

# О БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТАХ МАЛЫХ ДОЗ РАДИАЦИИ

*Федорук О. В.*

*Научный руководитель: канд. биол. наук, доц. Зиматкина Т. И.*

*Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно*

**Резюме.** Актуальность исследования радиационного гормезиса обусловлена пересмотром консервативной линейной беспороговой модели и потенциальной пользой малых доз радиации для здоровья. Несмотря на перспективы применения в профилактике и терапии, данное направление сопряжено с серьёзными последствиями.

Ключевые сложности включают методологические ограничения, этические противоречия при организации исследований на людях и животных, а также риски отдаленных последствий. Действие малых доз сильно варьируется в зависимости от индивидуальных факторов, что ставит под сомнение возможность унификации метода.

Анализ литературных данных выявил неоднозначность горметического эффекта. С одной стороны, отмечаются положительные реакции: активация адаптивного ответа, усиление репарации ДНК, стимуляция иммунитета и повышение общей резистентности тканей. С другой стороны, зафиксированы и негативные эффекты: потенциальное увеличение частоты аберраций хромосом, признаки индукции малигнизации при пролиферации и отсроченное угнетение иммунной системы.

Таким образом, хотя радиационный гормезис является реальным феноменом и уже находит ограниченное применение в медицине (радоновые ванны, адаптивная терапия), его широкое внедрение требует крайней осторожности, точного дозирования и дальнейших углубленных исследований для оценки соотношения пользы и риска.

**Ключевые слова:** радиационный гормезис, малые дозы радиации, ионизирующее излучение, адаптивный ответ, низкодозная радиационная терапия, радиационная безопасность, биологические эффекты радиации, радоновая терапия, отдаленные последствия облучения.

**Актуальность.** Актуальность исследования радиационного гормезиса обусловлена пересмотром консервативной линейной беспороговой модели эффекта ионизирующего излучения, которая не учитывает потенциальную пользу малых доз радиации для здоровья. Использование этого эффекта открывает поле для изучения и нормирования нового направления в профилактике и терапии для защиты здоровых тканей при лучевой терапии или лечении нейродегенеративных заболеваний.

Однако критичность данного вопроса в соотношении потенциально

положительной реакции для организма с вредом, оказанным на него. Данная дилемма требует urgentного решения, так как в настоящее время в эксплуатацию уже внедрены и используются методы лечения и профилактики низкими дозами радиации в определенных диапазонах, что является вторым проблемным полем в данной тематике. Так как основным постулатом радиобиологии можно считать – доказанное радиационно-эпидемиологическими исследованиями патогенное действие радиации на организм человека при высоких и промежуточных дозах.

В то время как для низкодозного облучения медицинские исследования требуют биологических ресурсов не сопоставимых с оптимальными и недоступных в связи несоответствием с нормами биоэтики. Основная сложность в изучении эффектов малых доз – необходимость огромных статистических выборок. Для достоверного выявления эффектов при дозе 0.01 Зв (10 мЗв) требуется наблюдение за контингентом в несколько миллионов человек, что делает эпидемиологические исследования крайне затруднительными. Также верификация данных потребует больших выборок среди лабораторных животных (более миллиона особей). А впоследствии потребуются клинические испытания, сопряженные с риском отсроченных мутаций, злокачественных новообразований, мертворождения, тератогенного действия, патологий у последующих поколений, и сокращения не только качества, но и срока жизни у участвующих в испытаниях. Кроме того, действие малых доз ионизирующего излучения на человека трудно предсказать, учитывая комплекс других эндогенных и экзогенных факторов, таких как восприимчивость организма, накопленный радиационный фон, отсутствие стандартизации в биокинетике и метаболизме радионуклидов и состояние микробиоты. Это делает невозможным перспективу унификации данного метода.

Кроме того, понимание механизмов гормезиса может оказаться полезным для сокращения социально-экономических последствий радиофобии и совершенствования норм радиационной безопасности.

**Цель:** систематизировать и актуализировать данные современной научно-исследовательской литературы о биологическом эффекте малых доз радиации. Определить целесообразность использования низких доз ионизирующего излучения для профилактики и лечения. Выявить положительные и отрицательные аспекты данного направления профилактической медицины.

**Задачи:**

1. Проанализировать современные теоретические модели, описывающие зависимость «доза-эффект» для малых доз ионизирующего излучения (линейно-пороговую, супралинейную, горметическую), и выявить их ограничения.

2. Систематизировать экспериментальные и клинические данные о влиянии малых доз радиации (в диапазоне 0.01–0.2 Гр) на ключевые биологические системы: генетический материал, пролиферацию и дифференцировку клеток, иммунный ответ и ферментативную активность.

3. Выявить и сопоставить положительные (адаптогенные) и отрицательные (потенциально патогенные) эффекты низкодозного облучения, с акцентом на отдаленные последствия (канцерогенез, генетическая нестабильность, тератогенное действие).

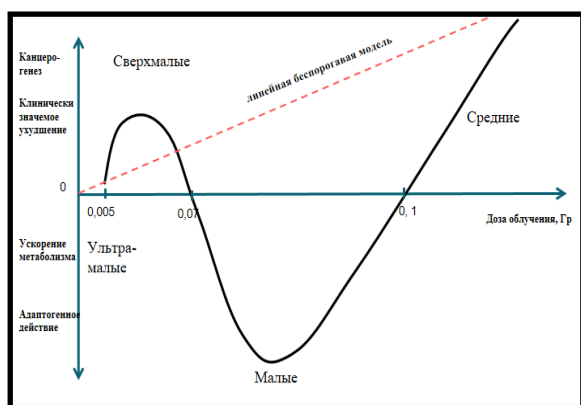
4. Оценить методологические проблемы и биоэтические аспекты исследований радиационного гормезиса, включая трудности формирования репрезентативных выборок и риски для участников клинических испытаний.

5. На основе проведенного анализа определить целесообразность и потенциальные области применения

низкодозного ионизирующего излучения в профилактической и терапевтической медицине, а также в смежных областях (например, для радиационной адаптации).

**Материалы и методы.** В исследовании использовался поиск ретроспективных архивных сведений и научно-исследовательских материалов. С их последующим анализом сравнительно-оценочным методом.

**Результаты и их обсуждение.** На протяжении десятилетий в общественном сознании укоренилось представление о радиации как об исключительно разрушительной и опасной силе, несущей неизбежный вред живым организмам. Эта точка зрения, безусловно, справедлива в отношении средних и высоких доз ионизирующего излучения. Однако в последние годы активно внедряется мнение о способности малых доз радиации оказывать не угнетающее, а стимулирующее, защитное и адаптогенное действие на биологические системы. Это явление в различных сферах биологии и медицины известно как гормезис (от греч. «*hormē*» – стремление, порыв). Его действие отражено на рисунке 1.

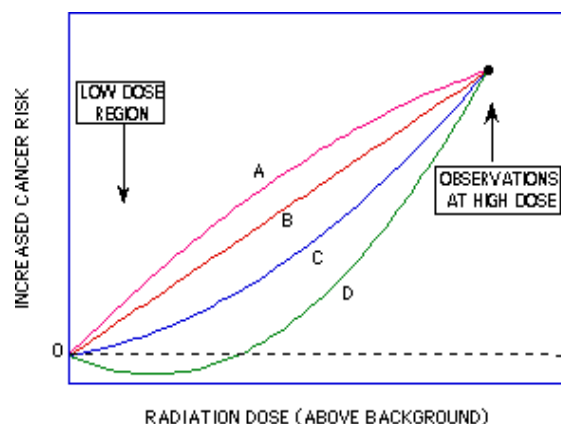


**Рис. 1** – Воздействие малых доз радиации на включение адаптивного ответа в организме млекопитающих [4]

Данный график отражает стимулирующее действие на организм радиации в малых дозах, однако стоит отметить, что сверхмалые дозы вызывают обратный эффект, то есть работа в данном направлении требует точных расчётов, ведь диапазон полезного действия составляет менее 0,2 Гр.[5]

Вопрос радиационного гормезиса весьма неоднозначен. Конечно изучение и предполагаемое использование радиационного гормезиса открывает новые сферы для научных исследований в различных областях, от онкологии (где исследуется возможность защиты здоровых тканей при лучевой терапии [3]) и радиационной защиты до биотехнологий и геронтологии.

На современном этапе полностью пересмотрена линейная беспороговая модель в отношении ионизирующего излучения, определена пороговость ее действия (рисунок 2). Однако не стоит забывать о наличии латентного, отсроченного действия, которое не может предусмотреть исследование, использующее анализ влияния радиации в краткосрочном периоде.



**Рис. 2** – Экстраполяция риска рака в зависимости от дозы облучения до уровней низких доз, учитывая известный риск при высокой дозе [5]

А-супралинейная теория

В-линейная теория

С-линейно-квадратичная

Д-горметическая теория

Согласно исследованиям, окно между угнетающим действием сверхмалых и высоких доз находится в пределах 0,01-0,2 Гр при средней мощности дозы 0,2 Гр/мин. В исследованиях описывается как положительное, так и отрицательное влияние на организм радиации в данном диапазоне.

1. Влияние на генетический материал. Отмечается ускорение экспрессии генов [1], что может рассматриваться как защитно-приспособительная реакция к отрицательному фактору. Однако выдвигается и противоположное суждение о увеличении частоты аберраций вследствие ускорения репаративных процессов [4]. Также во многих статьях находит отражение мысль о накопительном мутационном действии, проявление которого может быть отсрочено на десятки лет или проявиться в последующих поколениях [2,4,5].

2. При моделировании воздействия на тканевых структурах отмечается увеличение пролиферативной активности, сопровождающееся снижением степени дифференцировки, которая восстанавливается при дальнейшем прекращении воздействия [4,6]. Что можно считать косвенным признаком индукции малигнизации.

3. Иммунная система в первые недели активировалась, что проявлялось в повышенном титре антител, повышении нейтрофильной активности, включением неспецифического иммунного ответа. Снижалась восприимчивость к вирусным и бактериальным

агентам. Однако отмечается противоположный эффект, связанный с угнетением иммунной резистентности после 2-3 недель от прекращения облучения, стойкого характера.

4. Значимым эффектом является повышение резистентности всех тканей, при последующем высокодозном облучении, как проявление адаптационного признака. Данный эффект сохранялся на протяжении 4 месяцев [4].

5. Отмечается увеличение активности большинства ферментативных систем клетки, что также связано с ускорением экспрессии генетического материала [3].

6. Исследований предоставляющих достоверные данные об изменении в частоте канцерогенеза не проводилось.

На современном этапе горметический эффект ионизирующего облучения уже используется в таких направлениях профилактической медицины, как радоновые ванны, использование радоновой воды в алиментарных целях, при плантарном фасциите, контрактурах Дюпюитрена, артрозах, бурситах, коллоидных рубцах, радиационной адаптивной терапии (в качестве превентивной меры до лучевой терапии), для стимулирования иммунного ответа в качестве шоковой терапии.

#### **Выводы:**

1. Дискуссионный статус темы. Вопрос остаётся предметом активных научных дебатов и требует тщательного дозиметрического контроля и дальнейших исследований.

2. Фактор непредсказуемости. Радиацию следует рассматривать в первую очередь как фактор

непредсказуемого влияния на конкретный индивидуальный организм.

3. Двойственность воздействия. Малые дозы радиации оказывают двойственное влияние: каждое положительное воздействие сопряжено с опосредованным риском отрицательных последствий.

4. Условие для применения. Использование метода в профилактической медицине возможно только после решения ряда фундаментальных проблем:

- определение и нормирование «горметического окна» – полезного диапазона доз;
- разработка методов оценки индивидуальной радиочувствительности организма;
- проведение исследований по оценке отдалённого риска канцерогенеза;

- установление достоверного механизма экстраполяции данных с модельных организмов на человека;

- получение данных, доказывающих превосходство пользы над вредом при наблюдении свыше 30 лет;

- снижение риска использования метода в спекулятивных и коммерческих целях.

5. Нишевой статус радоновых ванн. Использование радоновых ванн остается узконишевым и методологически спорным направлением.

6. Экспериментальный статус адаптивной терапии. Направление адаптивной радиационной терапии для защиты здоровых тканей находится на стадии доклинических и ранних клинических исследований и не должно являться стандартом в онкологии.

### Литература

1. Заботин М. В. Гормезис и жизнь // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2 (часть 1). – С. 1-9. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18494>
2. Крылов В. В. Лечебная радиация. Интервью с ученым и врачом-радиологом [Электронный ресурс] // ПостНаука. – 2021. – URL: <https://postnauka.ru/longreads/170213>
3. Майстренко Д. Н. Радиация как лекарство: ученые смогли подчинить ее и направить на борьбу с раком [Электронный ресурс] // Интервью РИА Новости. – 2023. – URL: <https://ria.ru/20231123/radiatsiya-1911270745.html>
4. Малые дозы ионизирующих излучений [Электронный ресурс] // Институт радиобиологии НАН Беларуси. – URL: <https://www.irb.basnet.by/ru/malye-dozy-ioniziruyushhix-izluchenij/> (дата обращения: 18.11.2025).
5. Малые дозы радиации: от гипотез к реальности [Электронный ресурс] // ProAtom. – URL: <https://www.proatom.ru/modules.php?file=article&name=News&sid=2923> (дата обращения: 18.11.2025).
6. Михайлов В. Ф., Засухина Г. Д. Новый подход к стимуляции защитных систем организма малыми дозами радиации (радиационный гормезис) и его использование в современной лучевой терапии // Российский биотерапевтический журнал. – 2006. – Т. 5, № 4. – С. 85-92.

# BIOLOGICAL EFFECTS OF LOW-DOSE RADIATION

*Fedoruk O. V.*

*Tutor: PhD, associate professor Zimatkina T. I.  
Grodno State Medical University, Grodno*

**Resume.** The relevance of research into radiation hormesis is driven by a critical re-evaluation of the conservative linear no-threshold model and the potential health benefits of low-dose radiation. Despite promising applications in prevention and therapy (e.g., protecting healthy tissues during radiotherapy, treating neurodegenerative diseases), this field faces significant challenges.

Key difficulties include methodological limitations (the necessity for extremely large sample sizes to detect effects), ethical controversies in conducting human and animal studies, and the risks of long-term consequences such as mutations, carcinogenesis, and teratogenic effects. The impact of low doses is highly variable and influenced by individual factors, raising doubts about the possibility of standardizing this method.

An analysis of the available literature reveals the ambiguous nature of the hormetic effect. On one hand, positive responses are observed: activation of the adaptive response, enhanced DNA repair, immune system stimulation, and increased overall tissue resistance. On the other hand, negative effects have been recorded, including a potential increase in chromosomal aberrations, signs of induced malignancy during proliferation, and delayed immunosuppression.

Thus, while radiation hormesis is a real phenomenon and is already used in limited medical applications (e.g., radon therapy, adaptive radiotherapy), its widespread adoption requires extreme caution, precise dosing, and further in-depth studies to thoroughly assess the risk-benefit ratio.

**Keywords:** radiation hormesis, low-dose radiation, ionizing radiation, adaptive response, low-dose radiation therapy, radiation safety, biological effects of radiation, radon therapy, long-term effects of radiation.