

УДК 577.1:[537.533.35:612.111]:537.312.54-092.9

*А. Н. Коваль<sup>1</sup>, И. А. Никитина<sup>1</sup>, Л. П. Скрынникова<sup>1</sup>, Н. Н. Веялкина<sup>2</sup>, А. С. Шафорост<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение

«Институт радиобиологии НАН РБ»

г. Гомель, Республика Беларусь

**ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ, ЛЕЖАЩИХ В ОСНОВЕ  
ВЫЯВЛЯЕМЫХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ  
ИЗМЕНЕНИЙ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ МЫШЕЙ ПОСЛЕ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ IN VIVO**

Ионизирующие излучения широко применяются в практической медицине как для диагностических целей, так и в качестве лучевой терапии. В настоящее время исследователи применяют разнообразные методы для оценки изменений, вызванных облучением, на клеточном и субклеточном уровнях. При этом при оценке морфологических изменений в клетке анализируется и возможные изменения строения мембран, активация перекисных процессов, воздействие на цитоскелет [5], и систему протеостаза клетки. Для эритроцитов характерен специализированный энергетический метаболизм, связанный с кислородтранспортной функцией: отсутствие ядра и митохондрий, шунт Люберина-Раппопорта, необходимый для синтеза 2,3-дифосфоглицерата, мощная антиоксидантная защита. Потенциальным радиопротектором является ниацин (витамин РР), во многих клетках принимающий участие в защите ДНК от повреждений активными формами кислорода и азота, тем самым препятствуя нарушению энергообразования [1].

***Цель***

Оценить возможные биохимические нарушения метаболизма эритроцитов, вызванные облучением на рентгеновской установке лежащих в основе изменений мембран эритроцитов мышей.

***Материал и методы исследования***

Эксперименты проведены на лабораторных мышах линии С57В1/6 самцах в возрасте 2,5–3 месяца. Животных содержали в условиях стационарного вивария Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси» на полноценном стандартном пищевом рационе и свободным доступом к воде, 12/12-часовом режиме освещения и темноты, согласно установленным нормам.

Все экспериментальные работы с лабораторными животными выполнялись в соответствии с общепринятыми нормами обращения с животными и правилами Директивы 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях от 22 сентября 2010 г.

Были выделены следующие экспериментальные группы животных: 1 группа — контроль (интактные животные); 2 группа — однократное общее облучение в дозе 3 Гр; 3 группа — пероральное введение ниацина (витамин РР) (в течение семи суток в дозе 300 мг/кг) + однократное общее облучение в дозе 3 Гр. Каждая группа состояла из 7-ми особей.

Животных подвергали облучению с помощью рентгеновского аппарата биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc (напряжение на трубке 320 кВ, мощность

дозы 98,8 сГр/мин, фильтр № 2 (1,5 мм Al, 0,25 мм Cu, 0,75 мм Sn) расстояние до объекта 50 см).

По окончании эксперимента животных декапитировали, отбирали 0,1 мл крови, 15 минут выдерживали в 1% растворе глутарового альдегида, готовили мазки фиксированных эритроцитов с последующим высушиванием на предметном стекле [2]. Атомную силовую микроскопию (АСМ) проводили на микроскопе НТ-206 («МикроТестМашины», Беларусь) в режиме топографии. Полученные данные анализировали и визуализировали с помощью программы Surface Explorer (v. 1.3.1.1) [3].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Предварительные данные для эритроцитов животных 2 групп приведены на рисунках 1–4.

Изображения АСМ эритроцитов контрольной группы (разрешение  $2,5 \times 2,5$  мкм).

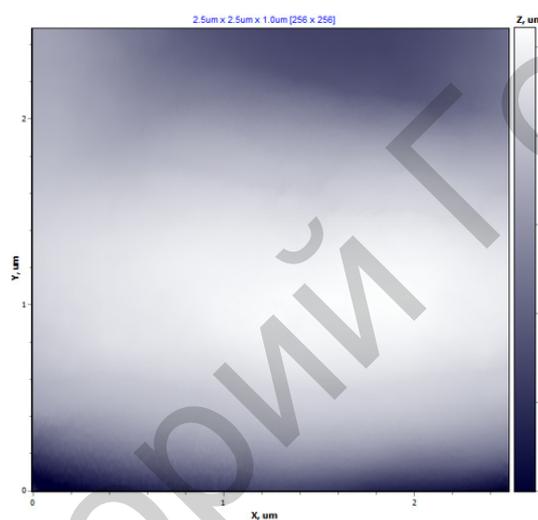


Рисунок 1 — Участок поверхности эритроцита полученный методом АСМ (режим топография)

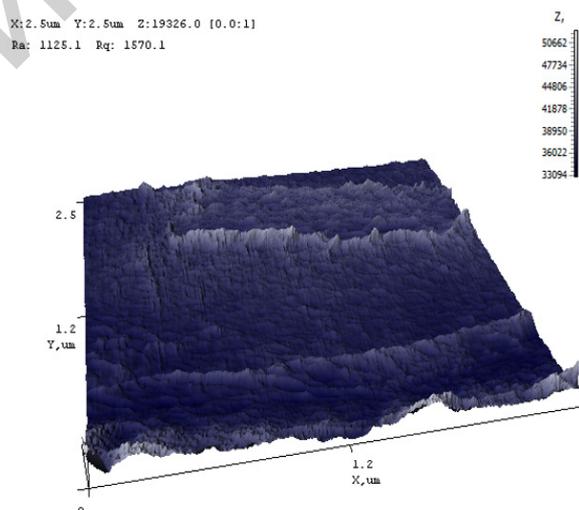


Рисунок 2 — Визуализация шероховатости участка поверхности эритроцитов контрольной группы мышей

Изображения АСМ эритроцитов опытной группы (разрешение  $2,5 \times 2,5$  мкм).

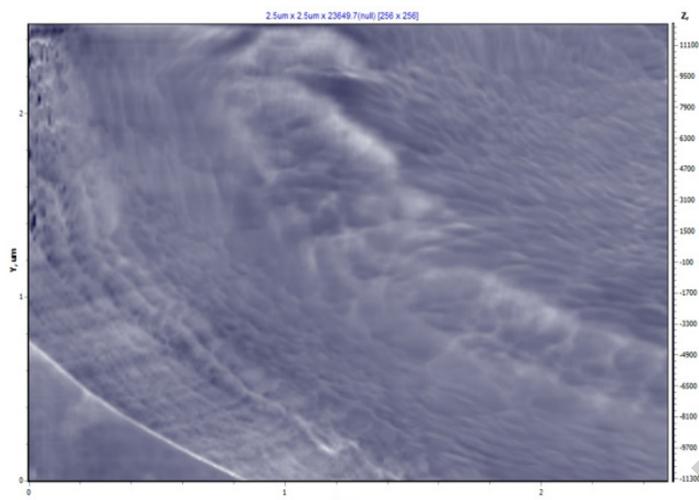


Рисунок 3 — Участок поверхности эритроцитов мышей опытной группы (режим топография) (рентгеновское облучение + ниацин).

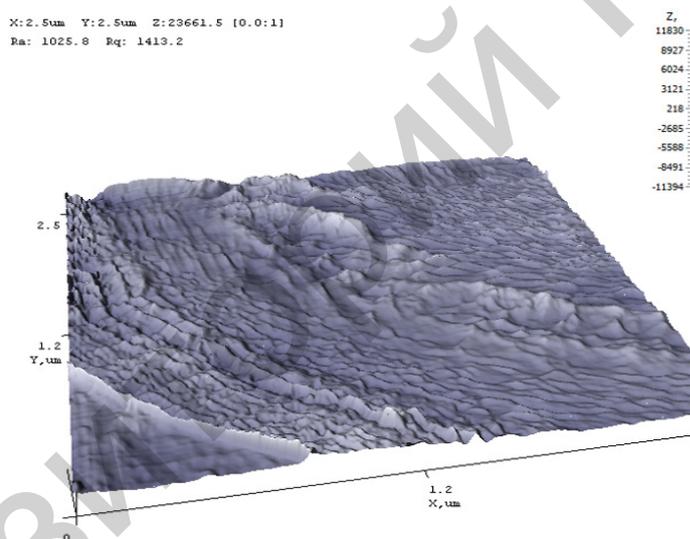


Рисунок 4 — Структурно-морфологические параметры участков поверхности эритроцитов, полученных методом АСМ ((режим топография) рентгеновское облучение + ниацин)

Таблица 1 — Параметры топографии поверхности эритроцитов мышей

Группа	Ra	Rq	Rsk	Rku	Zmean	Ff
Контроль	1125,14	1570,14	1,67	8,47	36542,17	2960,8
Опыт	1025,76	1413,14	0,77	6,99	-0,24	3443,435

Несмотря на видимые различия топографических изображений и визуализации шероховатости поверхности эритроцитов, полученные с помощью АСМ для животных двух групп, показатели шероховатости Ra и Rq остаются практически идентичными. Эти и

другие параметры, характеризующие асимметричность (Rsk) и уплощенность поверхности (Rku), расчетное значение силы трения (Ff) дают ценную информацию об изменениях физико-химических свойств мембран эритроцитов.

Кроме того, для эритроцитов животных первой группы отмечалась тенденция к агрегации, выявленная на световой микрофотографии (не приводится), что также свидетельствует об изменениях свойств этих клеток, на что указывают исследования ряда авторов [3, 4, 5].

### **Заключение**

Обнаруживаемые морфологические изменения мембраны эритроцитов после рентгеновского облучения предположительно могут объясняться как повреждением липидного слоя мембран, нарушением строения цитоскелета, митохондриальных мембран и дезорганизацией внутриклеточной компартментализации, так и агрегацией частично денатурированных белков вследствие нарушения системы протеостаза в условиях нарушенного энергообразования [5]. Понимание механизмов биохимической модуляции метаболизма является перспективным как для поиска новых радиопротекторов, так и усилителей повреждающего действия ионизирующей радиации.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Biological Properties of Vitamins of the B-Complex, Part 1: Vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, and B<sub>5</sub> / M. Hrubša [et al.] // *Nutrients*, 2022 Jan 22. – Vol. 14(3). – P. 484. doi: 10.3390/nu14030484.
2. Стародубцева, М. Н. Параметры архитектоники АСМ-карт поверхности эпителиальных клеток карциномы молочной железы MCF-7 / М. Н. Стародубцева // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2017. – № 4 (54). – С. 60–65.
3. Сподобаева, А. В. Влияние рентгеновского излучения в дозе 0,5 Гр на морфологию эритроцитов мышей [Электронный ресурс] / А. В. Сподобаева, Е. В. Гаркач // *Проблемы и перспективы развития современной медицины* : сб. науч. ст. XIII Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием студентов и молодых ученых, Гомель, 6-7 мая 2021 г. : в 9 т. / Гомел. гос. мед. ун-т ; редкол. : И. О. Стома [и др.]. – Гомель : ГомГМУ, 2021. – Т. 9. – С. 95–97. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Научный руководитель: М. Н. Стародубцева; Н. И. Егоренков.
4. Влияние рентгеновского излучения на наномеханические свойства поверхности эритроцитов крыс при гиперхолестериновой диете / И. А. Челнокова [и др.] // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 105–115.
5. Nanoscale Changes on RBC Membrane Induced by Storage and Ionizing Radiation: A Mini-Review / A. M. López-Canizales [et al.] // *Front Physiol*. – 2021. – Vol. 12. – Article 669455. – Published 2021 Jun 4. – doi:10.3389/fphys.2021.669455

УДК 612.6-053.6

**Н. В. Козакевич, В. А. Мельник**

**Учреждение образования**

**«Гомельский государственный медицинский университет»**

**г. Гомель, Республика Беларусь**

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ АДРЕНАРХЕ ГОРОДСКИХ ШКОЛЬНИКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ УРБАНИЗАЦИИ**

### **Введение**

Ведущими показателями здоровья и социального благополучия общества является гармоничность роста, развития и репродуктивный потенциал подрастающего поколения