

В. К. Киселев^{1,2}, В. И. Маколинец³, Н. А. Митряева⁴, В. П. Радионов¹

¹*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: kiseliov@ire.kharkov.ua

²*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина*

4, пл. Свободы, 61022, Харьков, Украина

³*Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М. И. Ситенко НАМН Украины*

80, ул. Пушкинская, Харьков, 61024, Украина

⁴*Институт медицинской радиологии им. С. П. Григорьевы НАМН Украины*

82, ул. Пушкинская, Харьков, 61024, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРАГЕРЦЕВОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОПУХОЛЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Проведено исследование влияния терагерцевого лазерного излучения гипервысокочастотного (ГВЧ) диапазона на опухолевые процессы в организмах лабораторных животных. Для проведения исследований разработан способ повышения долговременной стабильности газоразрядного ГВЧ-лазера на основе избирательной термостабилизации резонатора. Это упростило проведение медицинских исследований в клинических условиях, в ходе которых получены новые результаты. Ил. 5. Табл. 3. Библиогр.: 20 назв.

Ключевые слова: терагерцевое излучение, HCN-лазер, опухолевые процессы, лучевая терапия, физиотерапия.

В последние годы при разработке современных технологий лечения злокачественных новообразований существенное внимание уделяется обоснованию и использованию разнообразных физических факторов (гипертермия, гипотермия, постоянный и переменный электрический ток, действие магнитных и электромагнитных полей низкой интенсивности и др.) как мощных модификаторов, которые значительно повышают эффективность комплексного лечения, в частности, при лучевой терапии онкологических больных [1–3].

Некоторыми экспериментальными исследованиями продемонстрирована эффективность электромагнитного излучения в повреждении опухолевых элементов [4–6], его способность индуцировать апоптоз (самоликвидация клеток) в трансформируемых *HL60* клетках [7], нетрансформируемых линиях человеческих клеток [8], усиливать процесс индуцируемого апоптоза и создавать адекватную коррекцию изменений гомеостатических систем организма, повышая его неспецифическую резистентность [9, 10].

На сегодняшний день механизмы биологических эффектов, обусловленных физическими факторами, и влияние последних на опухолевые процессы изучены недостаточно, а результаты экспериментальных и клинических исследований имеют неоднозначный характер. Так, до сих пор остается неясным действие низкоинтенсивного лазерного излучения различных диапазонов непосредственно на злокачественные новообразования.

В связи с этим представляют интерес исследования возможности использования электромагнитного излучения терагерцевого (ТГц) диа-

пазона (область частот $\sim 0,1 \dots 10$ ТГц), особенно его наименее освоенной, так называемой гипервысокочастотной (ГВЧ) области (0,3...3 ТГц), соответствующей субмиллиметровому диапазону длин волн (1...0,1 мм) [11].

1. Постановка задачи. Проведенные нами ранее исследования подтвердили высокую биологическую эффективность ГВЧ-излучения и выявили его существенное влияние на иммунную систему, а также стимулирующее действие при реабилитации различных ортопедических заболеваний. В связи с этим возник интерес к исследованию возможности стимулирования иммунной системы при опухолевых процессах. Однако для проведения таких специфических исследований требуется серия экспериментов, осуществляемых в течение длительного времени, причем необходимо, чтобы энергетические параметры лазерного излучения оставались стабильными на протяжении всего этого периода. Поэтому в ходе данной работы, кроме медицинских аспектов исследования, перед нами возникла проблема обеспечения долговременной стабильности параметров лазерной установки и борьбы с факторами, негативно влияющими на стабильность лазерного излучения.

2. Экспериментальная техника. У нас имеется определенный опыт исследования влияния ГВЧ-излучения на биообъекты различного уровня организации с использованием лазеров и квазиоптической радиоизмерительной аппаратуры, которые разрабатываются в Институте радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины для проведения фундаментальных научных и прикладных исследований в этом новом, еще не вполне освоенном участке электромагнитного спектра. Для указанных биомедицинских

исследований в Институте радио-физики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины были разработаны лазерные экспериментальные установки на основе газоразрядных ГВЧ-лазеров и квазиоптических компонентов, адаптированные к работе в клинических условиях [12–14]. Биомедицинская исследовательская лазерная установка (рис. 1) является комплексом, состоящим из ряда систем. Он включает в себя собственно лазерный ГВЧ-излучатель, систему накачки, систему прокачки активного вещества, квазиоптический волноведущий тракт, систему дистанционного управления и систему контроля лазерного излучения.

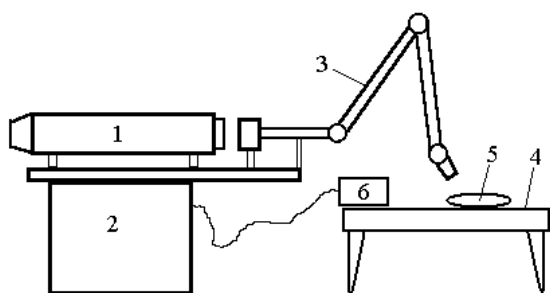


Рис. 1. Схема лабораторной биомедицинской ГВЧ лазерной установки

В качестве лазерного излучателя используется газоразрядный HCN-лазер с длиной волны излучения 337 мкм и накачкой переменным током [15]. Для передачи излучения от источника к облучаемым объектам и контроля параметров излучения разработан квазиоптический тракт на основе полого диэлектрического лучевода (ПДЛ) и лучеводных функциональных узлов и компонентов [16, 17].

Лазерный излучатель 1 смонтирован на блоке 2. В блоке 2 установлены система накачки переменным током и все устройства питания, откачки, управления и контроля. Лазерная установка снабжена пантографом-манипулятором 3, предназначенным для подведения излучения в любую точку облучаемой зоны рабочего стола 4, на котором размещается исследуемый биологический объект 5. Рабочая зона ограничена пределами круга диаметром 800 мм в горизонтальной плоскости с возможностью перемещения на 200 мм в вертикальной плоскости. Подведение излучения на выход манипулятора осуществляется с помощью секций ПДЛ, вращающихся сочленений и квазиоптических уголкового переходов, представляющих собой прямоугольные лучеводные изломы с зеркальными отражателями. После последовательного прохождения лучеводных секций и переотражения зеркальными отражателями пучок излучения поступает на выход пантографа-манипулятора, к которому непосредственно присоединяется облучатель, преобразующий и формирующий пучок заданной формы. Лазерная ус-

тановка снабжена пультом дистанционного управления 6, с помощью которого осуществляются все операции управления лазером.

2.1. *Исследование влияния полимерного налета на мощность лазерного излучения.* Одним из главных факторов, негативно влияющих на долговременную стабильность HCN-лазеров, является оседание полимерного налета на внутренних стенках разрядной трубки в процессе синтеза рабочего вещества в газовом разряде. Скорость образования полимерного налета и его конфигурация зависят от температуры стенок разрядной трубки, состава рабочей смеси и особенностей конструкции резонатора. Интенсивнее всего налет оседает на менее нагретых участках, обычно в нижней части разрядной трубки, вдали от разогретых электродов. Особенно заметно влияние такого налета на параметры резонаторов, у которых разрядная трубка выполняет функцию волновода. На рис. 2 показан характер зависимости мощности излучения HCN-лазера от времени работы без чистки разрядной трубки.

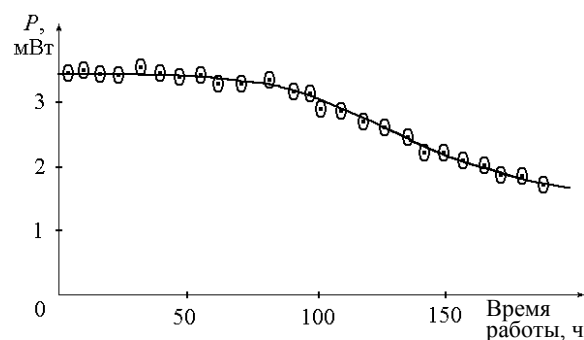


Рис. 2. Экспериментальная зависимость мощности излучения от времени работы лазера без чистки разрядной трубки

На мощность лазерного излучения влияет не только толщина, но и структура полимерного налета. По мере возрастания толщины полимерной пленки на ее поверхности возникают трещины, а затем отдельные участки начинают отслаиваться. При этом возрастают потери в резонаторе и мощность излучения заметно падает. Во время работы лазера происходит как оседание полимерного налета, так и его испарение, что вызывает изменение состава рабочей смеси за счет добавления продуктов испарения. Количество добавляемых веществ зависит от температуры разрядной трубки. Поэтому колебания температуры разрядной трубки, загрязненной полимерным налетом, приводят к более существенному изменению мощности излучения.

Как выяснилось, продукты испарения полимерного налета не только изменяют давление в резонаторе, но и нарушают соотношение рабочих веществ, поскольку сами могут служить источником углеводородов. Лазер с загрязненной

полимерным налетом разрядной трубкой может работать при подаче в резонатор только воздуха. На рис. 3 показана зависимость мощности излучения от времени при использовании в качестве рабочего вещества смеси воздуха и паров полимерного налета, осевшего в разрядной трубке. Зависимость приведена для HCN-лазера, проработавшего около 100 ч без чистки резонатора. Пунктиром показана зависимость мощности излучения при работе на штатной рабочей смеси. Такой характер зависимости можно объяснить тем, что в начальный момент работы на поверхности налета образуется множество микротрещин и испарение поверхностного слоя существенно увеличивается. Нестабильное поступление продуктов испарения в рабочую смесь в несколько раз увеличивает время выхода лазера на рабочий режим.

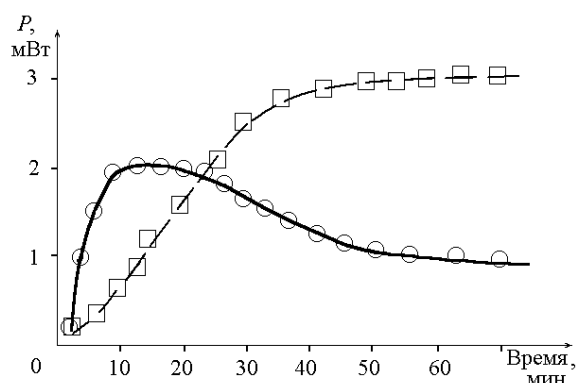


Рис. 3. Экспериментальные зависимости мощности излучения HCN-лазера от времени при использовании штатной рабочей смеси газов и полимерного налета в качестве рабочего вещества

2.2. Меры по повышению долговременной стабильности мощности лазерного излучения. Для удаления полимерного налета может применяться механическая чистка разрядной трубки, что требует частичной разборки лазера либо очищение при помощи газового разряда в атмосфере кислорода [18]. Однако все эти способы требуют дополнительных затрат времени, усложнения конструкции и довольно высокой технической квалификации обслуживающего персонала. Все это неприемлемо для медицинских лазеров, работающих в клинических условиях.

Гораздо целесообразнее принять меры по предотвращению оседания полимерного налета. Полимерный налет практически не оседает при температуре стенок разрядной трубки выше 130 °С, однако увеличение температуры снижает мощность излучения и отрицательно влияет на элементы конструкции резонатора, поэтому необходима термостабилизация. Методы жидкостной термостабилизации дают хороший эффект, но значительно усложняют конструкцию резонатора [19].

Разрядная трубка в процессе работы разогревается газовым разрядом, а отвод от нее тепла обычно осуществляется с помощью естественного воздушного охлаждения. Поэтому повысить температуру разрядной трубки можно путем ее термоизоляции. Однако поскольку разогрев разрядной трубки происходит неравномерно по ее длине и диаметру, то простая теплоизоляция приводит к перегреву одних участков разрядной трубки и не устраняет образование налета на других. Поэтому теплоизоляцию было предложено выполнять с избирательной эффективностью. Такую теплоизоляцию мы осуществили, используя в качестве шаблона разрядную трубку с предварительно осевшим полимерным налетом. Этот полимерный налет является визуальным «тепловым портретом» разрядной трубки, поскольку толщина полимерного налета пропорциональна распределению температуры по стенкам разрядной трубки и, кроме того, несет информацию о влиянии на образование полимерного налета разнообразия химических реакций, происходящих в газовом разряде. Используя такой цветовой шаблон, было изготовлено теплоизоляционное покрытие, толщина которого пропорциональна толщине полимерной пленки на данном участке. Хорошие результаты дало покрытие из стеклоткани, обладающей достаточными теплоизоляционными и термостойкими свойствами. Эксперименты показали, что такой способ термоизоляции позволяет успешно бороться с оседанием полимерного налета без снижения мощности излучения и усложнения конструкции резонатора.

Использование разработанного способа термостабилизации позволило повысить долговременную стабильность лазера и дало возможность проведения специфических исследований, в которых серия экспериментов проводится на протяжении длительного времени.

3. Постановка эксперимента и результаты.

Нами было проведено две серии экспериментов на крысах с привитой карциномой Герена.

В ходе проведения первой серии опытов экспериментальные животные распределялись на группы таким образом:

– I группа (контрольная) – животные, опухоли которых не подвергались никакому воздействию;

– II группа (опытная) – животные, опухоли которых подвергались ГВЧ-облучению в выбранном режиме;

– III группа (сравнительная) – животные, опухоли которых подвергались локальному рентгеновскому облучению.

Каждая контрольная и опытная группа состояла из 9–12 животных.

Морфологические исследования изменений клеток опухоли проводили на микроскопе

Axiolab Zeis (Германия) с помощью унифицированных методик после фиксации опухолевой ткани в 10 % растворе формальдегида [20].

На рис. 4 представлена морфологическая картина карциномы Герена, которая была сформирована у всех животных на первом этапе исследования.

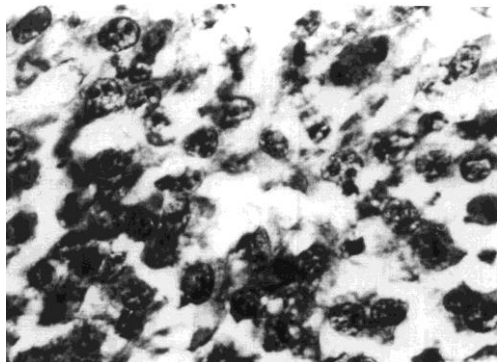


Рис. 4. Карцинома Герена, контрольная группа; митозы клеток в мета- и телофазах; гематоксилин – эозин, 10×100

В первой серии исследований облучения опухолей начинали через 10 дней после прививки, когда опухолевый узел четко пальпировался и его объем достигал средних размеров ($5,4 \pm 0,5$ см³).

В данной серии был испытан режим двукратного облучения животных с интервалом через два дня на третий.

Параметры излучения в первой серии опытов составляли: ГВЧ лазерное излучение с длиной волны 0,337 мм и плотностью потока мощности 1 600 мкВт/см² (доза 1,44 Дж/см²); площадь облучения – 1 см². Облучению поддавалась зона роста опухоли. На рис. 5 представлены морфологические изменения, произошедшие в структуре тканей после воздействия ГВЧ-облучением зоны роста опухоли.

Для проведения сравнительных исследований в данной серии опытов использовали и локальное фракционное рентгеновское облучение зоны роста опухоли. Рентгеновское облучение проводили на аппарате РУМ-17 при следующих условиях: сила тока – 15 мА, напряжение – 150 кВ, фильтр – 0,5 мм Си, коэффициент распределения дозы в воздухе – 0,97. Поглощенная доза рентгеновского облучения на фракцию составляла 5 Гр, суммарная поглощенная доза на зону роста опухоли – 10 Гр.

На рис. 6 представлены морфологические изменения в структуре тканей вследствие использования локального фракционного рентгеновского облучения зоны роста опухоли.

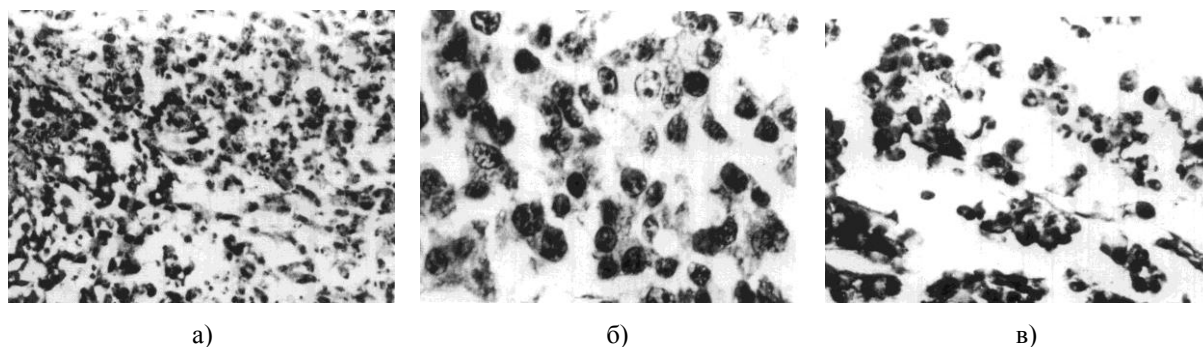


Рис. 5. Карцинома Герена после ГВЧ-облучения; гематоксилин – эозин, 10×20: а) – отдельные клетки с гомогенною оксифильной цитоплазмой и хромосомной пластинкой в середине; б) – клетки с фрагментированным ядерным хроматином и уменьшенной гранулированной цитоплазмой; в) – фрагментированные ядра камбиальных клеток

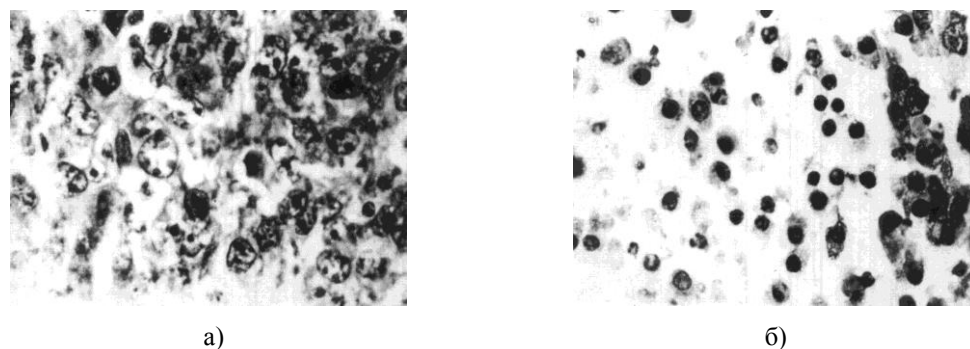


Рис. 6. Карцинома Герена, рентгеновское облучение; гематоксилин – эозин, 10×100: а) – клетки с увеличенными просветами в центре ядер и поврежденными ядерными оболочками; б) – камбиальные клетки с гиперхромным ядром и узкой полоской цитоплазмы

Во второй серии опытов ГВЧ-облучения животных начинали через 5 дней после перепрививки опухоли, когда опухолевый узел слабо пальпировался и невозможно было оценить его диаметр. Использовали режим ежедневного ГВЧ-облучения зоны роста опухолей в течение 7 дней с плотностью потока облучения 400 мкВт/см^2 . В данной серии оценивали динамику роста опухоли и среднюю выживаемость животных в условиях опыта.

Животных распределяли на две группы по 9–12 животных:

– I группа (контрольная) – животные, опухоли которых не подвергались никакому воздействию;

– II группа (опытная) – животные, опухоли которых подвергались ГВЧ-облучению в избранном режиме.

В табл. 1 приведены результаты первой серии опытов по определению динамики роста карциномы Герена в условиях применения режима двукратного ГВЧ- и рентгеновского облучения зоны роста опухоли с интервалом между сеансами два дня. Как видно из приведенных данных, ГВЧ- и рентгеновское облучение вызывали торможение роста опухоли, но используемые типы облучения отличались по эффективности действия в зависимости от времени после воздействия.

Таблица 1
Динамика роста карциномы Герена при двухразовом ГВЧ- и рентгеновском излучении с интервалом между сеансами 2 сут (1 серия исследований)

Группы	Средний объем опухоли (см^3) в зависимости от срока наблюдения, сут				
	10 (до облучения)	12 (после первого сеанса облучения)	15 (после второго сеанса облучения)	21 (10 суток после двух сеансов облучения)	30 (20 суток после двух сеансов облучения)
Группа I (контроль)	$5,7 \pm 0,5$	$8,6 \pm 0,8$	$15,5 \pm 1,4$	$32,7 \pm 1,4$	$45,6 \pm 2,9$
Группа II (ГВЧ-облучение)	$5,3 \pm 0,3$	$7,8 \pm 0,5$ ($p = 0,4$)	$12,2 \pm 0,9$ ($p = 0,4$)	$24,5 \pm 1,9^*$	$33,5 \pm 2,1^*$
Группа III (рентгеновское облучение)	$5,2 \pm 0,3$	$7,8 \pm 0,4$ ($p = 0,4$)	$10,5 \pm 0,8$ ($p = 0,1$)	$17,6 \pm 1,9^*$	$29,1 \pm 2,3^*$

* – достоверность отличий по сравнению с контролем ($p < 0,05$)

Сравнительная оценка влияния ГВЧ- и рентгеновского облучения по показателям замедления роста опухоли (ЗРО, %) приведена в табл. 2.

Таблица 2
Замедление роста карциномы Герена при двухразовом ГВЧ- и рентгеновском облучении с интервалом между сеансами 2 сут (1 серия исследований)

Группы	Величина ЗРО (%) в зависимости от сроков наблюдения, сут			
	10–12	12–15	15–21	21–30
Группа II (ГВЧ-облучение)	9,1	20,9	25,1	26,5
Группа III (рентгеновское облучение)	9,9	32,3	46,2	36,2

Как видно из приведенных данных, отставание роста опухоли относительно контроля, особенно в ранние сроки после облучения, было

более выражено после действия рентгеновского облучения, и показатель ЗРО, % составлял 32,3 и 46,2, а после действия ГВЧ-облучения данный показатель составил соответственно 20,9 и 25,1. На конечном этапе исследований темпы роста опухоли снижались и снижение ее роста (%) под воздействием ГВЧ-облучения составляло 26,5 и рентгеновского облучения 36,2.

Результаты второй серии экспериментов при условии ежедневного использования ГВЧ-облучения в течение 7 дней приведены в табл. 3.

Следует отметить, что в группе животных, которым проводили ГВЧ-облучение, улучшались показатели выживаемости по сравнению с контрольной группой. Средняя продолжительность жизни в группе контрольных животных составила ($28,2 \pm 1,8$) сут, а в группе животных, которые подвергались ГВЧ-облучению – ($34,5 \pm 2,1$) сут.

Из приведенных данных следует, что двухразовое ГВЧ-облучение замедлило темпы роста опухоли. При этом эффективность ГВЧ-

облучения оказалась ниже, чем у рентгеновского, однако на конечном этапе наблюдения разница темпов роста опухоли после этих двух типов облучения снижается. Использование ежедневного ГВЧ-облучения, напротив, способствовало уско-

рению темпов роста опухоли, однако средняя продолжительность жизни лабораторных животных при этом возросла. Полученные результаты, очевидно, требуют более пристального внимания и дальнейшего изучения.

Таблица 3

Динамика роста карциномы Герена при ежедневном ГВЧ-облучении на протяжении 7 сут (2 серия исследований)

Группы	Средний объем опухоли (см ³) в зависимости от срока наблюдения, сут			
	5	15	21	30
Группа I (контроль)	1,6 ± 0,3	9,1 ± 0,9	24,2 ± 3,2	35,3 ± 3,9
Группа II (ГВЧ-облучение)	1,5 ± 0,2	12,5 ± 1,6 (<i>p</i> = 0,47)	32,7 ± 3,1 (<i>p</i> = 0,08)	45,8 ± 3,6 (<i>p</i> = 0,07)

Выводы. Таким образом, разработанная медицинская лазерная терагерцевая аппаратура позволяет проводить медицинские исследования в области онкологии. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии ГВЧ-излучения на темпы опухолевого роста и сильной зависимости этого влияния от методики облучения. Разработка оптимальных схем и режимов использования этого вида облучения требует дополнительных исследований.

Библиографический список

1. *Hyperthermic Oncology* / Ed. C. F. G. Arcangeli and R. Cavaerire // Proc. 7th Intern. Congr. on Hyperthermic Oncology. – Roma, 1996. – Vol. II. – 454 p.
2. *Biological effects of PEME (pulsing electromagnetic field): an attempt to modify cell resistance to anticancer agents* / P. Pasquinelli, M. Petrini, L. Mattii et al. // J. Environ Pathol Toxicol Oncol. – 1993. – 12, N 4. – P. 193–197.
3. *КВЧ-излучение в клинической онкологии* / С. Д. Плетнев, Н. Д. Девятко, М. Д. Голант и др. // Междунар. симп. Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: сб. докл. – М., 1991. – Ч. 1. – С. 32–42.
4. *Чехун В. Ф.* Влияние электромагнитных полей крайне низких частот на биологические объекты / В. Ф. Чехун, Ю. К. Сидорук, Р. И. Булькевич // Радиоэлектрон. – 1996. – 39, № 7–8. – С. 13–25.
5. *Anderson L. E.* Effect of 13 week magnetic field exposure in a DMBA initiation-promotion mammary gland carcinomas in female Sprague-Dawley rats / L. E. Anderson, G. A. Boorman, J. E. Morris // Carcinogenesis. – 1999. – 20, N 8. – P. 1615–1620.
6. *Чехун В. Ф.* Экспериментальное обоснование использования электромагнитных излучений КВЧ-диапазона в качестве модификатора биологического действия цисплатина / В. Ф. Чехун, Н. Л. Новиченко, Г. Н. Лихацкая // Экспериментальная онкология. – 1993. – 15, № 3. – С. 75.
7. *Simko M.* Effects of 50 Hz EMF exposure on micronucleus formation and apoptosis in transformed and nontransformed human cell lines / M. Simko, R. Kriehuber, D. G. Weiss // Bioelectromagnetics. – 1998. – 19, N 2. – P. 85–91.
8. *Natira K.* Induction of apoptotic cell death in human leukemic cell line, HL-60, by extremely low frequency electric magnet-

- ic fields: analysis of the possible mechanisms in vitro / K. Natira, K. Hanakawa, T. Kasahara // Bioelectromagnetics. – 1997. – 11, N 4. – P. 329–336.
9. *Маколинец В. И.* Применение субмиллиметровой лазерной техники в экспериментальной иммунологии / В. И. Маколинец, В. К. Киселев // Вісн. проблем біології і медицини. – 1999. – № 5. – С. 45–48.
10. *Маколинец В. И.* Возможность применения когерентного ГВЧ-излучения для регулирования обменных процессов в организме / В. И. Маколинец, В. К. Киселев // Вісн. проблем біології і медицини. – 1999. – № 5. – С. 102–104.
11. *Wilmink G. J.* Invited Review Article: Current State of Research on Biological Effects of Terahertz Radiation / G. J. Wilmink, J. E. Grundt // J. Infrared Milli Terahz Waves. – 2011. – 32, N 10. – P. 1074–1122.
12. *Гипервысокочастотная лазерная установка для биомедицинских исследований* / В. К. Киселев, Е. М. Кулешов, В. П. Радионов и др. // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2002. – 7, № 1. – С. 133–136.
13. *Development of a hyperhigh-frequency laser installation and the possibilities of its application to correction of support-motor apparatus disorders* / V. K. Kiseliyov, Ye. M. Kuleshov, F. S. Leontyeva et al. // Proc. 5th Intern. Symp. Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'2004). – Kharkov, 2004. – Vol. 2. – P. 868–870.
14. *Influence of low-energetic submillimeter laser radiation on posttraumatic skin wounds* / V. K. Kiseliyov, Ye. M. Kuleshov, V. I. Makolinet et al. // Proc. 6th Intern. Symp. Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'2007). – Kharkov, 2007. – Vol. 2. – P. 907–909.
15. *Пат. 86298 Україна, МПК Н 01 S 3/00.* Газорозрядний субміліметровий лазер / В. К. Кисельов, В. П. Радіонов. – № a200709205; заявл. 13.08.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
16. *А. с. СССР.* Диэлектрический лучевод субмиллиметрового диапазона волн / А. Н. Ахизер, А. И. Горшко, Б. Н. Князьков и др. – № 302054. – 1972. – Бюл. № 8.
17. *Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн* / А. Я. Усиков, Э. А. Канер, И. Д. Трутьев и др.; под ред. А. Я. Усикова. – К.: Наук. думка, 1986. – 368 с.
18. *Малых Н. И.* Высокостабильный долговечный HCN-лазер / Н. И. Малых, А. Г. Нагорный, Е. С. Ямпольский // Приборы и техн. эксперимента. – 1980. – № 5. – С. 200–202.
19. *Belland P.* Compact CW HCN Laser With high stability and power output / P. Belland, D. A. Veron // Opt. Commun. – 1973. – 9, N 2. – P. 146–148.

20. Матвієнко А. В. Морфологічні дослідження на етапі доклінічного виховання лікарських засобів: метод. рек. / А. В. Матвієнко, Л. В. Степанова. – К., 2001. – 33 с.

Рукопись поступила 17.12.2011

V. K. Kiseliyov, V. I. Makolinets,
N. A. Mitryaeva, V. P. Radionov

APPLICATION OF TERAHERTZ LASER
TECHNOLOGY TO INVESTIGATE
THE INFLUENCE OF HFO RADIATION
ON THE TUMOR PROCESS

There was conducted a research about the influence of terahertz laser radiation of hyper-high-frequency (HHF) range on the tumor processes in the organisms of laboratory animals. The way to improve long-term stability of gas-discharge HFO-lasers by use selective thermal stabilization of the resonator was designed for the research. This simplified the conduct of medical research in the clinical setting in which new results were obtained.

Key words: terahertz radiation, HCN-laser, tumor processes, radiotherapy, physiotherapy.

В. К. Кисельов, В. І. Маколінець,
Н. О. Митряєва, В. П. Радіонов

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРАГЕРЦОВОЇ
ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВПЛИВУ ГВЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ
НА ПУХЛИННІ ПРОЦЕСИ

Проведено дослідження впливу терагерцевого лазерного випромінювання гіпервисокочастотного (ГВЧ) діапазону на пухлинні процеси в організмах лабораторних тварин. Для проведення досліджень розроблено спосіб підвищення довгострокової стабільності газорозрядного ГВЧ-лазера на основі вибіркової термостабілізації резонатора. Це спростило проведення медичних досліджень у клінічних умовах, у ході яких отримано нові результати.

Ключові слова: терагерцеве випромінювання, HCN-лазер, пухлинні процеси, променева терапія, фізіотерапія.