

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66>

## ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ИК СПЕКТРЫ СЫВОРОТКИ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Научная статья

Матробиён М.Х.<sup>1,\*</sup>, Махсуд Б.И.<sup>2</sup>, Хабибуллоев Х.<sup>3</sup>, Зайдулло Н.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0009-0003-1083-7728;<sup>1, 2, 4</sup> Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан<sup>3</sup> Худжандский научный центр Национальной Академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

\* Корреспондирующий автор (matrobiyon[at]gmail.com)

## Аннотация

В данной работе экспериментально были изучены ИК-спектры сыворотки крови человека при выдержке на воздухе и при влиянии малых потоков тепловых нейтронов в определенном интервале времен. Обнаружено, что при выдержке сыворотки на воздухе до трех дней возрастает содержание группировок (-C-O-) и (-C-O-C) в углеводах и 5,6-членных сахарах. Однако при продолжительности выдержки до семи суток рост этих групп практически не наблюдается. Далее, при выдержке до 30 суток, они уменьшаются. При облучении потоком тепловых нейтронов до  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс существенно возрастает содержание групп (-C-O-), а при облучении до семи суток это содержание уменьшается. Облучение в течение трех суток с потоков тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс до семи суток с потоков тепловых нейтронов  $3 \cdot 10^8$  Флюенс также способствует ускоренному образованию метильных групп. Выдержка на воздухе, а также облучение потоков тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^9$  Флюенс до 30 суток на сыворотку оказывают идентичное воздействие.

**Ключевые слова:** тепловые нейтроны, сыворотки крови, ядерная реакция радиационного захвата, инфракрасная спектроскопия, выдержки образцов на воздухе.

## THE EFFECT OF NEUTRON IRRADIATION ON THE IR SPECTRA OF HUMAN BLOOD SERUM

Research article

Matrobiyon M.K.<sup>1,\*</sup>, Makhsud B.I.<sup>2</sup>, Khabibulloev H.<sup>3</sup>, Zaidullo N.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0009-0003-1083-7728;<sup>1, 2, 4</sup> Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan<sup>3</sup> Khujand Scientific Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

\* Corresponding author (matrobiyon[at]gmail.com)

## Abstract

This work experimentally investigates the IR spectra of human blood serum under exposure to air and under the influence of low fluxes of thermal neutrons over specific time intervals. It was found that when serum is exposed to air for up to three days, the content of (-C-O-) and (-C-O-C-) groups in carbohydrates and 5,6-membered sugars increases. However, with exposure extending up to seven days, the growth of these groups is hardly observed. Further, after exposure for up to 30 days, their content decreases.

When irradiated with a thermal neutron flux of up to  $1.3 \cdot 10^8$  fluence, the content of (-C-O-) groups increases significantly, whereas after seven days of irradiation, this content decreases. Irradiation for three days with a thermal neutron flux of  $1.3 \cdot 10^8$  fluence, followed by up to seven days with a flux of  $3 \cdot 10^8$  fluence, also promotes accelerated formation of methyl groups.

Exposure to air, as well as irradiation with a thermal neutron flux of  $1.3 \cdot 10^9$  fluence for up to 30 days, has an identical effect on the serum.

**Keywords:** thermal neutrons, blood serum, nuclear reaction of radiative capture, infrared spectroscopy, sample exposure in air.

## Введение

Целью настоящей работы являлось исследование влияния слабого потока тепловых нейтронов на сыворотку крови человека. Ранее показано, что малые дозы ионизирующей радиации могут приводить к изменениям в структуре биологических объектов. При взаимодействии нейтронов с веществом происходят различные процессы, включая радиационный захват нейтронов ядрами атомов. Помимо этого, имеют место упругие и неупругие рассеяния нейтронов на ядрах атомов. Хорошо известно, что сечение захвата тепловых нейтронов ядрами атомов значительно выше, чем у нейтронов с более высокой энергией. В этом контексте исследование воздействия низких потоков тепловых нейтронов на свойства биологических систем представляет собой интересную научную задачу [1], [2], [3]. Тепловые нейтроны — это нейтроны, энергия которых сравнима с тепловой энергией окружающей среды. В частности, это нейтроны, находящиеся в тепловом равновесии с окружающей средой, то есть их кинетическая энергия аналогична средней кинетической энергии атомов или молекул в материале, с которым они взаимодействуют. При комнатной температуре средняя кинетическая энергия атомов примерно эквивалентна энергии тепловых нейтронов. Исследование роли тепловых нейтронов при протекании различных процессов, связанных с ядерными реакциями считается важной технологической задачей, включая явления в ядерных реакторах, в экспериментах по рассеянию нейтронов и нейтронно-активационном анализе [4], [5], [6]. В работе [7] изучены возможные механизмы связи поля

тепловых нейтронов с биосферой, выявлено, что концентрации некоторых металлов в образцах живых и мертвых систем, облученных искусственным потоком тепловых нейтронов, не равны. Уровни других элементов (Al, Cr, Ni, Cu, Cd и Pb) не показали существенных различий. Микроэлементный состав систем оценивали методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией и зеемановской коррекцией фона. В работах [8], [10], [11] были исследованы воздействие малых потоков тепловых нейтронов на биологические свойства семян технических растений, структурные изменения макромолекул ДНК и выживаемость бактерий *Escherichia coli* при комнатной температуре. Из-за сложности этих биологических объектов механизм, лежащий в основе эффекта гормезиса, остается недостаточно понятным.

В современной медицине широко используются физико-химические методы для исследования биологических жидкостей [12], [13], что позволяет обнаруживать даже самые тонкие изменения в составе и свойствах изучаемого материала. Одним из таких методов является инфракрасная спектроскопия, которая основана на регистрации изменений частоты поглощения тепловых квантов и интенсивности инфракрасного спектра определенных структурных групп и соединений веществ [14], [15]. Исследование патологических процессов на молекулярном уровне с применением методов молекулярной спектроскопии представляет значительную перспективу, поскольку изменения на молекулярном уровне наблюдаются при множестве заболеваний, впоследствии отражаясь на состоянии макромолекул, клеток, тканей и органов [16]. Благодаря своей простоте и доступности инфракрасная спектроскопия позволяет оценить влияние даже малых потоков тепловых нейтронов на свойства биологических жидкостей [17].

### Экспериментальная часть

В рамках данной работы исследовали сыворотку крови здорового мужчины 28 лет. Сыворотку отделяли из цельной крови после выделения из организма, по общепринятой методике центрифугирования. После подбора образцы облучались тепловыми нейтронами от Pu-Be- источника (энергия нейтронов от 0 до 10 Мэв) при различных потоках нейтронов. Для получения тепловых нейтронов между источником и образцом размещали парафиновый слой толщиной 5 см [1]. Следует отметить, что в процессе получения тепловых нейтронов появляются гамма-кванты, но их поток намного ниже порога появления изменений свойств биологических сред под их действием. Поэтому, можно пренебрегать действием этого типа излучения на результаты эксперимента.

В процессе наших экспериментов сыворотка подвергалась действию двух факторов. Выдержки на воздухе и действие тепловых нейтронов. Для отделения влияния выдержки на воздухе, от действия нейтронов, отдельно проводились эксперименты по влиянию выдержки на воздухе на ИК спектры сыворотки крови.

Образцы для регистрации ИК спектров изготавливались следующим образом. Образцы сыворотки крови высушивали на очищенной чашке Петри при температуре 60°C в течение более 2,5 часов. Высушенный образец в количестве 5мг, смешивали с 200 мг KBr и таблетировали по известной технологии [18], [19], [20]. ИК спектры регистрировали на Фурье спектрофотометре IR-Affinity-1S компании Shimadzu (Япония).

### Результаты и обсуждения

В начале рассмотрим влияние выдержки на воздухе при комнатной температуре на ИК спектры сыворотки крови. На рисунке 1 приведена ИК спектр сыворотки крови мужчины после 1 дневной выдержки в области частот 1000–1500  $\text{см}^{-1}$ . Как видно из рисунка на спектре наблюдается асимметричная полоса с максимумом при 1080  $\text{см}^{-1}$  слева от нее наблюдается высокий выступ при 1058  $\text{см}^{-1}$ , справа слабо заметная неровность 1001  $\text{см}^{-1}$  и четкая широкая полоса слабой интенсивности при 1156  $\text{см}^{-1}$ . Проявляется интенсивная симметричная полоса при 1242  $\text{см}^{-1}$  справа от нее менее интенсивная полоса 1311  $\text{см}^{-1}$ . Далее расположены интенсивные полосы 1400 и 1452  $\text{см}^{-1}$ .

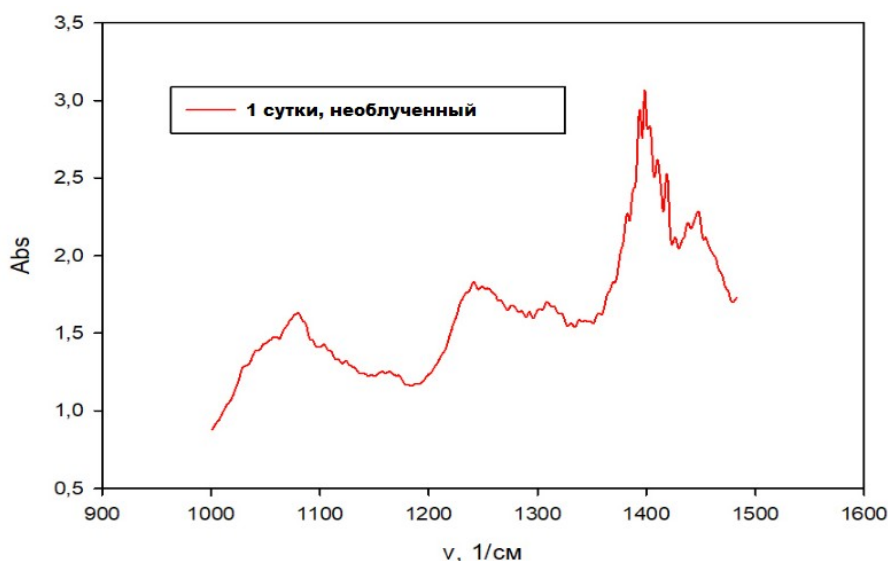


Рисунок 1 - ИК спектр сыворотки крови, выдержанной на воздухе при комнатной температуре 24 часа  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.1>

На рис. 2 приведен ИК спектр сыворотки, выдержанной 3 суток. Как видно из рисунка 2, слева от полосы  $1080\text{ см}^{-1}$  четко проявляется плато около  $1058\text{ см}^{-1}$ , справа от полосы  $1080\text{ см}^{-1}$  проявляется четкое плато около  $1100\text{ см}^{-1}$ , слабо заметный выступ  $1124\text{ см}^{-1}$  и широкая слабая полоса  $1158\text{ см}^{-1}$ , далее четкая полоса  $1242\text{ см}^{-1}$ , справа от нее слабая широкая полоса  $1311\text{ см}^{-1}$ , далее две полосы  $1400$  и  $1452\text{ см}^{-1}$ .

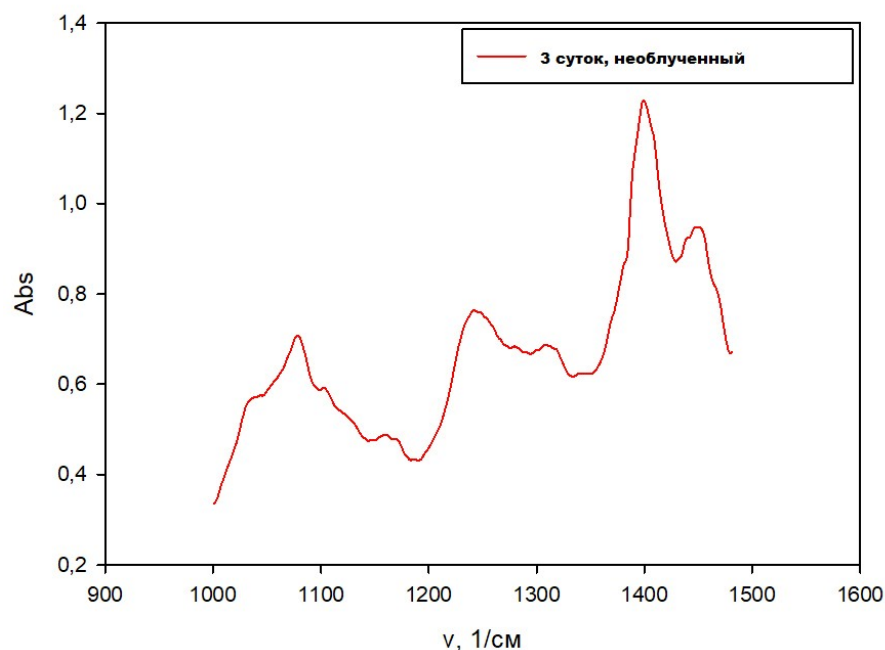


Рисунок 2 - ИК спектр сыворотки крови, выдержанной на воздухе при комнатной температуре 24 часа  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.2>

На рис. 3 приведена ИК спектр сыворотки крови, выдержанный 7 суток. Сравнение рис. 2 и 3 показывает практический неизменность Ик спектров при 3 и 7 суточной выдержки.

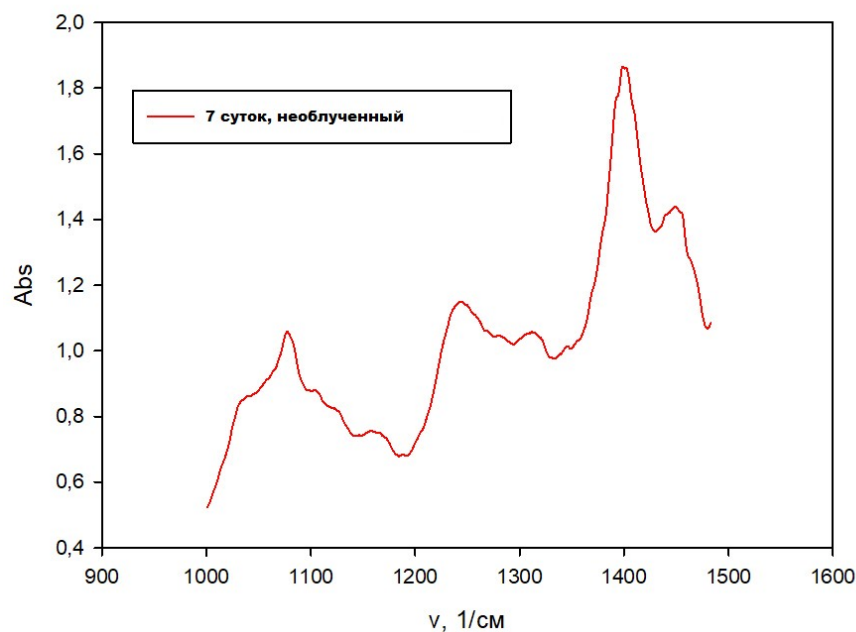


Рисунок 3 - ИК спектр сыворотки крови, выдержанной на воздухе при комнатной температуре 7 суток  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.3>

На рис. 4 приведена ИК спектр сыворотки крови выдержанный 30 суток. Как видно из рис. 4 интенсивность полосы при  $1124\text{ см}^{-1}$  возрастая становится практически равным интенсивности полосы  $1080\text{ см}^{-1}$ . Интенсивность группы полос в области  $1000$  и  $1200\text{ см}^{-1}$  становится ниже чем интенсивность полосы  $1242\text{ см}^{-1}$ .

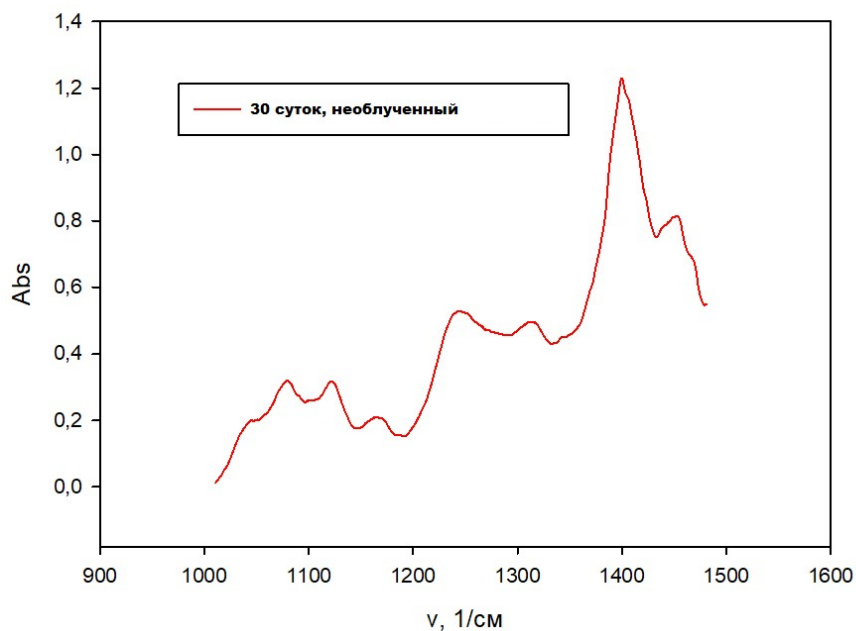


Рисунок 4 - ИК спектр сыворотки крови, выдержанной на воздухе при комнатной температуре 30 суток

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.4>

В таблице 1 приведены отнесение ИК полос поглощения сыворотки крови согласно [21], [22].

Таблица 1 - Отнесение ИК полос поглощения сыворотки крови

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.5>

$1045\text{ см}^{-1}$	-C-O-O-C	Фосфолипиды
$1058\text{ см}^{-1}$	-C-O-	Эфиры, гидроксильные группы и карбоксильные кислоты
$1080\text{ см}^{-1}$	-C-P=O	Фосфаты, фосфолипиды и нуклеотиды
$1101\text{ см}^{-1}$	-C-O-	5,6 членные сахара
$1124\text{ см}^{-1}$	(-CH <sub>3</sub> )	Ароматика
$1158\text{ см}^{-1}$	(-C-O-) (-C-OH)	Углеводы и жирные кислоты
$1161\text{ см}^{-1}$	(-CO-O-C) (C-OH)	Жирные кислоты
$1242\text{ см}^{-1}$	(-C-OH)	Ацетаты
$1400\text{ см}^{-1}$	(-C OO)	Аминокислоты
$1452\text{ см}^{-1}$	(-C OO)	Аминокислоты

### 3.1. Обсуждение полученных результатов по влиянию выдержки на воздухе при комнатной температуре

В сыворотке крови содержатся белки (глобулинов, альбуминов, фибриногена) питательные вещества (глюкоза, липиды), гормоны, витамины, неорганические вещества [23], [24], [25] и др.

Рост интенсивности полос поглощения  $1058\text{ см}^{-1}$  и  $1101\text{ см}^{-1}$  при выдержке до 3 суток (рис. 2) можно связать с ростом группировок (-C-O-) и (-C-O-C) в углеводах и 5,6 членных сахарах под действием кислорода в этом периоде. При дальнейшей выдержке до 7 семи суток (рис. 3) содержание изложенных групп существенно не меняется.

При выдержке до 30 суток (рис. 4) существенно увеличивается содержание метильных группировок (-CH<sub>3</sub>) в ароматических частях. Содержание группировок (-C-O-), (-C-P=O) и (-C-O-C-) заметно уменьшается по сравнению с гидроксильными группами в ацетатах.

Далее рассмотрим влияние слабого потока тепловых нейтронов на ИК спектры сыворотки крови. На рис.5 приведен ИК спектр сыворотки крови, облученной 3 суток малым потоком тепловых нейтронов. Сравнение рис. 2 и 5

показывает, что в спектре облученных образцов в течение 3 суток по сравнению со спектром образцов выдержанных 3 суток существенно возрастает интенсивность  $1058\text{ см}^{-1}$  и она проявляется в виде четкой полосы. Соотношение интенсивность полос  $1080\text{ см}^{-1}$  и  $1242\text{ см}^{-1}$  почти неизменны.

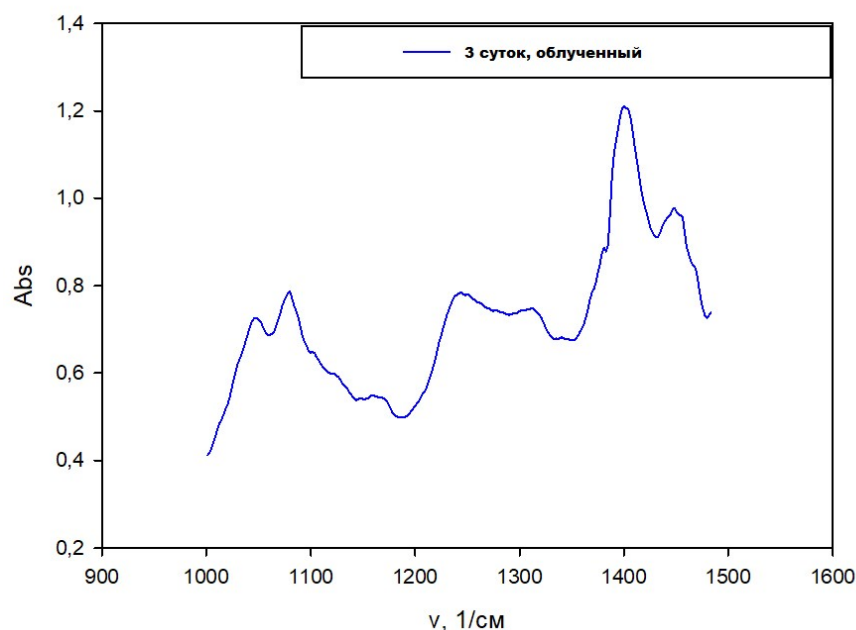


Рисунок 5 - ИК спектр сыворотки крови, облученной потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.6>

На рисунке 6 приведен ИК спектр сыворотки крови, облученной 7 суток. Сравнение рис. 3 и 6 показывает, что при дальнейшем увеличении времени облучения до 7 суток интенсивность полосы  $1058\text{ см}^{-1}$  уменьшается по сравнению с интенсивностью полосы  $1080\text{ см}^{-1}$ . Интенсивность выступа при  $1124\text{ см}^{-1}$  возрастая проявляется в виде отдельной полосы. Заметно снижение интенсивности группы полос около  $1080\text{ см}^{-1}$  по сравнению с интенсивностью полосы  $1242\text{ см}^{-1}$ .

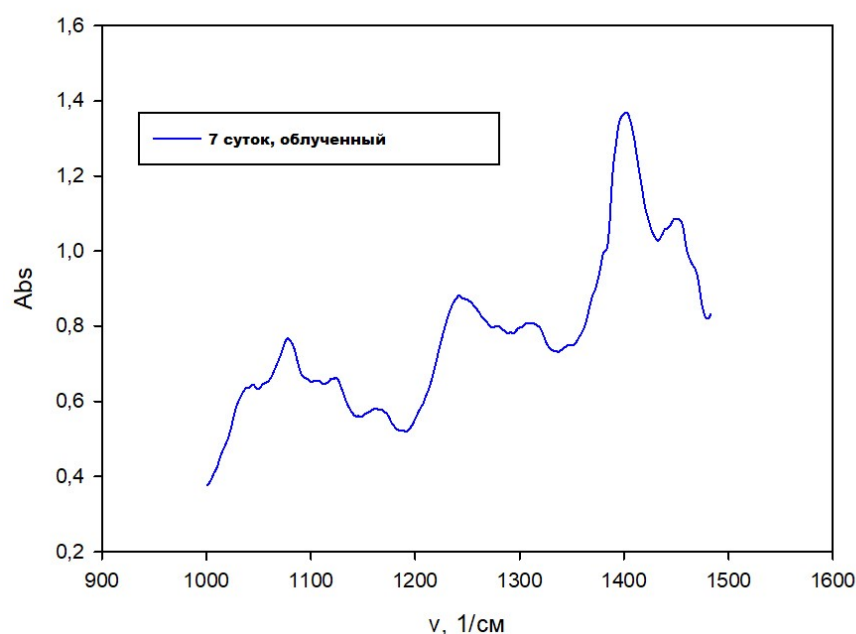


Рисунок 6 - ИК спектр сыворотки крови, облученной потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.7>

На рисунке 7 приведен ИК спектр сыворотки крови, облученной 30 суток. Сравнение рис. 4 и 7 показывает, что они практически идентичны.

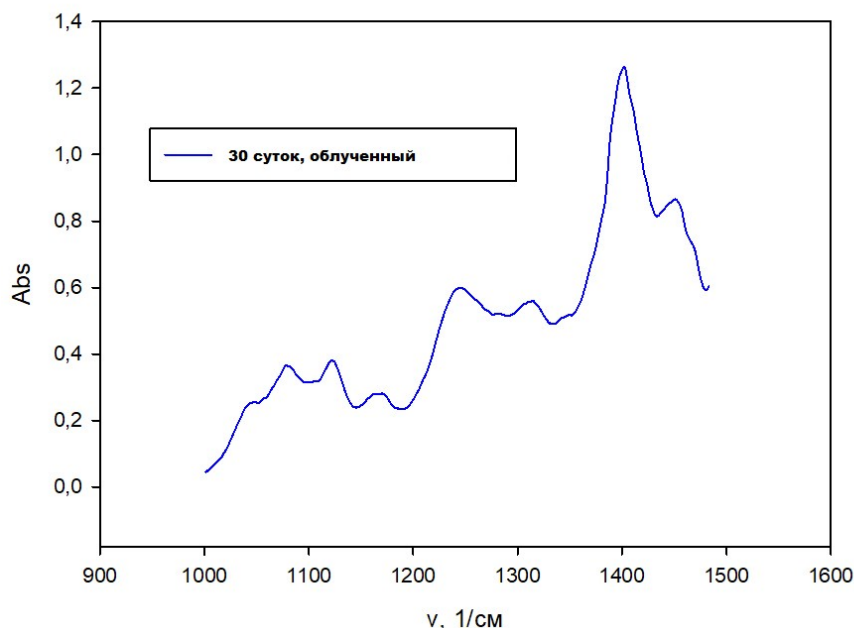


Рисунок 7 - ИК спектр сыворотки крови, облученной потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^9$  Флюенс  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.155.66.8>

### 3.2. Обсуждение результатов экспериментов по влиянию нейтронного облучения на сыворотку крови

При облучении с потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс (рис. 5) существенно увеличивается содержание группировок (-C-O-). Дальнейшее увеличение облучения до тепловых нейтронов  $3 \cdot 10^8$  Флюенс (рис. 6) приводит к уменьшению групп (-C-O-) и возрастанию метильных групп (-CH<sub>3</sub>) в ароматических частях. Содержание группировок (-C-O-), (-C-P=O) и (-C-O-C-) заметно уменьшается по сравнению с гидроксильными группами в ацетатах. Действие облучения и действие выдержки (рис. 4 и 7) на изменение соотношения исследованных группировок при временах до 30 суток идентичны.

#### Заключение

1. Исследовано влияние малого потока тепловых нейтронов и выдержки на воздухе, на ИК спектры сыворотки крови человека.
2. Обнаружено, что при выдержке сыворотки крови на воздухе до 3 суток возрастает содержание группировок (-C-O-) и (-C-O-C) в углеводах и 5,6 членных сахарах, при возрастании выдержки до 7 суток рост этих групп практически не наблюдается, далее при выдержке до 30 суток они уменьшаются.
3. При облучении потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс существенно возрастает содержание групп (-C-O-) и уменьшается при облучении потоком  $3 \cdot 10^8$  Флюенс.
4. Облучение потоком тепловых нейтронов с  $1,3 \cdot 10^8$  Флюенс до  $3 \cdot 10^8$  Флюенс ускоряет образование метильных групп.
5. Выдержка на воздухе до 30 суток, а также облучение потоком тепловых нейтронов  $1,3 \cdot 10^9$  Флюенс на сыворотку действуют идентично.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### Список литературы / References

1. Махсудов Б.И. Влияние тепловых нейтронов на излучательные характеристики InGaAsP/AlGaAs-гетеролазеров / Б.И. Махсудов // Квантовая электроника. — 2015. — Т. 45. — № 3. — С. 216–217.
2. Махсудов Б.И. Эффекты при взаимодействии малых потоков тепловых нейтронов с веществом / Б.И. Махсудов, 3. Нигораи // Вестник ТНУ. — 2020. — № 1. — С. 94–107.

3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика / К.Н. Мухин. — Москва : Атомиздат, 1974. — 366 с.
4. Squires G.L. Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering / G.L. Squires. — New York : Dover Publications, 1997.
5. Hughes D.J. Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering / D.J. Hughes, A.T. Stewart. — New York : Dover Publications, 2012.
6. Hasegawa Y. Entanglement between degrees of freedom of single neutrons / Y. Hasegawa, K. Durstberger-Rennhofer, S. Spönar [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2009. — Vol. 611. — № 2–3. — P. 310–313. — DOI: 10.1016/j.nima.2009.07.060.
7. Syroeshkin A.V. Possible Mechanisms of Relations between the Thermal Neutrons Field and Biosphere / A.V. Syroeshkin, I.V. Tarabrina, M.A. Morozova [et al.] // The Scientific World Journal. — 2020. — DOI: 10.1155/2020/2175296.
8. Жижина Г.П. Структурные превращения макромолекул ДНК в водно-солевом растворе и выживаемость бактерий *Escherichia coli* в ультраслабом поле термализованных нейтронов / Г.П. Жижина, А.Г. Липсон, И.А. Гагина [и др.] // ДАН РФ. — 2010. — Т. 431. — № 1. — С. 123–128. — EDN LOKBTJ.
9. Гордеев И.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчёта реакторов / И.В. Гордеев, Д.А. Кардашев, А.В. Малышев. — Москва : Атомиздат, 1960. — 278 с.
10. Махсудов Б.И. Влияние малых потоков тепловых нейтронов на скорость роста бактерий *RHIZOBIUM IS TAAS-80TJ* / Б.И. Махсудов, К.Х. Салимов, Н. Зайдулло // ДАН РТ. — 2020. — Т. 63. — № 11–12. — С. 723–727. — EDN CEQZEY.
11. Баранова А.А. Радиационная биофизика: лабораторный практикум / А.А. Баранова. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. — 100 с.
12. Вербалович В.П. Инфракрасная спектроскопия биологических мембран / В.П. Вербалович. — Алма-Ата : Наука, 1977. — 127 с.
13. Костина М.А. Показатели инфракрасного спектра липидов сыворотки крови в дифференциальной диагностике доброкачественной патологии тела матки / М.А. Костина, Ю.В. Раскратов, Г.М. Зубарева // Сибирский медицинский журнал. — 2009. — Т. 85. — № 2. — С. 31–32. — EDN KBXAOV.
14. Грибов Л.А. Введение в теорию и расчет колебательных спектров многоатомных молекул / Л.А. Грибов. — Ленинград : Издательство ЛГУ, 1965. — 134 с.
15. Гордеев А.С. Диагностическая ИК-спектроскопия. Настоящее и будущее / А.С. Гордеев // Нижегородский медицинский журнал. — 2002. — № 4. — С. 95–98.
16. Раппопорт Ж.Ж. Метод инфракрасной спектроскопии при изучении злокачественных заболеваний крови / Ж.Ж. Раппопорт, Г.Р. Балуева // Сборник научных трудов Красноярского медицинского института. — Красноярск, 1963. — С. 324–328.
17. Беликов В.Г. Анализ лекарственных веществ фотометрическими методами. Опыт работы отечественных специалистов / В.Г. Беликов // Российский химический журнал. — 2002. — Т. XLVI. — № 4. — С. 52–56.
18. Кейтс М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов / М. Кейтс. — Москва : Мир, 1975.
19. Раппопорт Ж.Ж. Метод инфракрасной спектроскопии при изучении злокачественных болезней крови / Ж.Ж. Раппопорт, Г.Р. Балуева // Сборник научных трудов Красноярского медицинского института. — Красноярск : Издательство КГМИ, 1963. — С. 324–328.
20. Федунь А.М. Роль инфракрасной спектроскопии сыворотки крови в комплексной диагностике рака легкого / А.М. Федунь, М.В. Кукош, А.С. Гордеев // Нижегородский медицинский журнал. — 2002. — № 1. — С. 60–65. — EDN AAENPL.
21. Беллами Л.Ю. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул / Л.Ю. Беллами. — Москва : Мир, 1971. — 230 с.
22. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений / К. Наканиси. — Москва : Мир, 1965. — 265 с.
23. Лебедев Г.С. Физиология человека / Г.С. Лебедев. — Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2015. — 672 с.
24. Сперанский А.Ф. Основы биохимии / А.Ф. Сперанский. — Москва : Медицина, 2013. — 560 с.
25. Bishop M.L. Clinical Chemistry: Principles, Techniques, and Correlations / Bishop M.L., E.P. Fody, L.E. Schoeff. — Saint Louis : Elsevier, 2017. — 1008 p.
26. Бернштейн Л.П. Биохимия / Л.П. Бернштейн. — Санкт-Петербург : Питер, 2019. — 608 с.
27. Kwaan H.C. Role of plasma proteins in whole blood viscosity: A brief clinical review / H.C. Kwaan // Clinical Hemorheology and Microcirculation. — 2010. — Vol. 44. — № 3. — P. 167–176. — DOI: 10.3233/CH-2010-1271.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Makhsudov B.I. Vliyanie teplovykh neytronov na izluchatel'nye kharakteristiki InGaAsP/AlGaAs-geterolazero [Effect of thermal neutrons on emission characteristics of InGaAs/AlGaAs heterolaser] / B.I. Makhsudov // Kvantovaya elektronika [Quantum Electronics]. — 2015. — Vol. 45. — № 3. — P. 216–217. [in Russian]
2. Makhsudov B.I. Effekty pri vzaimodeystvii mal'kh potokov teplovykh neytronov s veshchestvom [The effects of the interaction of small-flow thermal neutrons with matter] / B.I. Makhsudov, Z. Nigori // Vestnik TNU [TNU Bulletin]. — 2020. — № 1. — P. 94–107. [in Russian]
3. Mukhin K.N. Eksperimental'naya yadernaya fizika [Experimental nuclear physics] / K.N. Mukhin. — Moscow : Atomizdat, 1974. — 366 p. [in Russian]
4. Squires G.L. Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering / G.L. Squires. — New York : Dover Publications, 1997.

5. Hughes D.J. Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering / D.J. Hughes, A.T. Stewart. — New York : Dover Publications, 2012.
6. Hasegawa Y. Entanglement between degrees of freedom of single neutrons / Y. Hasegawa, K. Durstberger-Rennhofer, S. Sponar [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2009. — Vol. 611. — № 2–3. — P. 310–313. — DOI: 10.1016/j.nima.2009.07.060.
7. Syroeshkin A.V. Possible Mechanisms of Relations between the Thermal Neutrons Field and Biosphere / A.V. Syroeshkin, I.V. Tarabrina, M.A. Morozova [et al.] // The Scientific World Journal. — 2020. — DOI: 10.1155/2020/2175296.
8. Zhizhina G.P. Strukturnye prevrashcheniya makromolekul DNK v vodno-solevom rastvore i vyzhivaemost' bakteriy Escherichia coli v ul'traslabykh polyakh termalizovannykh neytronov [Structural transformations of DNA macromolecules in salt aqueous solutions and the survival of Escherichia coli cells in ultralow-intensity thermalized neutron fields] / G.P. Zhizhina, A.G. Lipson, I.A. Gagina [et al.] // DAN RF [Reports of the Russian Academy of Sciences]. — 2010. — Vol. 431. — Issue 1. — P. 123–128. — EDN LOKBTJ. [in Russian]
9. Gordeev I.V. Spravochnik po yadernykh fizicheskikh konstantam dlya rascheta reaktorov [Handbook of nuclear physics constants for reactor calculations] / I.V. Gordeev, D.A. Kardashev, A.V. Malyshev. — Moscow : Atomizdat, 1960. — 278 p. [in Russian]
10. Makhsudov B.I. Vliyaniye malykh potokov teplovykh neytronov na skorost' rosta bakteriy RHIZOBIUM IS TAAS-80TJ [Effect of small thermal neutron fluxes on the activation rate of rhizobiumis TAAS-80TJ bacteria] / B.I. Makhsudov, K.H. Salimov, N. Zaydullo // DAN RT [Reports of the Academy of Sciences of Tajikistan]. — 2020. — Vol. 63. — Issue 11–12. — P. 723–727. — EDN CEQZEV. [in Russian]
11. Baranova A.A. Radiatsionnaya biofizika: laboratornyy praktikum [Radiation biophysics: laboratory workshop] / A.A. Baranova. — Yekaterinburg : Ural University Press, 2018. — 100 p. [in Russian]
12. Verbalovich V.P. Infektsionnaya spektroskopiya biologicheskikh membran [Infrared spectroscopy of biological membranes] / V.P. Verbalovich. — Alma-Ata : Nauka, 1977. — 127 p. [in Russian]
13. Kostina Yu.V. Pokazateli infrazhelenogo spektra lipidov syvorotki krovi v differentsial'noy diagnostike dobrokachestvennoy patologii tela matki [Indicators of infra-red and lipide spectra of blood serum in differential diagnostics of good-quality pathology of a body of the uterus] / M.A. Kostina, Y.V. Raskuratov, G.M. Zubareva // Sibirskiy meditsinskiy zhurnal [Siberian Medical Journal]. — 2009. — Vol. 85. — № 2. — P. 31–32. — EDN KBXAOV. [in Russian]
14. Gribov L.A. Vvedeniye v teoriyu i raschet kolebatel'nykh spektrov mnogoatomnykh molekul [Introduction to the theory and calculation of vibrational spectra of polyatomic molecules] / L.A. Gribov. — Leningrad : Leningrad State University Press, 1965. — 134 p. [in Russian]
15. Gordetsov A.S. Diagnosticheskaya IK-spektroskopiya. Nastoyashchee i budushchee [Diagnostic IR spectroscopy. Present and future] / A.S. Gordetsov // Nizhegorodskiy meditsinskiy zhurnal [Nizhny Novgorod Medical Journal]. — 2002. — № 4. — P. 95–98. [in Russian]
16. Rappoport Zh.Zh. Metod infrazhelenoy spektroskopii pri izuchenii zlokachestvennykh zabolevaniy krovi [Method of infrared spectroscopy in the study of malignant blood diseases] / Zh.Zh. Rappoport, G.R. Balueva // Sbornik nauchnykh trudov Krasnoyarskogo meditsinskogo instituta [Collection of scientific works of the Krasnoyarsk Medical Institute]. — Krasnoyarsk, 1963. — P. 324–328. [in Russian]
17. Belikov V.G. Analiz lekarstvennykh veshchestv fotometricheskimi metodami. Opyt raboty otechestvennykh spetsialistov [Analysis of medicinal substances by photometric methods. Experience of domestic specialists] / V.G. Belikov // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal [Russian Chemical Journal]. — 2002. — Vol. XLVI. — № 4. — P. 52–56. [in Russian]
18. Kates M. Tekhnika lipidologii. Vydeleniye, analiz i identifikatsiya lipidov [Lipidology techniques. Isolation, analysis and identification of lipids] / M. Kates. — Moscow : Mir, 1975. [in Russian]
19. Rapoport Zh.Zh. Metod infrazhelenoy spektroskopii pri izuchenii zlokachestvennykh bolezney krovi [Method of infrared spectroscopy in the study of malignant blood diseases] / Zh.Zh. Rapoport, G.R. Balueva // Sbornik nauchnykh trudov Krasnoyarskogo meditsinskogo instituta [Collection of scientific works of the Krasnoyarsk Medical Institute]. — Krasnoyarsk : KSMI Publishing House, 1963. — P. 324–328. [in Russian]
20. Fedun A.M. Rol' infrazhelenoy spektroskopii syvorotki krovi v kompleksnoy diagnostike raka legkogo [The role of infrared spectroscopy of blood serum in the complex diagnosis of lung cancer] / A.M. Fedun, M.V. Kukosh, A.S. Gordetsov // Nizhegorodskiy meditsinskiy zhurnal [Nizhny Novgorod Medical Journal]. — 2002. — № 1. — P. 60–65. — EDN AAEHPL. [in Russian]
21. Bellamy L.Yu. Novye dannye po IK-spektram slozhnykh molekul [New data on the IR spectra of complex molecules] / L.Yu. Bellamy. — Moscow : Mir, 1971. — 230 p. [in Russian]
22. Nakanishi K. Infrazhelenyye spektry i stroeniye organicheskikh soedineniy [Infrared spectra and structure of organic compounds] / K. Nakanishi. — Moscow : Mir, 1965. — 265 p. [in Russian]
23. Lebedev G.S. Fiziologiya cheloveka [Human physiology] / G.S. Lebedev. — Moscow : GEOTAR-Media, 2015. — 672 p. [in Russian]
24. Speransky A.F. Osnovy biokhimii [Fundamentals of biochemistry] / A.F. Speransky. — Moscow : Meditsina, 2013. — 560 p. [in Russian]
25. Bishop M.L. Clinical Chemistry: Principles, Techniques, and Correlations / Bishop M.L., E.P. Fody, L.E. Schoeff. — Saint Louis : Elsevier, 2017. — 1008 p.
26. Bernstein L.P. Biokhimiya [Biochemistry] / L.P. Bernstein. — Saint Petersburg : Piter, 2019. — 608 p. [in Russian]
27. Kwaan H.C. Role of plasma proteins in whole blood viscosity: A brief clinical review / H.C. Kwaan // Clinical Hemorheology and Microcirculation. — 2010. — Vol. 44. — № 3. — P. 167–176. — DOI: 10.3233/CH-2010-1271.