

## Терапия ковидных осложнений с помощью терагерцевого излучения

© Н.Т. Баграев,<sup>1,2</sup> П.А. Головин,<sup>1</sup> Л.Е. Клячкин,<sup>2</sup> А.М. Маляренко,<sup>2</sup> А.П. Преснухина,<sup>3</sup> А.С. Реуков,<sup>3</sup>  
В.С. Хромов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251 Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова,  
197341 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: yellowcat0101@gmail.com

Поступило в Редакцию 6 января 2022 г.

В окончательной редакции 8 марта 2022 г.

Принято к публикации 9 марта 2022 г.

Представлены результаты использования терагерцевого (THz) излучения, генерируемого кремниевым наносандвичем в условиях стабилизированного тока исток–сток, в терапии ковидных осложнений. THz-излучение было применено в дополнение к медикаментозной терапии для лечения больных COVID-19, что позволило сократить пребывание пациента в отделении интенсивной терапии, сократить время интубации пациента и пребывания на ИВЛ, уменьшить радиологическую и фармакологическую нагрузку на пациента. Получено представление о резонансном отклике живой биоткани на THz-излучение, что позволило сформировать требования к параметрам излучения в зависимости от характеристик исследуемой биоткани. Определены характеристики резонансных частот для легочных альвеол, что позволило разработать и использовать предлагаемый метод лечения для терапии пневмонии, вызванной COVID-19.

**Ключевые слова:** кремниевый наносандвич, квантовый эффект Фарадея, терагерцевое излучение, COVID-19.

DOI: 10.21883/JTF.2022.07.52648.7-22

### Введение

В последние годы исследования материалов и наноструктур на их основе продемонстрировали наличие макроскопических квантовых эффектов при высоких температурах вплоть до комнатной [1–4]. Возможность наблюдения данных эффектов возникает из-за нейтрализации электрон-электронного взаимодействия на краевых каналах наноструктур, благодаря чему возникают высокотемпературные осцилляции Шубникова–де Гааза, де Гааза–ван Альфена, квантовая лестница сопротивления Холла и продольная квантовая лестница проводимости [1–4]. Данные эффекты наблюдались в графене, в ряде родственных ему топологических изоляторах и сверхпроводниках [5,6], а также в кремниевых наноструктурах на основе 6H–SiC и CdF<sub>2</sub>, краевые каналы которых были ограничены цепочками, состоящими из центров с отрицательной корреляционной энергией [1–4]. Следует отметить, что нейтрализация электрон-электронного взаимодействия в краевых каналах также наблюдается в случаях, когда они ограничены цепочками из *d*- или *f*-элементов [7,8]. По-видимому, покрытия, состоящие из *negative-U* дипольных центров, вносят большой вклад в возникновение макроскопических квантовых явлений при высоких температурах [1–4]. Среди наблюдаемых макроскопических квантовых явлений особую роль играет квантовый эффект Фарадея, который, как было обнаружено, приводит к захвату одиночных квантов магнит-

ного потока в краевые каналы, содержащие одиночные носители, что является причиной генерации излучения в частотном диапазоне THz и GHz в зависимости от длины краевых каналов [9,10]. Было показано, что возможно регулирование частотных и амплитудных характеристик не только путем варьирования размерных параметров краевых каналов, но также за счет включения в них различных систем микрорезонаторов [9]. Таким образом, были разработаны различные варианты компактных источников терагерцевого излучения, которые широко используются в практической медицине [9,10].

Следует отметить, что THz-излучение находит все большее применение в мировой терапевтической практике [11]. Более того, дальний инфракрасный (ИК) и THz-диапазоны включают в себя излучение с длиной волны от 10 до 1000  $\mu\text{m}$  соответственно с частотой от 300 GHz до 30 THz, поэтому для его однозначной характеристики обычно указывается конкретная частота или длина волны. Кроме того, сочетание GHz, THz и ИК излучения представляет наибольший интерес для прямого терапевтического воздействия на биологические ткани, поскольку ИК-излучение может стимулировать важнейшие биохимические реакции в организме человека, при этом THz составляющая излучения обеспечивает резонансное увеличение этого эффекта за счет „встряивания“ связей в белковых молекулах [2,4,9,11], а модуляция GHz влияет на продольные

колебания ДНК-олигонуклеотидов [4,9]. Выбор частоты THz-излучения кремниевых наносандвичей (КНС) позволяет решить одну из наиболее значимых практических задач, стоящих перед молекулярными биологами — поиск наиболее эффективного способа идентификации коротких цепей ДНК. Идентификация цепей нуклеотидов, называемых олигонуклеотидами, находит широкое применение в таких сферах, как генетическое тестирование, судебная медицина и амплификация ДНК [12]. В дополнение к вышесказанному частотная селекция THz ДНК-олигонуклеотидов является важным шагом для внедрения персонализированной медицины при лечении тяжелых генетических заболеваний.

Комбинация ИК–THz-излучения и THz, GHz модулирующих частот может быть реализована аналогичным принципу синхронного детектирования способом. Принцип синхронного детектирования нашел применение в радиотехнике для диапазона радиоволн, в котором коротковолновое излучение (высокочастотное) модулируется длинноволновым (низкочастотным), т.е. более коротковолновое THz-излучение будет модулироваться длинноволновыми GHz-частотами. С теоретической точки зрения преимущество такого направления на стыке наук очевидно, однако до недавнего времени технологическая реализация компактных источников THz-излучения не представлялась возможной. В последнее время такие источники были разработаны на основе краевых каналов КНС [9]. Такое устройство способно генерировать излучение с длинами волн 1–700  $\mu\text{m}$  с THz-модуляцией в диапазоне 40 GHz–3.5 THz во всем спектре излучения [9,10]. Данный источник THz-излучения уже нашел применение в различных областях практической медицины, а также показал высокую эффективность в физиотерапии широкого круга заболеваний, в том числе в терапии ковидных осложнений.

## 1. Кремниевый источник THz-излучения

В настоящей работе использовалась КНС, служащая THz-излучателем для терапии постковидных осложнений. КНС представляет собой сверхузкую кремниевую квантовую яму *p*-типа, ограниченную  $\delta$ -барьерами, сильно легированными бором ( $5 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ) на поверхности *n*-кремния (100) (рис. 1). Атомы бора в  $\delta$ -барьерах образуют тригональные дипольные центры с отрицательной корреляционной энергией ( $V^+ - V^-$ ) вследствие *negative-U* реакции:  $2B^0 \rightarrow V^+ + V^-$  [2,3]. Благодаря этому факту электрон-электронное взаимодействие внутри краевых каналов значительно подавлено, вследствие чего макроскопические квантовые процессы, включая излучение и прием в THz-диапазоне, могут осуществляться при комнатной температуре. Также предварительные исследования показали, что в условиях стабилизированного тока исток–сток КНС является источником

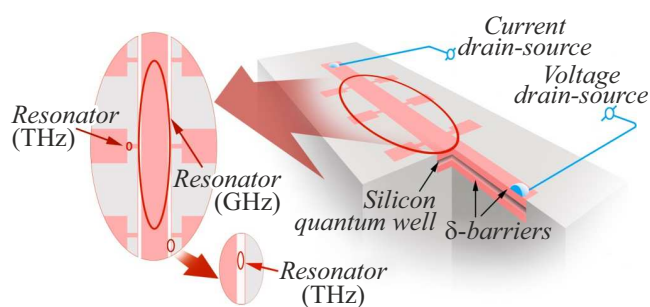


Рис. 1. Кремниевая наноструктура, используемая в качестве генератора модулированного THz-излучения для терапии ковидных осложнений.

THz-излучения, характеристики которого могут контролироваться как величиной протекающего тока, так и с помощью напряжения, приложенного к вертикальным затворам. При этом в краевые каналы, которые являются реальными источниками излучения, с помощью фотолитографии встроены микрорезонаторы на различные длины волн THz- и GHz-диапазона (рис. 1).

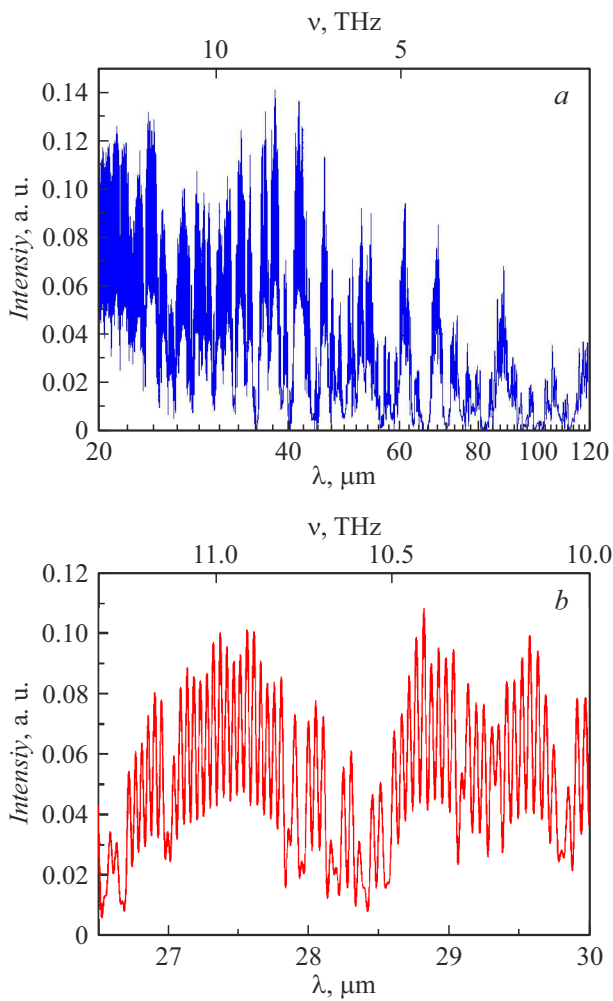
При помощи фурье-спектрометра Bruker Vertex 70 были исследованы спектры электролюминесценции КНС, используемых в качестве источника THz-излучения для терапии различных заболеваний. При пропускании через КНС продольного тока  $I_{ds}$  (исток–сток) в миллиамперном диапазоне наблюдался спектр излучения в среднем и дальнем ИК- и THz-диапазонах [9]. Примеры спектров излучения представлены на рис. 2.

Ниже предлагается модель генерации THz-излучения из краевых каналов КНС.

Из магнетопольных зависимостей продольного напряжения  $U_{xx}$  КНС [2,3] следует экспериментальное значение периода осцилляций типа Ааронова–Бома (АБ):  $\Delta B = 0.125 \text{ T}$ , откуда можно оценить продольный размер  $l_0$  области краевого канала, в которой происходит интерференция одиночного носителя:

$$l_0 = \frac{\Phi_0}{\Delta B d_0}, \quad (1)$$

где  $\Phi_0 = h/e$  — квант магнитного потока, а в качестве ширины  $d_0$  краевого канала можно рассматривать значение 2.0 nm, указанное в работах [2,3] как характерное расстояние между барьерами, содержащими дипольные центры бора с отрицательной корреляционной энергией, которые формируют краевые каналы, ограничивающие сверхузкую квантовую яму. Отсюда получается значение  $l_0 \approx 16 \mu\text{m}$ . Можно заключить, что краевой канал исследуемой структуры состоит из областей интерференции одиночных носителей, принимая во внимание значение их двумерной плотности, определенное из холловских измерений, —  $3 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$ . Действительно, данное значение двумерной плотности соответствует расстоянию между носителями (дырками) в краевом канале  $\approx 16 \mu\text{m}$ . Таким образом, каждая область краевого



**Рис. 2.** Фрагменты широкополосного спектра модулированного THz-излучения из КНС, демонстрирующие модуляцию частотами: *a* — 1 THz, *b* — 20 GHz.

канала, содержащая одиночный носитель („пиксела“) состоит из содержащих диполи бора слоев размера  $S_{pixel} = 16 \mu\text{m} \times 2.0 \text{nm}$ , по которым туннелирует носитель; двумя этими слоями ограничивается сердцевина квантовой ямы шириной и высотой примерно равными 2.0 nm, поскольку в процессе легирования образца бором профиль концентрации последнего меняется на расстояниях порядка 2 nm по данным измерений осцилляций де Гааза–ван Альфена (дГВА) [1,3].

Следует отметить, что при этом на площади  $S_{xx}$  краевого канала между *xx*-контактами  $S_{xx} = 2000 \mu\text{m} \times 2.0 \text{nm} = 4 \cdot 10^{-12} \text{m}^2$  имеется  $\sim 125$  одиночных носителей, что соответствует значению двумерной плотности  $n_{2D} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{m}^{-2}$ . Данное значение согласуется с величиной, полученной из измерений полевых зависимостей магнитной восприимчивости и холловских измерений [1].

Подобные области-пиксели проявляют свойство квантованной проводимости [1]. Поэтому краевой канал может рассматриваться как баллистический, в котором

каждая из пиксел может характеризоваться сопротивлением, равным кванту сопротивления  $h/(e^2)$ . Кроме того, если принять во внимание возможность сильного подавления электрон-электронного взаимодействия вследствие отмеченного выше высокого давления порядка сотен GPa на границе кремниевая подложка–цепочки центров с отрицательной корреляционной энергией, возможно формирование пиксел удвоенной длины, содержащих пару носителей с вероятной реализацией джозефсоновского перехода вблизи границы пиксел. Причем пиксели удвоенной длины характеризуются сопротивлением, равным  $h/(4e^2)$ .

Исходя из вышесказанного, можно привести оценки процесса генерации излучения. Пропускаемый через структуру продольный ток  $I_{ds}$  создает магнитное поле  $B$ . Это поле можно оценить, приняв во внимание возможность для  $I_{ds}$  образовывать контуры. В модели витка с током

$$B \approx \mu_0 \frac{I_{ds}}{2r}, \quad (2)$$

где эффективный радиус  $r$  связывается соотношением  $r = \sqrt{S/\pi}$  с площадью  $S$ , которую охватывает контур.

Таким образом, пропускание продольного тока вызывает появление потока  $\Phi = BS$  на площади  $S$  и изменение потока  $\Delta\Phi$  в находящейся внутри этой площади индивидуальной пикселе удвоенной длины; в ней этот процесс приводит также к возникновению генерационного тока:

$$I_{gen} = \frac{U_{xy}}{R_{pixel}}, \quad (3)$$

где  $R_{pixel} = h/(4e^2)$  для случая пиксели удвоенной длины, а величина  $U_{xy}$  — есть напряжение, измеренное на *xy*-контактах структуры в зависимости от  $I_{ds}$ . Результаты таких измерений дают величину  $U_{xy} = 3.5\Omega \cdot I_{ds}$ .

Частота испускаемого излучения может быть найдена в соответствие с формулой Фарадея:

$$I_{gen} = \frac{\Delta E}{\Delta\Phi} = \frac{h\nu}{\Delta\Phi}. \quad (4)$$

Изменение потока в индивидуальной пикселе удвоенной длины

$$\Delta\Phi = \frac{m}{N} \Phi_0 \quad (5)$$

зависит от их числа  $N = S/(2S_{pixel})$  внутри площади  $S$  и от числа  $m$  квантов потока  $\Phi_0 = \frac{h}{2e}$ , которые захватываются на  $N$  пиксел;  $m$  принимает значения  $1, 2, \dots, \frac{BS}{h/(2e)}$ , последнее из которых отвечает равномерному заполнению. Частота при этом равна

$$\nu = I_{gen} \cdot \frac{m}{N} \cdot \frac{1}{2e}. \quad (6)$$

В случае  $I_{ds} = 30 \text{mA}$ , если контур  $I_{ds}$  охватывает площадь краевого канала

$$S_{ds} = 4700 \mu\text{m} \times 2.0 \text{nm} = 9.4 \cdot 10^{-12} \text{m}^2,$$

то значение частоты при минимальном изменении потока соответствует 9.3 GHz. Если контур  $I_{ds}$  охватывает площадь пикселя

$$S_{device} = 16 \mu\text{m} \times 2.0 \text{ nm} = 32 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2,$$

то в этих условиях значение частоты при минимальном изменении потока соответствует 2.8 THz. Полученные значения хорошо согласуются с величинами частот, которые обнаруживаются при детальном изучении особенностей полученных спектров электролюминесценции [9].

Так, в среднем (до  $27 \mu\text{m}$ ) и дальнем (до  $333 \mu\text{m}$ ) ИК-диапазонах длин волн на спектрах присутствуют модуляции. В модели резонаторов Фабри–Перо расстояние  $\Delta\nu$  между соседними пиками связывается с геометрической длиной  $L_0$  резонатора:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L_0n}, \quad (7)$$

где  $c$  — скорость света в вакууме,  $n$  — показатель преломления среды. Обнаруженные особенности соответствуют величинам модуляционных частот  $\Delta\nu = 9.3 \text{ GHz}$  и  $2.8 \text{ THz}$  [9].

Основополагающими в настоящей работе являлись частоты модуляции 1 THz и 20 GHz (рис. 2). В связи с тем что излучение в THz-диапазоне полностью гасится кожным покровом, а его энергия уходит на разогрев эпителиальных тканей, изначально использование THz-излучения при больших значениях частоты не представлялось возможным для решения поставленных задач. С другой стороны, использование широкополосного спектра излучения, модулированного в гигагерцевом диапазоне, позволяет добиться проникающего эффекта, что приводит к возникновению резонансных процессов в биотканях человека, в частности тканей легочных альвеол, что, в свою очередь, обеспечивает эффективную терапию пневмонии. В настоящей работе в качестве несущих использовались частоты в интервале от 2.2 до 3.4 THz. При этом в качестве частот модуляции использовались частоты со значениями 1.0 THz и 20 GHz. В первом случае нужное значение частоты модуляции достигалось с помощью варьирования напряжения индивидуального затвора, приложенного к пикселям, а во втором — при использовании микрорезонаторов длиной 2 nm, встроенных в рамках кремниевой фотолитографии в краевые каналы КНС (рис. 1, 2).

Данный выбор значений модуляционных частот определялся строением легочной системы бронхов, отдельные части которой представляют собой самоупорядоченную систему микрорезонаторов. Так, бронхиальное дерево состоит из бронхиол, которые представляют собой микрорезонаторы с частотами, значения которых соответствуют интервалу вблизи 20 GHz. Наибольший интерес представляют модуляционные частоты, значения которых соответствуют микрорезонаторам на основе альвеол. Именно интервал, охватывающий величину около 1 THz, соответствует данной задаче, и именно

воздействие данной модуляционной частоты позволяет стимулировать проникновение кислорода в эритроциты в артериальных каналах с последующим их транспортом. Вышесказанное определяет актуальность проводимого исследования, которое заключалось в резонансном воздействии модулированного THz-излучения на самоупорядоченную систему микрорезонаторов бронхиального дерева с целью стимуляции транспорта кислорода из внешней среды.

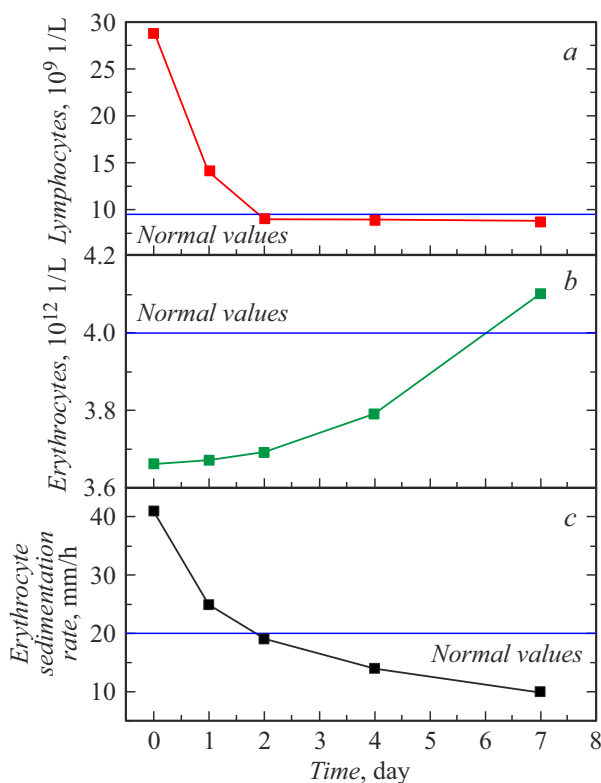
## 2. Использование THz-излучения в пульмонологии

Развитие легочных осложнений ухудшает состояние кардиохирургических больных, требует дополнительных лечебных и диагностических мероприятий, увеличивает фармакологическую нагрузку, увеличивает продолжительность пребывания в стационаре и может привести к летальному исходу. Поэтому в Национальном медицинском исследовательском центре им. В.А. Алмазова (Санкт-Петербург) проанализирована возможность и доказана эффективность применения THz-излучения, генерируемого аппаратом „ИК-Диполь“, для лечения легочной патологии, возникающей вследствие развития внутрибольничной пневмонии и вентилятор-ассоциированной пневмонии у пациентов на ранних стадиях после кардиохирургических операций.

Наблюдательное ретроспективное открытое сравнительное исследование с псевдоконтролем („основная группа–контрольная группа“) было проведено на базе реанимационного отделения сердечно-сосудистой хирургии, куда поступали пациенты после аортокоронарного шунтирования и/или протезирования сердечного клапана. В исследование включены пациенты с запущенными осложнениями в виде очаговых инфильтративных изменений в легких (НП и ВАП). Были выделены две группы: группа, в которой помимо медикаментозной терапии проводилось воздействие THz-излучения с помощью аппарата „ИК-Диполь“ на акупунктурную точку Да-бао (RP 21), и контрольная группа, получавшая стандартное лечение.

Сравнительный анализ эффективности аппарата „ИК-Диполь“ для лечения пневмоний различной этиологии представлен в работе [9]. Было показано, что ранее (в первые сутки) использование THz-излучения позволило сократить время пребывания пациента в реанимации на 4–8 дней; снизить радиологическую и фармакологическую нагрузку на пациента; сократить время интубации пациента и нахождения его на ИВЛ на 4–8 дней; увеличить шансы на благоприятный прогноз у пациентов с факторами риска; начать реабилитационные мероприятия на 4–8 дней раньше.

В качестве характерного клинического примера эффективности применения THz-излучения на рис. 3 приведена динамика изменения основных показателей крови при лечении пневмонии с помощью THz-облучения в



**Рис. 3.** Характерный пример изменения основных показателей крови при лечении пневмонии с помощью ТНз-облучения в сочетании со стандартной медикаментозной методикой: *a* — белые кровяные клетки, *b* — красные кровяные клетки, *c* — скорость оседания эритроцитов.

сочетании со стандартной медикаментозной методикой у пациента с ишемической болезнью сердца, атеросклерозом коронарных артерий, стенокардией, гипертонической болезнью. Пациенту были сделаны стернотомия, аортокоронарное шунтирование сердца, трансплантация вены к тупой маргинальной артерии, диагональной артерии, правой коронарной артерии, с искусственным кровообращением и кровяной кардиоopleгией. Послеоперационное течение было крайне тяжелым, с сердечно-сосудистой и дыхательной недостаточностью, нарушением обмена веществ, двусторонней нижнедолевой пневмонией, септическим состоянием. В результате добавления к медикаментозной терапии ТНз-облучения с использованием аппарата „ИК-Диполь“ удалось через 5 суток снять пациента с аппарата ИВЛ и в течение 8 суток привести в норму основные показатели крови.

### 3. Использование ТНз-излучения при новом виде коронавирусной инфекции, осложненной пневмонией

В данном исследовании 12 пациентов в возрасте от 44 до 67 лет с диагнозом U07.1+J12.8 динамически на-

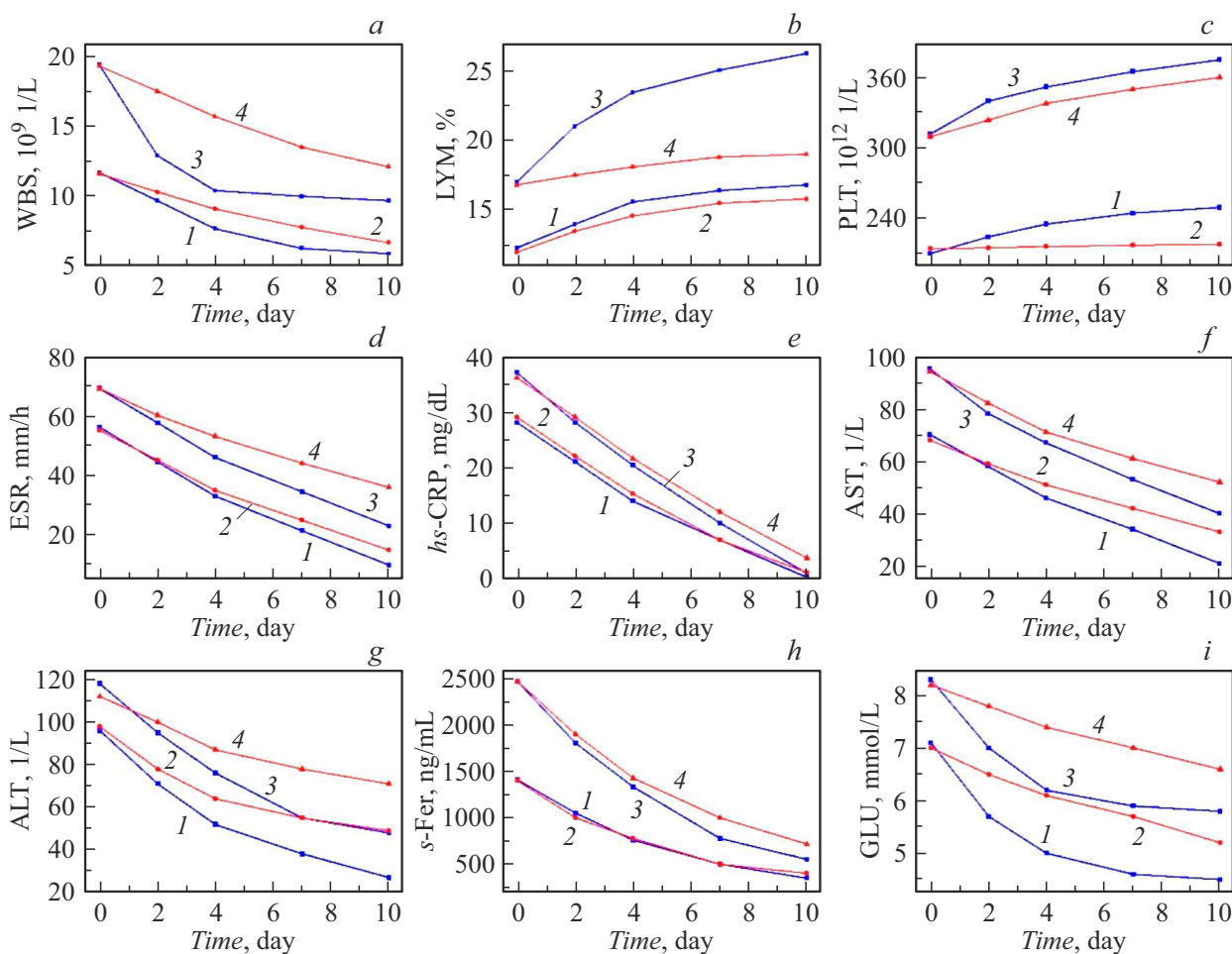
блюдались в раннем реабилитационном периоде на стационарном этапе. Больные, жители Санкт-Петербурга, были госпитализированы в медицинские учреждения города с признаками дыхательной недостаточности, сухого кашля, слабости и гипертермии. После госпитализации диагноз „COVID-19, вирус выявлен“ подтвердился. По результатам компьютерной томографии (КТ), по показателям клинико-биохимических анализов крови (с маркерами воспалительных процессов) диагноз уточнен и дополнен внебольничной двусторонней полисегментарной пневмонией и дыхательной недостаточностью I степени как осложнения основного заболевания.

Пациенты, обследованные с учетом возраста, пола, основного диагноза, осложнений и клинических симптомов, были разделены на две группы, сравнимые по этим параметрам: основную группу и контрольную группу. Пациенты обеих групп получали антибактериальную, противовоспалительную, симптоматическую, противовирусную и гастропротекторную терапию. Помимо фармакотерапии в раннем реабилитационном периоде, больным основной группы проводился курс ежедневной ТНз-терапии на аппарате „ИК-Диполь“ в количестве 10–12 процедур. Пациенты обеих групп по 6 человек (3 мужчины и 3 женщины) были госпитализированы через 3–5 дней после ухудшения состояния. У них не было в анамнезе заболеваний щитовидной железы или изменений, характерных для патологии этого органа, выявленных при обследовании. Основными сопутствующими заболеваниями в группе были дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника без клинических симптомов, требующих медикаментозного лечения. У всех пациентов не было вредных привычек. По данным КТ у всех обследованных пациентов имелись множественные обширные сливающиеся очаги инфильтрации неправильной формы по типу „матовое стекло“ во всех сегментах обоих легких. Общий объем поражения превышал 50%. Данные клинико-лабораторных показателей крови в группах представлены на рис. 4.

Показаниями к началу применения ТНз-излучения в раннем реабилитационном периоде было отсутствие ухудшения (стабилизации) клинической симптоматики, улучшение клинико-лабораторных показателей крови и мочи. Также учитывалась оценка таких физиологических параметров, как аппетит, сон, диурез и дефекация пациентов. Учитывались также субъективные симптомы: настроение, наличие или отсутствие слабости, головных болей, головокружения, работоспособности. Субъективные симптомы оценивали по 10-балльной шкале Робсона (возрастание с увеличением значения). Динамика такой субъективной симптоматики для пациентов обеих групп представлена на рис. 5.

Во время ТНз-терапии использовался тест для контроля температуры акупунктурных точек, который успешно применяется при лечении вентилятор-ассоциированной пневмонии (ВАП) у кардиохирургических пациентов. С помощью бесконтактного ИК термометра измеряется температура поверхности кожи в проекции эпицентра





**Рис. 4.** Динамика (минимальных и максимальных в группе) клинических показателей крови пациентов основной группы, получавших дополнительную ТНз-физиотерапию, и пациентов контрольной группы: 1, 3 — основная группа; 2, 4 — контрольная группа.

множества репрезентативных точек акупунктуры, что позволяет сделать правильный выбор зоны облечения с помощью „ИК-Диполь“ для повышения эффективности терапии.

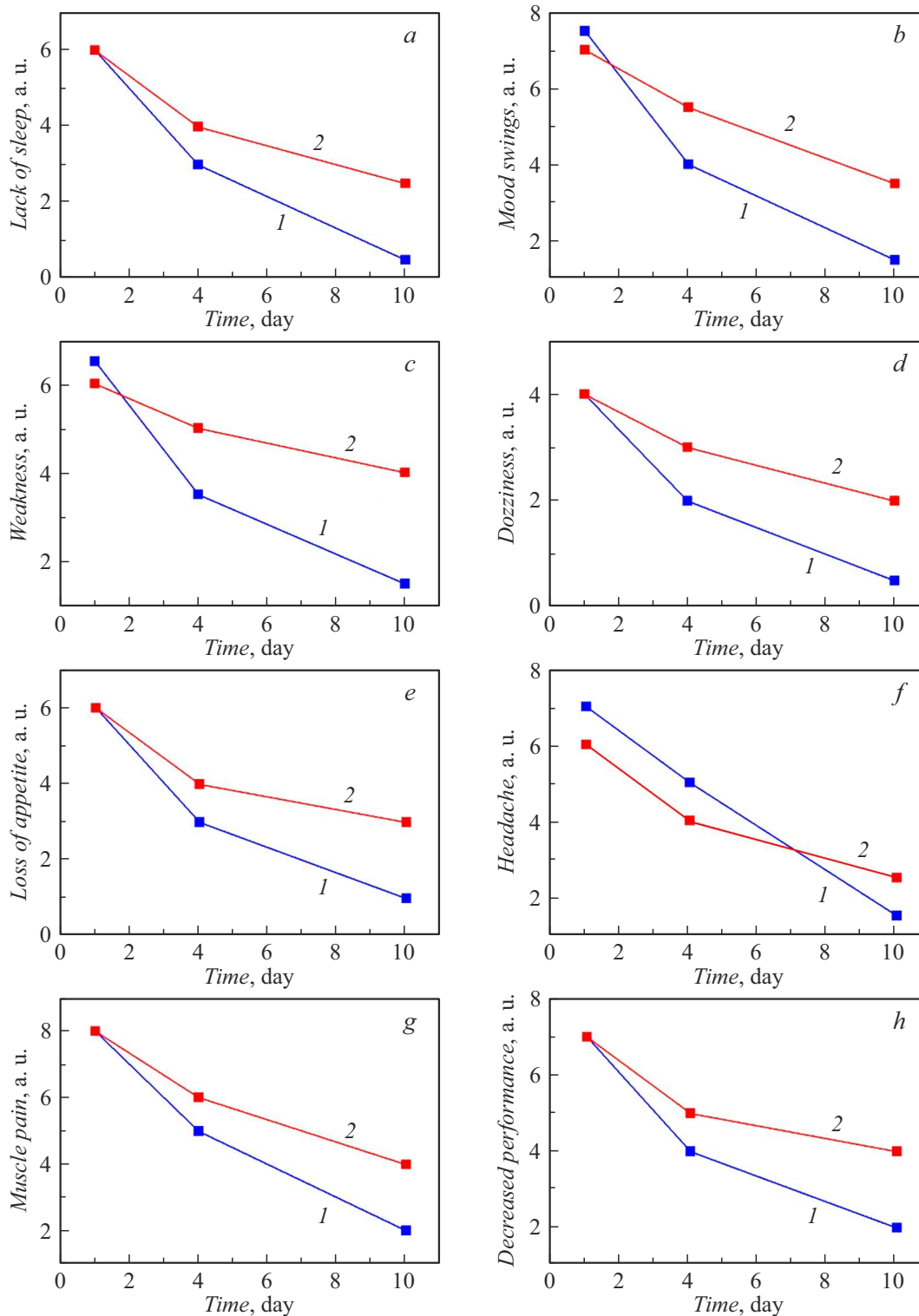
В ходе исследования было установлено, что температурные показатели анатомических структур щитовидной железы важны при оценке динамики течения осложнений коронавирусной инфекции и должны служить ориентиром при проведении процедур ТНз-облучения в виде курсового применения. Термометрию тела подмышек следует проводить с обеих сторон, принимая во внимание самые высокие показания.

По данным КТ в обеих исследуемых группах отмечено регулярное течение патологического процесса с положительной динамикой. Однако оказалось, что ТНз-облучение является важным дополнительным фактором благоприятного исхода коронавирусной инфекции с осложненной пневмонией. Учитывая разные варианты и направления фармакотерапии и методов интенсивной терапии, ТНз-облучение снижает побочные эффекты и способствует скорейшему выздоровлению пациентов

на этапе ранней реабилитации. К концу курса ТНз-терапии клинические и биохимические показатели крови практически у всех пациентов с myasthenia gravis (МГ) были в пределах нормы.

Все вышеизложенное указывает на перспективность использования ТНз-излучения для терапии пневмонии, вызванной коронавирусом. Поскольку коронавирус вызывает атипичную пневмонию с преимущественным поражением альвеол, воздействие ТНз-излучения может стимулировать транспорт белка в клетке, активировать ее защитные механизмы, а также препятствовать присоединению вириона к рецептору клетки [9]. Кроме того, ТНз-облучение приводит к спин-зависимому захвату кислорода ионами железа в геме, тем самым облегчая его транспорт и соответствующее насыщение крови кислородом (алая кровь).

Результаты были получены методом проточной флуоресцентной цитометрии с использованием модульного автоматического гематологического анализатора Sysmex XN-1000.



**Рис. 5.** Динамика средней субъективной оценки симптомов пациентов обеих групп: 1 — основная группа, 2 — контрольная группа.

## Заключение

Все вышеизложенное указывает на перспективность использования ТНЗ-излучения в медицинских целях как для терапии, так и для диагностики различных пато-

логий. Оказалось, что модулированное ТНЗ-излучение может быть также применено для создания медицинских устройств для специальной терапии и профилактики различных заболеваний, поскольку подавляющее большинство важнейших биохимических реакций в организме че-

ловека, по-видимому, усиливается оптической накачкой в этом спектральном диапазоне. Аппарат „ИК-Диполь“ который был сконструирован для воплощения этих идей в жизнь, генерирует модулированное THz-излучение в диапазоне длин волн 1–700  $\mu\text{m}$  с THz-модуляцией от 20 GHz до 1.5 THz. Устройство было разработано с использованием новейших достижений в рамках кремниевой планарной нанотехнологии. Данная методика имеет перспективы для создания нового инновационного направления — персонализированной медицины. Основанием персонализированной медицины послужат характеристические длины биологических соединений, а также возможность варьирования спектра источника излучения в зависимости от патологии и особенностей организма каждого отдельного пациента.

### Соблюдение этических стандартов

От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] N.T. Bagraev, V.Yu. Grigoryev, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, V.A. Mashkov, V.V. Romanov. ФТП, **50** (8), 1047 (2016). [N.T. Bagraev, V.Yu. Grigoryev, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, V.A. Mashkov, V.V. Romanov. Semiconductors, **50** (8), 1025 (2016). DOI: 10.1134/S1063782616080273]
- [2] Н.Т. Баграев, А.Л. Чернев, Л.Е. Клячкин, А.М. Маляренко, А.К. Емельянов, М.В. Дубина. ФТП, **50** (9), 1230 (2016). [N.T. Bagraev, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, A.L. Chernev, A.K. Emel'yanov, M.V. Dubina. Semiconductors, **50** (9), 1208 (2016). DOI: 10.1134/S1063782616090037]
- [3] N.T. Bagraev, V.Yu. Grigoryev, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, V.A. Mashkov, N.I. Rul. Low Temperature Physics/Fizika Nizkikh Temperatur, **43**, 132 (2017). DOI: 10.1063/1.4974190
- [4] K.B. Taranets, M.A. Fomin, L.E. Klyachkin, A.M. Malyarenko, N.T. Bagraev. J. Appl. Phys., **125** (22), 225702 (2019). DOI: 10.1063/1.5083805
- [5] K.S. Novoselov, Z. Jiang, Y. Zhang, S.V. Morozov, H.L. Stormer. Science, **315** (5817), 1379 (2007). DOI: 10.1126/science.1137201
- [6] M.Z. Hasan, C.L. Kane. Rev. Modern Phys., **82** (4), 3045 (2010). DOI: 10.1103/RevModPhys.82.3045
- [7] J. Klinovaja, P. Stano, A. Yazdani, D. Loss. Phys. Rev. Lett., **111** (5), 186805 (2013). DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.056802
- [8] A.A. Zyuzin, D. Loss. Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys., **90** (12), 125443 (2014). DOI: 10.1103/PhysRevB.90.125443
- [9] Н.Т. Баграев, Л.Е. Клячкин, А.М. Маляренко, Б.А. Новиков. Биотехносфера, **5**, 55 (2015).
- [10] В.В. Кирьянова, Е.Н. Жарова, Н.Т. Баграев, А.С. Реуков, С.В. Логинова. Физиотерапия. Бальнеология и реабилитация, **15** (4), 209 (2016). DOI: 10.18821/1681-3456-2016-15-4-209-215
- [11] E. Pickwell, B.E. Cole, A.J. Fitzgerald, M. Pepper, V.P. Wallace. Phys. Medicine Biology, **49** (9), 1595 (2004).
- [12] A.L. Chernev, N.T. Bagraev, L.E. Klyachkin, A.K. Emelyanov, M.V. Dubina. ФТП, **49** (7), 966 (2015). [A.L. Chernev, N.T. Bagraev, L.E. Klyachkin, A.K. Emelyanov, M.V. Dubina. Semiconductors, **49** (7), 944 (2015). DOI: 10.1134/S1063782615070064]