population shift in Ukraine from zone of obligate (compulsory) resettlement as a measure of public radiation protection. Probl Radiac Med Radiobiol. 2015;20:174-84.

*Стаття надійшла до редакції 31.07.2017*

*Received: 31.07.2017*