

УДК 577.338

ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОГО БЕНЗИЛПЕНИЦИЛЛИНА НАТРИЕВОЙ СОЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

© 2022 Н.А. Роденко^{1,2}, В.А. Глуценков^{1,2}, К.А. Осинцев¹,
С.В. Коновалов¹, И.А. Беляева^{1,2}, Т.И. Васильева¹

¹Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самара, Россия

²Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 25.01.2022

Для понимания природы влияния импульсного магнитного поля на антибактериальные свойства бензилпенициллина натриевой соли в отношении бактерий *Escherichia coli* M-17 выполнено поисковое исследование порошка натриевой соли бензилпенициллина под рентгеновским излучением. Получены соответствующие дифрактограммы, отражающие происходящие в молекуле антибиотика изменения после воздействия ИМП на лекарственный препарат. Установлен факт дезорганизации кристаллической решетки порошкообразного бензилпенициллина под воздействием импульсного магнитного поля напряженностью $(2\div 7)\cdot 10^6$ А/м.

Ключевые слова: бензилпенициллина натриевая соль, дифрактометрия, повышение антибактериальной активности, структура вещества, импульсное магнитное поле.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-1-30-36

Список используемых сокращений: ИМП – импульсное магнитное поле.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] описан эффект увеличения антибактериальной активности бензилпенициллина натриевой соли после обработки ее в порошкообразном состоянии импульсным магнитным полем в отношении бактерий *Escherichia coli* M-17 на 12-24%. Определено время сохранения эффекта при повышении антибактериальных свойств антибиотика – не менее 3 часов. Показа-

но, что обработка ИМП бензилпенициллина не вызывает изменений в острой токсичности при введении мышам обработанного ИМП антибиотика. Обработка ИМП бензилпенициллина не способствует образованию свободных радикалов.

Если будет определен механизм повышения антибактериального эффекта после воздействия на лекарственный препарат ИМП, то появится возможность управления этим процессом, будет возможность получить наиболее эффективное лекарство, снизить дозы его применения.

Высказано предположение о механизме повышения антибактериальной активности, связанное с изменением конформации молекулы бензилпенициллина. Были проведены эксперименты по изучению изменения структуры молекулы бензилпенициллина под действием ИМП с помощью метода ИК-Фурье спектроскопии. Выявлено изменение валентных углов амидной группировки близ β -лактамного кольца, что подтверждает высказанное предположение [2].

В медицинской биофизике проводятся многочисленные исследования по воздействию магнитных полей на биологические объекты [3-10]. Представляет интерес также воздействие магнитных полей на лекарственные препараты: антибиотики, антиагреганты и противоопухолевые препараты [11-13]. Во всех этих исследованиях использовались постоянные и переменные магнитные поля, импульсные магнитные поля с параметрами, значительно отличающимися от

Роденко Наталья Алексеевна, аспирант, инженер-исследователь лаборатории «Биоинженерия» Самарского федерального исследовательского центра РАН.

E-mail: t.rodenko@mail.ru

Глуценков Владимир Александрович, кандидат технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Биоинженерия» Самарского федерального исследовательского центра РАН. E-mail: vgl@ssau.ru

Осинцев Кирилл Александрович, аспирант, младший научный сотрудник отраслевой научно-исследовательской лаборатории авиационного материаловедения. E-mail: osincev_ka@ssau.ru

Коновалов Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения. E-mail: kvs@ssau.ru

Беляева Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Самарского федерального исследовательского центра РАН. E-mail: belyaeva-otmr@yandex.ru

Васильева Татьяна Ивановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии Самарского университета.

E-mail: vastaty@rambler.ru

используемых в последнее время в технике [14]. Опубликованы первые работы по применению «технических» ИМП в биологии и медицине [15-17].

В работе [18] изучено структурное состояние порошковых образцов соединений Ti_3Al до и после воздействия гамма-облучения. Методом порошковой рентгеновской дифракции было доказано, что гамма-обработка способствует дезорганизации кристаллической решетки Ti_3Al . Происходит увеличение параметров структуры решетки и ее объема по отношению к необлученному образцу.

Таким образом, цель настоящей работы состоит в исследовании методами рентгеновской порошковой дифракции дополнительных доказательств влияния магнитного поля на изменение структуры молекулы бензилпенициллина натриевой соли.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Бензилпенициллина натриевая соль – аптечный антибактериальный препарат, который входит в группу β -лактамовых антибиотиков. Бензилпенициллин химически связан между собой наличием четырехчленного кольца, содержащего атом азота. Таким образом, основная структура бензилпенициллина включает в себя: β -лактамовое кольцо, которое соединено через азот и соседний тетраэдрический углерод со вторым гетероциклом [19]. Воздействие ИМП осуществляется на порошкообразный бензилпенициллина натриевую соль (рисунок 1).

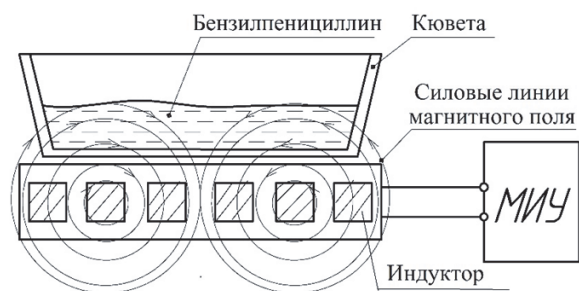


Рис. 1. Схема воздействия ИМП на бензилпенициллин

Порошкообразный бензилпенициллин (ООО «Агрофарм», Россия) засыпался тонким слоем (примерно 1-2 мм) в кювету и слегка уплотнялся. Кювета размещалась на индукторе-инструменте генерирующим импульсное магнитное поле. В момент обработки по виткам индуктора протекал переменный ток «I» порядка десятков килоампер (рисунок 2). Время действия импульсного магнитного поля на препарат (50÷100) 10^{-6} сек.

В зависимости от сопротивления разрядной цепи (установка-индуктор-заготовка) форма

токовой кривой может быть периодической (рисунок 2, а) и аperiodической (рисунок 2, б).

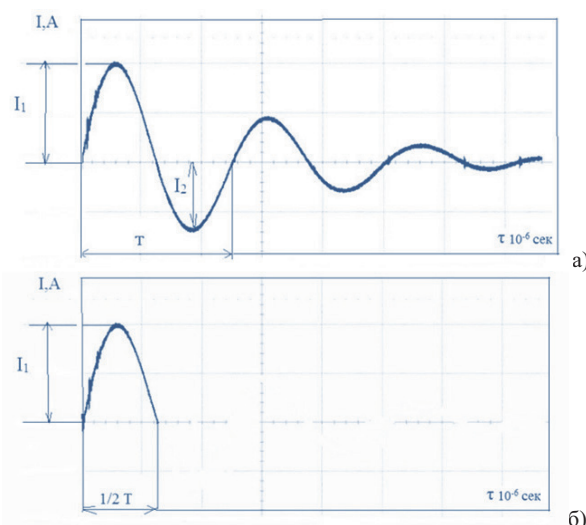
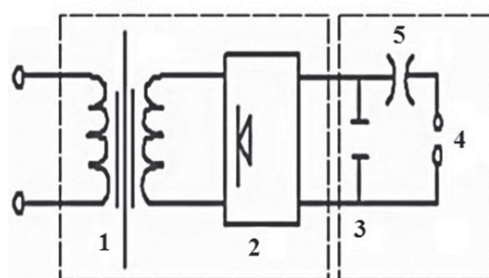


Рис. 2. Осциллограммы импульсного магнитного поля

Источником импульсного тока является магнитно-импульсная установка [20], блок-схема которой приведена на рисунке 3.



1 – повышающий трансформатор, 2 – выпрямитель, 3 – батареи конденсаторов, 4 – устройство для подключения индуктора, 5 – разрядник

Рис. 3. Блок-схема магнитно-импульсной установки

Напряженность магнитного поля H , возникающего при обработке лекарственного препарата в момент разряда батареи конденсаторов на индуктор, зависит от запасенной в ней энергии (1).

$$W = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

где C – емкость батареи конденсаторов, U – напряжение заряда.

Величины тока I и напряженности H в эксперименте замерялись с помощью пояса Роговского и датчика Холла [21]. На рисунке 4 показаны типичные осциллограммы тока и напряженности H при различной энергии разряда.

Параметры МИУ-3, на которой производилась обработка бензилпенициллина ИМП приведены в таблице 1.

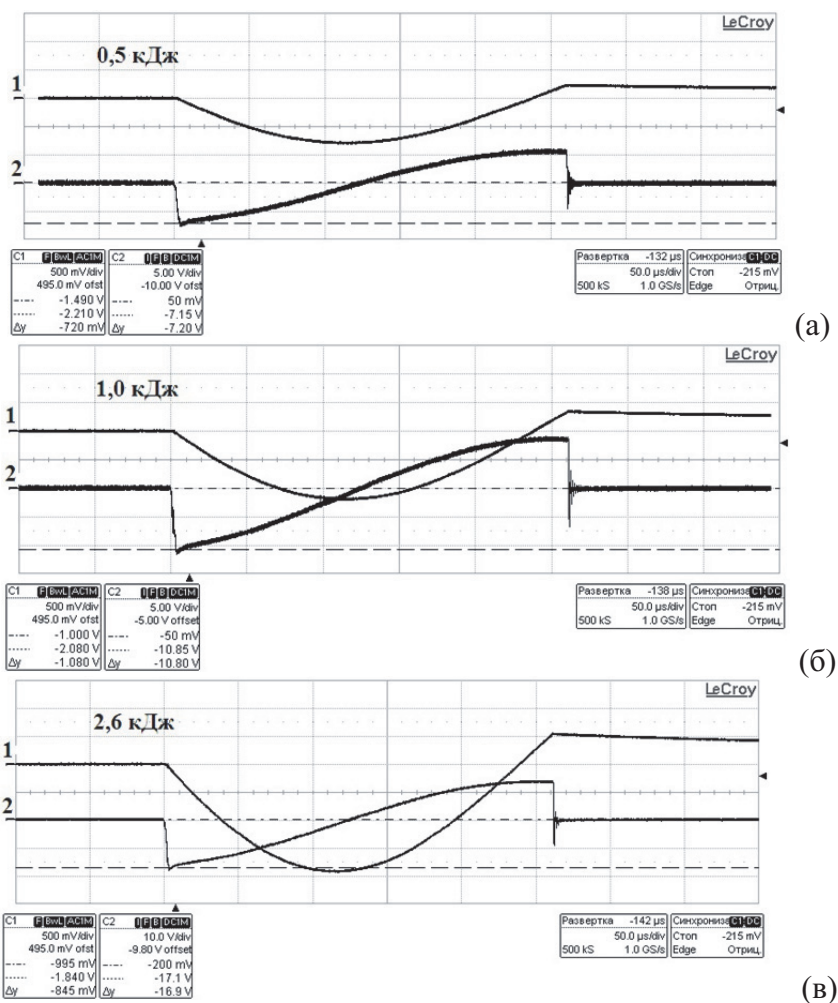


Рис. 4. Примеры осциллограмм разрядного тока (1) и напряженности (2) при различных параметрах воздействия на бензилпенициллин:
 (а) – $W = 0,5 \text{ кДж}$, $f = 2,1 \text{ кГц}$; (б) – $W = 1,0 \text{ Дж}$, $f = 2,1 \text{ кГц}$; (в) – $W = 2,6 \text{ кДж}$, $f = 2,1 \text{ кГц}$

Таблица 1. Параметры МИУ-3

| $I_{\text{max}}, \text{ A}$ | $W_{\text{max}}, \text{ кДж}$ | $L_0, \text{ нГн}$ | $U_0, \text{ кВ}$ | $f_0, \text{ кГц}$ |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 40 | 4,8 | 85 | 1...6 | 32 |

Внешний вид экспериментально-измерительного стенда показан на рисунке 5.

Программа эксперимента и параметры воздействия ИМП на порошок бензилпенициллина приведены в таблице 2. Выбор параметров обработки обусловлен предыдущими экспериментами, поскольку эксперименты показали усиление активности бензилпенициллина при напряжённостях от $0,01 \cdot 10^6 \text{ А/м}$ до $17,2 \cdot 10^6 \text{ А/м}$. В качестве контроля служил не обработанный ИМП лекарственный препарат.

Условия съёмки исследуемых образцов. Исследование обработанного ИМП бензилпенициллина методом рентгеновской порошковой дифракции на оборудовании ДРОН-7 (ИЦ «Буревестник», Россия). Регистрация дифрактограмм исследуемых образцов производилась не

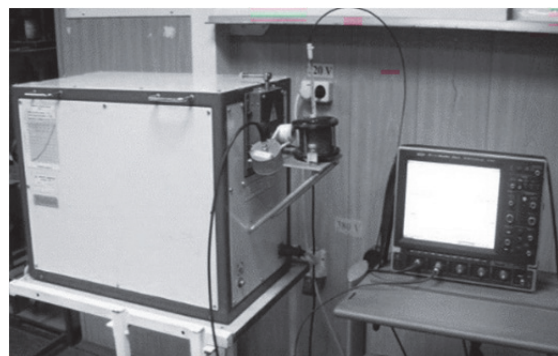


Рис. 5. Внешний вид экспериментального стенда более чем через 15-25 минут после обработки импульсным магнитным полем бензилпенициллина. Анализ антибиотика осуществлялся при комнатной температуре с фокусировкой по

Таблица 2. Параметры воздействия ИМП на бензилпенициллина натриевую соль

| № опытного образца | Напряжение U, кВ | Энергия W, кДж | Напряженность H, 10 ⁶ А/м | Ток I _{max} , кА |
|--------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1-3 | Контроль (без обработки ИМП) | | | |
| 4-6 | 2,1 | 0,5 | 2,0 | 4,4 |
| 7-9 | 3,2 | 1,0 | 3,0 | 6,3 |
| 10-12 | 5,1 | 2,6 | 6,0 | 10,4 |
| 13-15 | 5,9 | 3,5 | 6,9 | 12,0 |

Брэггу-Брентано (CuK α -излучение, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, Ni-фильтр) при 40 кВ, 30 мА в интервале углов 2θ от 10° до 70° с шагом сканирования $h_0 = 0,02^\circ$, время сканирования в точке, $\tau = 2 \text{ с}$. Для фильтрации β -излучения применялся никелевый фильтр. Для проведения съемки дифрактограмм, их предварительной обработки, качественного анализа и индирования использовалось программное обеспечение ООО «Синус Тета». Предварительная обработка проводилась в программе PDWin [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 6 представлены рентгенограммы бензилпенициллина после обработки ИМП с разной величиной напряженности.

Из рисунка 6 видно, что при воздействии ИМП с напряженностями от $2,0 \cdot 10^6 \text{ А/м}$ до $6,9 \cdot 10^6 \text{ А/м}$ на антибиотик пики (102) и (120) уменьшаются, а пик (201) увеличивается по сравнению с не обработанным препаратом. Отмеченное изменение интенсивности интерференционных линий может возникнуть при частичном ис-

кажении кристаллической решетки бензилпенициллина после обработки ИМП, в частности, из-за смещения атомов от идеальных позиций.

Дезорганизация кристаллической решетки бензилпенициллина после обработки ИМП может привести к изменению параметров кристаллической решетки антибиотика, при этом изменение параметров кристаллической решетки вероятно отразится на конформации молекулы лекарственного препарата относительно направления приложенного ИМП, что может способствовать увеличению сродства к активному центру фермента транспептидазы, тем самым повышая антибактериальную активность лекарственного препарата.

Полученные результаты поискового эксперимента – это только первый шаг в данном направлении. На этом этапе отработывалась методика исследования (подготовка образцов, обработка порошковой композиции, регистрация дифрактограмм исследуемых образцов). Приведенные в статье результаты подлежат тщательной проверке при развороте системных исследований.

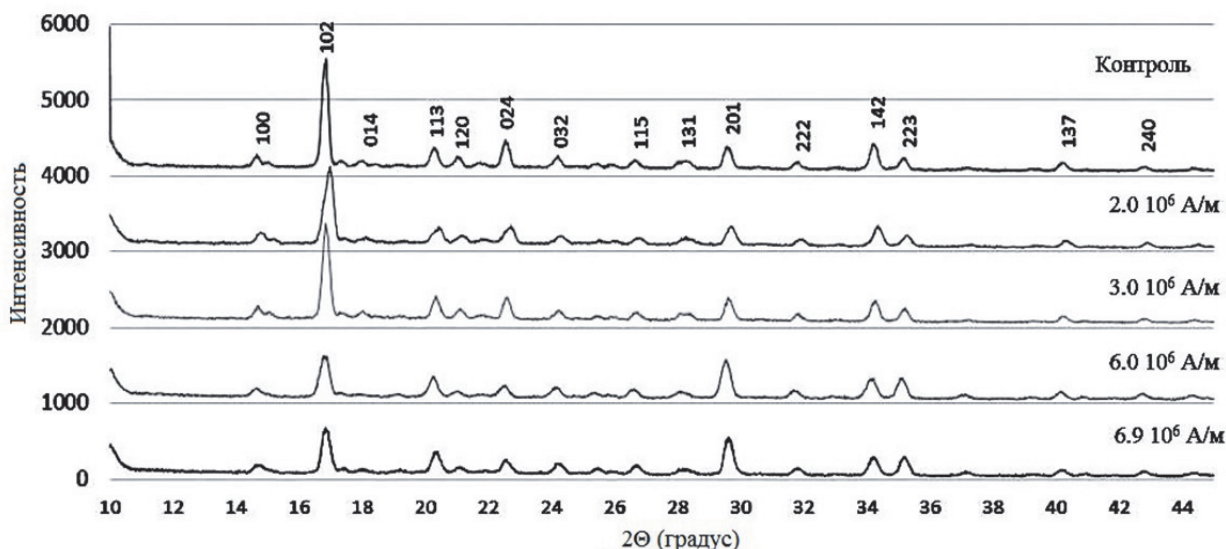


Рис. 6. Дифрактограммы бензилпенициллина натриевой соли после обработки ИМП

ВЫВОД

С помощью порошкового рентгеновского дифрактометра установлен факт дезорганизации кристаллической решетки порошкообразного бензилпенициллина под воздействием импульсного магнитного поля напряженностью $(2\div 7) \cdot 10^6$ А/м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Changes in the Antibacterial Activity of Benzylpenicillin Exposed to a Pulsed High-Intensity Magnetic Field / V.A. Glushchenkov, T.I. Vasilyeva, P.P. Purigin, I.A. Belyaeva, N.A. Rodenko, A.K. Madyarova, R.J. Jusupov // *Biophysics*. 2019. Vol. 64. I. 2. P. 214–223.
- Changes in the Structure of the Benzylpenicillin Sodium Salt Molecule under the Pulsed Magnetic Field / N.A. Rodenko, V.A. Zhukova, T.I. Vasilyeva, V.A. Glushchenkov, I.A. Belyaeva // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. 2021. № 7 (1). P.010305.
- Effects of magnetic solutions on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in grapevine (*Vitis vinifera* L.) / E. Zareei, F. Zaare-Nahandi, S. Oustan, J. Hajilou // *Scientia Horticulturae*. 2019. V. 253 P. 217–226.
- Vipulanandan, C., Mohammed A. Magnetic field strength and temperature effects on the behavior of oil well cement slurry modified with iron oxide nanoparticles and quantified with vipulanandan models // *Journal of Testing and Evaluation*. 2020. V. 48. I. 6. P.2050–2060.
- Mojca, B., Lipus L.C., Kokol V. Magnetic Field Effects on Redox Potential of Reduction and Oxidation Agents // *Magnetic field effects on redox potential*. 2008. V.81. P.413–421.
- Magnetic field effect on the oxidation of organic substances by molecular oxygen / E. M. Pliss, A. M. Grobov, A.K. Kuzayev, A. L. Buchachenko // *Journal of Physical Organic Chemistry*. 2018. V. 23. P. 3915–3927.
- Synergic effect of retinoic acid and extremely low frequency magnetic field exposure on human neuroblastoma cell line BE (2)C / P. Marcantonio, B. Del Re, A. Franceschini, M. Capri, S. Lukas, F. Bersani, G. Giorgi // *Bioelectromagnetics*. 2010. V. 31. I. 6. P. 425–433.
- Effect of static magnetic field on water at kinetic condition / A. Szczes, E. Chibowski, L. Holysz, P. Rafalski // *Chem. Eng. Process*. 2011. V.50. P.124–127.
- Evelyn Toledo J. L., Teodorico R. C., Zuy M. Magriotis Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from Experiment and theoretical models // *Journal of molecular structure*. 2008. V. 8. P. 409–415.
- Effect of pulsed electric fields on the antibacterial activity of ovotransferrin and mechanism of action / T. Zhang, D. Liu, Y. Yuan, J. Zheng, H. Ye, C. Xi, Y. Yin, S. Ahmad // *Advanced Materials Research*. 2013. V. 734–737. P. 2260–2268.
- Combination of static magnetic field and cisplatin in order to reduce drug resistance in cancer cell lines / A. Jalali, J. Zafari, F. J. Jouni, P. Abdolmaleki, F.H. Shirazi, M.J. Khodayar // *International Journal of Radiation Biology*. 2019. V. 95. I. 8. P.1194–1201.
- Kakikawa M., Yamada S. Effect of extremely low-frequency (ELF) magnetic fields on anticancer drugs potency // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2012. V. 48. I. 11. P. 2869–2872.
- Simon H. Directed polymorphism may lead to better treatments // *Официальный сайт Европейского союза*. 2019. URL: https://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.c.. (дата обращения 07.01.2022).
- Прокофьев, А.Б. Магнитно-импульсная обработка материалов / А.Б. Прокофьев, И.А. Беляева, В.А. Глушченков, В.Ф. Карпущин, Д.Г. Черников, Р.Ю. Юсупов. Самара: АНО Издательство СНЦ, 2019. 140 с.
- Роденко, Н.А. Исследование безопасности применения бензилпенициллина натриевой соли после воздействия на нее импульсным магнитным полем / Н.А. Роденко, Т.И. Васильева, И.А. Беляева, В.А. Глушченков, П.П. Пуругин, А.В. Самородов, Л.И. Баширова // *Бутлеровские сообщения*. 2019. Т. 58. № 6. С. 123–129.
- Роденко, Н.А. Изменение активности различных антиагрегантов тромбоцитов при их облучении импульсным магнитным полем высокой напряженности / Н.А. Роденко, И.А. Беляева, Т.И. Васильева, В.А. Глушченков, А.В. Самородов, П.П. Пуругин, О.И. Каганов // *Бутлеровские сообщения*. 2019. Т. 59. № 9. С. 117–124.
- Роденко Н.А. Влияние микроокружения на активность лекарственных препаратов, облученных импульсным магнитным полем / Н.А. Роденко, Т.И. Васильева, И.А. Беляева // *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2020. Т. 5. № 1. С. 154–157.
- The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses / M.V. Loginova, V.I. Yakovlev, A.A. Sitnikov, A.V. Sobachkin, S.G. Ivanov, A.Z. Negodyaev, A.V. Gradoboev // *The Physics of Metals and Metallography*. 2017. № 118(2). P.170–175.
- X-Ray Powder Diffraction Patterns for Certain b-Lactam, Tetracycline and Macrolide Antibiotic Drugs / S. Thangadural, J.T. Abraham, A.K. Srivastava, M. Nataraja, S.K. Shukla, Y. Anjaneyulu // *Analytical sciences*. 2005. V.21. – P. 833–838.
- Glushchenkov V.A., Stukalov S.A., Golusov T.A. Use of magnetic-pulse working during prosthetic manufacture // *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo* 1994. Issue 2. P. 20–21.
- Glushchenkov V.A., Grechnikov F.V., Malyshev B.S. Pulse-magnetic processing technology when making parts and units of aerospace engineering // *Journal De Physique*. IV: JP 1997. Vol. 7. I.3.
- Cerny R. Favre-Nicolin V. Direct space methods of structure determination from powder diffraction: principles, guidelines, perspectives // *Z. Kristallogr*. 2007. № 222. P. 105–113.

CHANGES IN THE CRYSTAL STRUCTURE OF POWDER BENZYL PENICILLIN SODIUM SALT UNDER THE INFLUENCE OF A HIGH-INTENSITY PULSED MAGNETIC FIELD

© 2022 N.A. Rodenko^{1,2}, V.A. Glushchenkov^{1,2}, K.A. Osintsev¹,
S.V. Konovalov¹, I.A. Belyaeva^{1,2}, T.I. Vasilyeva¹

¹Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

²Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

To understand the nature of the influence of a pulsed magnetic field on the antibacterial properties of benzylpenicillin sodium salt against *Escherichia coli M-17* bacteria, an exploratory study of benzylpenicillin sodium salt powder under X-ray radiation was performed. Corresponding diffraction patterns were obtained, reflecting the changes occurring in the antibiotic molecule after the impact of a PMF on the drug. The fact of disorganization of the crystal lattice of powdered benzylpenicillin under the influence of a pulsed magnetic field with a strength of $(2\div 7) \cdot 10^6$ A/m has been established.

Key words: benzylpenicillin sodium salt, diffractometry, increase in antibacterial activity, substance structure, pulsed magnetic field.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-1-30-36

List of used abbreviations: PMF - pulsed magnetic field.

REFERENCES

- Changes in the Antibacterial Activity of Benzylpenicillin Exposed to a Pulsed High-Intensity Magnetic Field / V.A. Glushchenkov, T.I. Vasilyeva, P.P. Purigin, I.A. Belyaeva, N.A. Rodenko, A.K. Madyarova, R.J. Jusupov // *Biophysics*. 2019. Vol. 64. I.2. P. 214-223.
- Changes in the Structure of the Benzylpenicillin Sodium Salt Molecule under the Pulsed Magnetic Field / N.A. Rodenko, V.A. Zhukova, T.I. Vasilyeva, V.A. Glushchenkov, I.A. Belyaeva // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. 2021. № 7 (1). P.010305.
- Effects of magnetic solutions on some biochemical properties and production of some phenolic compounds in grapevine (*Vitis vinifera* L.) / E. Zareei, F. Zaare-Nahandi, S. Oustan, J. Hajilou // *Scientia Horticulturae*. 2019. V. 253 P. 217-226.
- Vipulanandan, C., Mohammed A. Magnetic field strength and temperature effects on the behavior of oil well cement slurry modified with iron oxide nanoparticles and quantified with vipulanandan models // *Journal of Testing and Evaluation*. 2020. V. 48. I. 6. P.2050-2060.
- Mojca, B., Lipus L.C., Kokol V. Magnetic Field Effects on Redox Potential of Reduction and Oxidation Agents // *Magnetic field effects on redox potential*. 2008. V.81. P.413-421.
- Magnetic field effect on the oxidation of organic substances by molecular oxygen / E. M. Pliss, A. M. Grobov, A.K. Kuzaev, A. L. Buchachenko // *Journal of Physical Organic Chemistry*. 2018. V. 23. P. 3915-3927.
- Synergic effect of retinoic acid and extremely low frequency magnetic field exposure on human neuroblastoma cell line BE (2)C / P. Marcantonio, B. Del Re, A. Franceschini, M. Capri, S. Lukas, F. Bersani, G. Giorgi // *Bioelectromagnetics*. 2010. V. 31. I. 6. P. 425-433.
- Effect of static magnetic field on water at kinetic condition / A. Szczes, E. Chibowski, L. Holysz, P. Rafalski // *Chem. Eng. Process*. 2011. V.50. P.124-127.
- Evelyn Toledo J. L., Teodorico R. C., Zuy M. Magriotis Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from Experiment and theoretical models // *Journal of molecular structure*. 2008. V. 8. P. 409-415.
- Effect of pulsed electric fields on the antibacterial activity of ovotransferrin and mechanism of action / T. Zhang, D. Liu, Y. Yuan, J. Zheng, H. Ye, C. Xi, Y. Yin, S. Ahmad // *Advanced Materials Research*. 2013. V. 734-737. P. 2260-2268.
- Combination of static magnetic field and cisplatin in order to reduce drug resistance in cancer cell lines / A. Jalali, J. Zafari, F. J. Jouni, P. Abdolmaleki, F.H. Shirazi, M.J. Khodayar // *International Journal of Radiation Biology*. 2019. V. 95. I. 8. P.1194-1201.
- Kakikawa M., Yamada S. Effect of extremely low-frequency (ELF) magnetic fields on anticancer drugs potency // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2012. V. 48. I. 11. P. 2869-2872.
- Simon H. Directed polymorphism may lead to better treatments // *Официальный сайт Европейского союза*. 2019. URL: https://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.c.. (дата обращения 07.02.2022).
- Prokof'ev, A.B. Magnitno-impul'snaya obrabotka materialov / A.B. Prokof'ev, I.A. Belyaeva, V.A. Glushchenkov, V.F. Karpuhin, D.G. Chernikov, R.YU. YUsupov. Samara: ANO Izdatel'stvo SNC, 2019. 140 s.
- Rodenko, N.A. Issledovanie bezopasnosti primeneniya benzilpenicillina natrievoy soli posle vozdeystviya na nee impul'snym magnitnym polem / N.A. Rodenko, T.I. Vasil'eva, I.A. Belyaeva, V.A. Glushchenkov, P.P. Purigin, A.V. Samorodov, L.I. Bashirova // *Butlerovskie soobshcheniya*. 2019. T. 58. № 6. S. 123-129.
- Rodenko, N.A. Izmenenie aktivnosti razlichnyh antiagregantov trombocitov pri ih obluchenii impul'snym magnitnym polem vysokoy napryazhennosti / N.A. Rodenko, I.A. Belyaeva, T.I. Vasil'eva, V.A. Glushchenkov, A.V. Samorodov, P.P. Purygin, O.I. Kaganov // *Butlerovskie soobshcheniya*. 2019. T. 59. № 9. S. 117-124.

17. Rodenko N.A., Vasil'eva T.I., Belyaeva I.A. Vliyanie mikrookruzheniya na aktivnost' lekarstvennykh preparatov, obluchennykh impul'snym magnitnym polem / N.A. Rodenko, T.I. Vasil'eva, I.A. Belyaeva // Aktual'nye voprosy biologicheskoy fiziki i himii. 2020. T. 5. № 1. S. 154-157.
18. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses / M.V. Loginova, V.I. Yakovlev, A.A. Sitnikov, A.V. Sobachkin, S.G. Ivanov, A.Z. Negodyaev, A.V. Gradoboev // The Physics of Metals and Metallography. 2017. № 118(2). P.170-175.
19. X-Ray Powder Diffraction Patterns for Certain β -Lactam, Tetracycline and Macrolide Antibiotic Drugs /S. Thangadural, J.T. Abraham, A.K. Srivastava, M. Nataraja, S.K. Shukla, Y. Anjaneyulu // Analytical sciences. 2005. V.21. – P. 833-838.
20. Glushchenkov V.A., Stukalov S.A., Goliusov T.A. Use of magnetic-pulse working during prosthetic manufacture // Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo 1994. Issue 2. P. 20-21.
21. Glushchenkov V.A., Grechnikov F.V., Malyshev B.S. Pulse-magnetic processing technology when making parts and units of aerospace engineering // Journal De Physique. IV: JP 1997. Vol. 7. I.3.
22. Cerny R., Favre-Nicolin V. Direct space methods of structure determination from powder diffraction: principles, guidelines, perspectives // Z. Kristallogr. 2007. № 222. P. 105-113.

Natalia Rodenko, Postgraduate Student, Research Engineer of the Bioengineering Laboratory of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: t.rodenko@mail.ru

Vladimir Glushchenkov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory «Bioengineering» of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. E-mail: vgl@ssau.ru

Kirill Osintsev, Postgraduate Student, Junior Researcher of the Branch Research Laboratory of Aviation Materials Science. E-mail: osincev_ka@ssau.ru

Sergey Kononov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science. E-mail: kvs@ssau.ru

Irina Belyaeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: belyaeva-ommr@yandex.ru

Tatyana Vasilyeva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biochemistry, Biotechnology and Bioengineering, Samara University. E-mail: vastaty@rambler.ru