

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей и неорганической химии
наименование кафедры

Квантово-химическое изучение хемилюминесценции производных
люминола

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 411 группы

направления 04.03.01 «Химия»

код и наименование направления

Института химии

наименование факультета

Видищевой Ксении Андреевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

доцент кафедры, к.х.н

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.В. Маркин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.х.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

И.Ю. Горячева

инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Давно известно, что в живых организмах присутствует фолиевая кислота (ФК). Она является чувствительной к внешним факторам и способна реагировать с различными веществами, например, с аминокислотными остатками. Поскольку ФК является неустойчивой, она деградирует на п-аминобензоилглутаминовую кислоту (ПАБК-ГЛУ) и 6-формилптерин (Фпт), который при окислении кислородом превращается в 6-карбоксихптерин (Кпт). Птерины – это гетероциклические соединения, которые часто встречаются в живых организмах, в том числе, и в организме человека. Птерины способны фотоиндуцировать окисление различных биологических молекул, например, белков, что может негативно сказываться на их структуре и свойствах. Фотоиндуцированное повреждение - это явление, при котором световое излучение вызывает изменение свойств химических соединений.

Бычий сывороточный альбумин (БСА) является одним из наиболее широко изученных белков группы альбуминов, особенно из-за его структурной схожести с человеческим сывороточным альбумином (ЧСА), и обладает внутренней ФЛ при $\lambda_{\text{возб.}}=280$ нм за счет присутствия в своей структуре двух остатков триптофана. Из-за присутствия ФК и сывороточного альбумина в организме человека важно исследовать их взаимодействие, так как фотоиндуцированное окислительное действие птеринов может привести к повреждению молекул белка.

Целью работы являлось изучение взаимодействия ФК и её продуктов фотодеградации с БСА.

Задачи исследования включали: исследование тушения флуоресценции (ФЛ) БСА ФК; исследование тушения ФЛ продуктов фотодеградации фолиевой кислоты (ФК-УФ) БСА; анализ констант Штерна-Фольмера и констант связывания на основе тушения ФЛ БСА фолиевой кислотой и тушения ФЛ ФК-УФ бычьим сывороточным альбумином.

Материалы и методы исследования. Исследовали взаимодействие ФК и продуктов фотодегградации ФК с БСА.

Для регистрации спектров поглощения и испускания использовали спектрофотометр SHIMADZU UV-1800 и спектрофлуориметр Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer, варьируя длину волны возбуждающего света. Регистрацию времени жизни флуоресценции проводили на спектрофлуориметре для измерения времени жизни флуоресценции DeltaPro в диапазоне 100 нс при 30000 точках в пике с использованием диода 358 нм без фильтров (поляризация $0^\circ/54.7^\circ$).

Структура и объем работы. Выпускная квалификационная работа (ВКР) состоит из раздела обозначений и сокращений, введения, трех глав («Литературный обзор», «Экспериментальная часть», «Результаты и обсуждения»), выводов и списка использованных источников. В тексте работы содержатся уравнения и графические иллюстрации. Общий объем ВКР составляет 50 страниц, включая 26 рисунков.

Основное содержание работы.

В главе 1 представлен обзор литературы, в котором обсуждаются роль ФК и фолатов в организме человека, строение ФК и воздействие внешних факторов на её свойства (особое внимание было уделено фотодегградации ФК, в результате которой образуются новые фотопродукты с отличающимися от ФК свойствами), современные методы изучения процессов с участием ФК и взаимодействие ФК с белковыми молекулами.

В главе 2 описаны материалы и методы, используемые в работе.

В главе 3 обсуждаются экспериментальные спектральные характеристики ФК, БСА, смеси ФК и БСА, смеси продуктов фотодегградации ФК и БСА, приведены расчеты константы Штерна-Фольмера и константы связывания исследуемых смесей, а также сравнение результатов, полученных экспериментально с литературными данными.

Взаимодействие БСА с ФК и с продуктами её фотодеградации.

Вначале было исследовано тушение ФЛ БСА ФК при $\lambda_{\text{возб.}}=280\text{нм}$. При увеличении концентрации ФК ФЛ БСА уменьшается, что говорит о том, что произошло тушение ФЛ (рисунок 1 А). Из профиля тушения ФЛ видно, что максимальное тушение ФЛ наблюдается при максимально взятой концентрации на 92% (рисунок 1 Б)

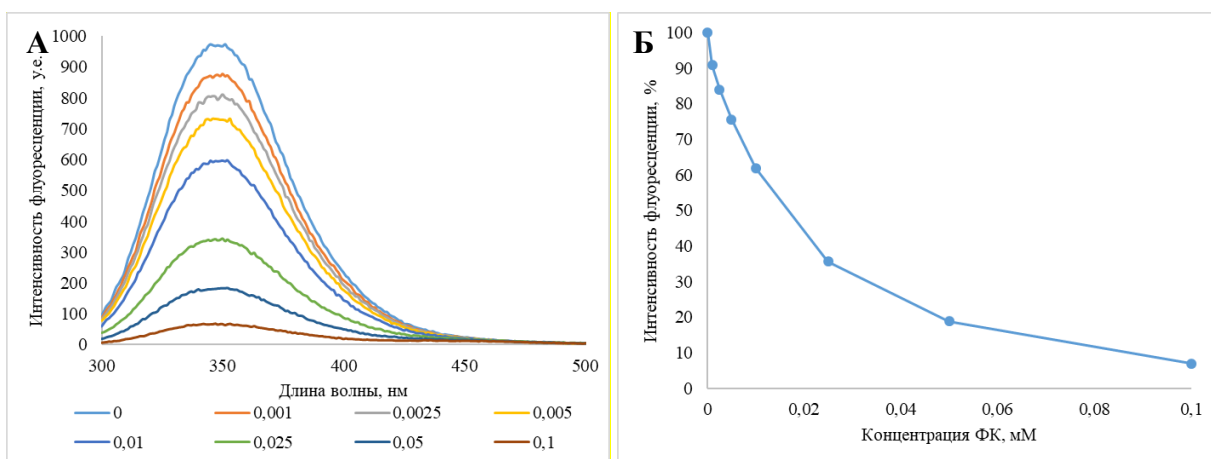


Рисунок 1 – Спектры (А) и профиль тушения ФЛ (Б) при $\lambda_{\text{возб.}}=280\text{нм}$ смеси бычьего сывороточного альбумина фолиевой кислотой с различными концентрациями (в мМ)

Затем было исследовано взаимодействие продуктов фотодеградации с БСА. Из полученных спектров поглощения растворов ФК-УФ и БСА видно, что при увеличении концентрации БСА в максимуме 350 нм уменьшается оптическая плотность, сдвига максимума не происходит (рисунок 2).

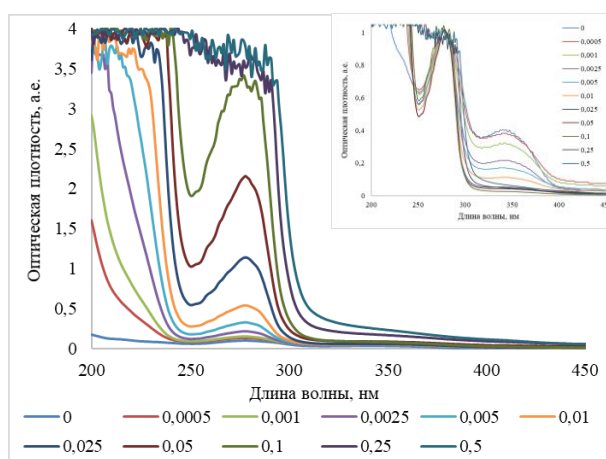


Рисунок 2 - Спектры поглощения и нормированные спектры ($\lambda_{\text{макс.}}=350\text{нм}$) (вставка) раствора смеси фотопродуктов ФК в диапазоне концентраций БСА от 0 до 0,5 мМ

Также были зарегистрированы спектры ФЛ при $\lambda_{\text{возб.}}=350\text{ нм}$, где возбуждается только молекулы ФК-УФ и происходит уменьшение

интенсивности ФЛ (рисунок 3 А). Максимальное тушение ФЛ наблюдается при концентрации БСА 0.025 мМ на ~47%, при больших концентрациях интенсивность ФЛ не уменьшается (рисунок 3 Б).

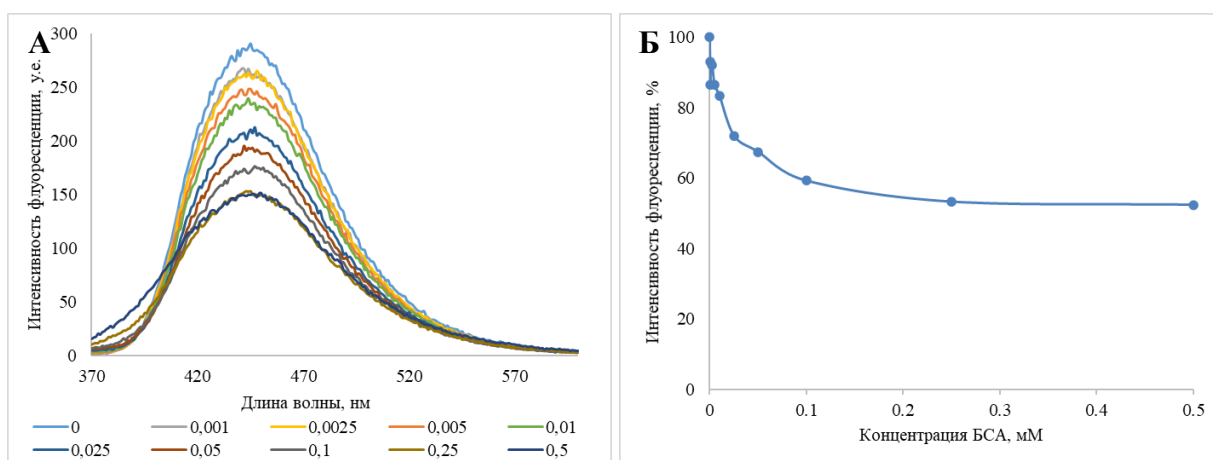


Рисунок 3 – Спектры (А) и профиль тушения (Б) флуоресценции при $\lambda_{\text{возб.}}=350\text{nm}$ смеси фотопродуктов ФК и БСА от концентрации (в мМ)

На представленных спектрах возбуждения ($\lambda_{\text{исп.}}=450\text{ nm}$) наблюдается уменьшение интенсивности ФЛ при увеличении концентрации БСА для обоих максимумов (280 и 350 нм) (рисунок 4). С повышением концентрации БСА в коротковолновой области и для максимума при 280 нм наблюдается батохромный сдвиг. Так как БСА не имеет испускания при 450 нм, описанные изменения в спектре возбуждения можно отнести только к молекулам ФК-УФ.

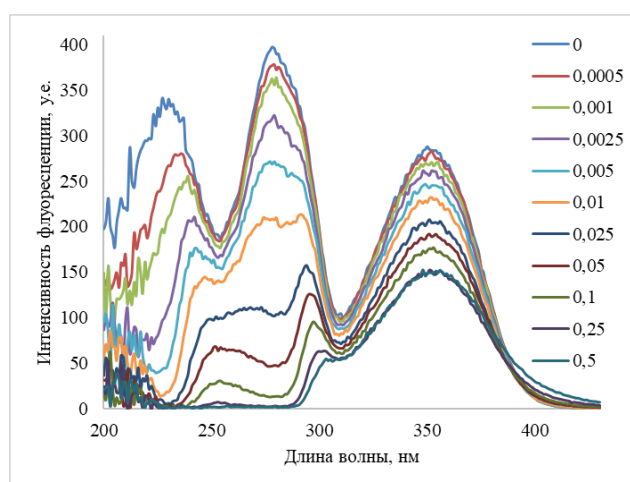


Рисунок 4 - Спектры возбуждения при $\lambda_{\text{исп.}}=450\text{nm}$ смеси фотопродуктов ФК с БСА от концентрации БСА (в мМ)

Время жизни ФЛ – это время, в течение которого молекулы флуорофоров находятся в возбужденном состоянии перед испусканием фотонов. Для

птеринов характерно короткоживущее время жизни ФЛ. Полученное значение $\tau=5.0\pm 0.1$ нс немного отличается от литературных данных ($\tau=5,8\pm 0,4$ нс) для кислотной формы Кпт, так как в нашем исследовании использовался не чистый раствор Кпт, а смесь продуктов фотодеградации.

При изучении времени жизни ФЛ было установлено, что БСА не влияет на время жизни ФЛ ФК-УФ. Так как график зависимости τ_0/τ времени жизни ФЛ имеет линейный вид и $\tau_0/\tau = 1$ на всем участке (рисунок 5), можно сказать, что тушение ФЛ идет преимущественно по статическому механизму с образованием комплекса.

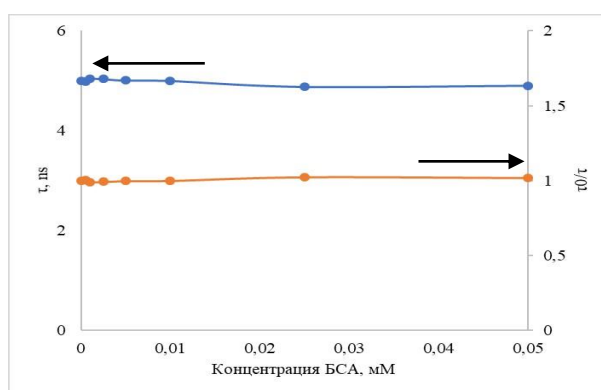


Рисунок 5 - Зависимость времени жизни флуоресценции смеси фотопродуктов ФК от концентрации БСА (синяя), зависимость τ_0/τ от концентрации БСА (оранжевая)

Расчет констант Штерна-Фольмера и констант связывания. По полученным данным были проведены расчеты константы Штерна-Фольмера и константы связывания.

Константа Штерна-Фольмера:

$$\frac{F_0}{F} = 1 + k_q t_0 [Q] = 1 + K_{S-V} [Q] \quad (1)$$

Константа связывания вытекает из уравнения зависимости интенсивности ФЛ от концентрации тушителя ФЛ:

$$\frac{F_0 - F}{F - F_{\infty}} = \left(\frac{[Q]}{K_{\text{дисс.}}} \right)^n \Rightarrow$$

$$K_{\text{связ.}} = \frac{1}{K_{\text{дисс.}}}$$

где F_0 – интенсивность ФЛ БСА без добавления ФК, F – интенсивность ФЛ БСА с добавлением ФК, F_∞ – предельная интенсивность ФЛ БСА с добавлением ФК при насыщении, k_q – бимолекулярная константа скорости тушения ФЛ, t_0 – время жизни ФЛ в отсутствие тушителя, Q – концентрация тушителя, K_{S-v} – константа тушения Штерна-Фольмера $K_{дисс.}$ – константа диссоциации, $K_{связ.}$ – константа связывания.

Основываясь на уравнении (1) и значениях времени жизни ФЛ, были рассчитаны бимолекулярные константы скорости тушения ФЛ.

Таблица 1 – значения констант Штерна-Фольмера, констант связывания и бимолекулярных констант скорости тушения ФЛ для смесей ФК и БСА, ФК-УФ и БСА

	ФК+БСА	ФК-УФ+БСА
K_{S-v}	$1.1 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}$	$3.4 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$
k_q	$1.1 \cdot 10^{13} \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ (по литературным данным времени жизни ФЛ БСА)	$6.8 \cdot 10^{12} \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ (по полученным данным времени жизни ФЛ ФК-УФ)
$K_{связ.}$	$5.7 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$	$7.9 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучено взаимодействие БСА и ФК. Показано, что при взаимодействии БСА и ФК происходит тушение ФЛ БСА. По полученным значениям константы Штерна-Фольмера и константы связывания сделали вывод о хорошей эффективности тушения ФЛ БСА и о образовании комплекса преимущественно по статическому механизму.
2. Изучено взаимодействие БСА и продуктов фотодеградаци ФК. Установлено, что при взаимодействии БСА и ФК-УФ происходит тушение ФЛ ФК-УФ. По полученным значениям константы Штерна-Фольмера и константы связывания также сделали вывод о хорошей эффективности тушения ФЛ БСА и образовании комплекса. Значения времени жизни ФЛ говорят о статическом механизме тушения.
3. Несмотря на различные значения констант Штерна-Фольмера и констант связывания, было показано, что при взаимодействии БСА с ФК и ФК-УФ тушение ФЛ протекает по статическому механизму с образованием комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lu, J., Studies on interaction between adriamycin and serum albumin as well as effect of ions on the reaction / Lu, J., Zhang, G.; Zhao, P.; He, X.; Shi, H. // *Acta Chim Sinica* – 1997. – Vol. 55. – P. 915– 920.
2. Lorente C., A model to understand type I oxidations of biomolecules photosensitized by pterins / Lorente C, Serrano M. P., Vignoni M., Dántola M. L., Thomas A. H. // *J. Photochem. Photobiol. Elsevier B.V.* - 2021. - Vol. 7. - P. 100045.
3. P. Bourassa, Folic acid complexes with human and bovine serum albumins / P. Bourassa, I. Hasni, H.A. Tajmir-Riahi // *J. Food Chem.* – 2011. – Vol. 129. – P. 1148-1155.
4. Thomas A.H., Soybean phosphatidylcholine liposomes as model membranes to study lipid peroxidation photoinduced by pterin / Thomas A.H., Catalá Á., Vignoni M. // *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr. Elsevier B.V.* - 2016. - Vol. 1858 (1). - P. 139–145.
5. MARIA C., Catecholamines Increase in the Urine of Non-Segmental Vitiligo Especially During Its Active Phase / MARIA C., PIETRO F. , GIUSEPPE S. , STEFANIA P., GIOVANNI O. // *PIGM. CELL RES.* – 2003. – Vol. 16. – P. 111-116.
6. Soniat M., Binding affinities of folic acid and related pterins with biological macromolecules under physiological conditions / Soniat M., Martin C.B. // *Pteridines.* – 2015. – Vol. 26 (1). – P. 23-29.
7. Pfeiffer CM, Absorption of folate from fortified cereal-grain products and supplemental folate consumed with or without food determined by using a dual-label stable-isotope protocol / Pfeiffer CM, Rogers LM, Bailey LB, Gregory JF 3 // *The American Journal of Clinic. Nutrition.* – 1997. – Vol. 66(6). – P.1388-1397.
8. Mark L., Folic Acid: Nutritional Biochemistry, Molecular Biology, and Role in Disease Processes / Mark L. // *J. Molec. Genetics and Metabol.* – 2000. – Vol. 71. – P. 121-138.
9. Mary R., Folic acid fortification and public health: Report on threshold

doses above which unmetabolised folic acid appear in serum / Mary R., Joseph M., John S. // BMC Public Health. – 2007. – Vol. 7.

10. John S., Folic acid and folates: the feasibility for nutritional enhancement in plant foods / John S., Fabrice R., John F. // J. of the Science of Food and Agricult. – 2000. – Vol. 80. – P. 795-824.

11. Michal G. Biochemical pathways: an atlas of biochemistry and molecular biology / Michal G., Schomburg D. // New York: John Wiley and Sons Inc. – 2013. – P. 416.

12. Bender D., Folate and other pterins and vitamin B12 / Bender D. // Nutrit. Biochem. of the vit.. – 2003. – P. 270–322.

13. Laufey S., Food, Nutrition, and Health in Iceland / Laufey S., Gudjón T., Emma E. // Nutr. and Health Aspects of Food in Nord. Countr. – 2018. – Chapter 6.

14. Dántola M.L., Effect of pterin impurities on the fluorescence and photochemistry of commercial folic acid / Dántola M.L., Urrutia M.N., Thomas A.H. // J. Photochem. Photobiol. – 2018. – Vol. 181. – P. 157–163.

15. Akberova S., New Biological Properties of p-Aminobenzoic Acid / Akberova S. // Biolog. Bullet. – 2002. – Vol. 29 (4). – P. 390-393.

16. Рапопорт И.А., Роль пара-аминобензойной кислоты в репарации повреждений, индуцированных УФ- и γ -излучениями / Рапопорт И.А., Васильева С.В., Давниченко Л.С. // Докл. АН СССР. – 1979. – Vol. 247 (1). – P. 231–234.

17. Tashenova A.A., Treatment of cells with para-aminobenzoic acid reduces the number of DNA breaks induced by chemical mutagens / Tashenova A.A., Kulumbetova S.K., Sinel'shchikova T.A., Akhmatullin a N.B., Zasukhina G.D., Rapoport I.A. // Dokl. Akad. Nauk SSSR. – 1990. – Vol. 311 (4). – P. 977–979.

18. Gichner T., Effects of humic acids, para-aminobenzoic acid and ascorbic acid on the N-nitrosation of the carbamate insecticide propoxur and on the mutagenicity of nitrosopropoxur / Gichner T., Badaev S.A., Pospíšil F., Velemínský J. // Mutat. Res. – 1990. – Vol. 229 (1). – P. 37–41.

19. Эйгес Н.С., Некоторые аспекты ненаследственной изменчивости,

индуцированной на сельскохозяйственных культурах с помощью антиоксиданта пара-аминобензойной кислоты / Эйгес Н.С., Волченко Г.А., Волченко С.Г., Вайсфельд Л.И., Козлов В.С., Донец Н.В. // Автохтонні та інтродуковані рослини. – 2012. – Vol. 8. – P. 71–78.

20. Cronenberg L., New synthetic substances with phytohormonal properties / Cronenberg L., Abelle T., Pacheco H. // Bull. Soc. Chim. Biol. – 1964. – Vol. 46. – P. 703–715.

21. Moloney M. G., Excitatory amino acids / Moloney M. G // Natural product reports. – 2002. – Vol. 19 (5). – P. 597–616.

22. Thomas A.H., Fluorescence of pterin, 6-formylpterin, 6-carboxypterin and folic acid in aqueous solution : pH effects / Thomas A. H., Lorente C., Capparelli A. L., Pokhrel M. R., Braun A. M., Oliveros E. // Photochem. Photobiol. Sci. – 2002. – Vol. 1. – P. 421–426.

23. Tripet, F., Stability of solid folic-acid in relation to temperature and humidity / Tripet, F., Kesselring, U.W. // Pharm. Acta Helv. – 1975. – Vol. 50. – P. 318–322.

24. Vora. A., PROCESSES TO IDENTIFY THE DEGRADATION MECHANISM OF A SOLID WHICH APPEARS TO UNDERGO A COMPLEX REACTION: FOLIC ACID / Vora A., Riga A., Alexander K. // Instrument. Scien. & Techn. – 2011. – Vol. 20 (2). – P. 193-203.

25. Bojan J., Thermal Stability Investigation and the Kinetic Study of Folic Acid Degradation Process Under Nonisothermal Conditions / Bojan J. // AAPS PharmSciTech. – 2010. – Vol. 11 (1). – P. 103-112.

26. INDRAWATI., Comparative Study on Pressure and Temperature Stability of 5-Methyltetrahydrofolic Acid in Model Systems and in Food Products / INDRAWATI, ARROQUI C., MESSAGIE I., NGUYEN M., VAN LOEY A., HENDRICKX M. // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52. – P. 485-492.

27. Day. B., Thermal Stability of Folic Acid and 5-Methyltetrahydrofolic Acid in Liquid Model Food Systems / Day. B., Gregory F. // J. of Food Scien. – 1983. – Vol. 48. – P. 581-587.

28. Liang X., Research on Stability of Synthetic Folic Acid / Liang X., Zhao F., Hao L. // Trans Tech Public. – 2013. – Vols. 781-784. – P. 1215-1218.
29. Thomas A.H., Study of the photolysis of folic acid and 6-formylpterin in acid aqueous solutions / Thomas A. H., Suárez G., Cabrerizo F. M., Martino R., Capparelli A. L. // J. Photochem. Photobiol. A Chem. – 2000. – Vol. 135. – P. 147–154.
30. Off M. K., Ultraviolet photodegradation of folic acid / Off M. K., Steindal A. E., Porojnicu A. C., Juzeniene A., Vorobey A., Johnsson A., Moan J. // J. Photochem. Photobiol. B Biol. – 2005. – Vol. 80. – P. 47–55.
31. Akhtar M.J., Identification of photoproducts of folic acid and its degradation pathways in aqueous solution / Akhtar M.J., Khan M.A., Ahmad I. // J. Pharm. Biomed. Anal. – 2003. – Vol. 31. – P. 579–588.
32. Dántola M. L., Denofrio M. P., Zurbano B., Gimenez C. S., Ogilby P. R., Lorente C. T. A. H., The Ultraviolet Absorption of Vitamin Bc and Xanthopterin, Science (80-.), 1944, 100, 2596, 295–297.
33. Dantola M.L., Mechanism of photooxidation of folic acid sensitized by unconjugated pterins / Dántola M. L., Denofrio M. P., Zurbano B., Gimenez C. S., Ogilby P. R., Lorente C., Thomas A. H. // Photochem. Photobiol. Sci. – 2010. – Vol. 9. – P. 1604–1612.
34. Morten K., Ultraviolet photodegradation of folic acid / Morten K., Arnfinn E., Alina C., Asta J., Alexander V., Anders J. , Johan M. // J. of Photochem. and Photobiol. B: Biol. – 2005. – Vol. 80. – P. 47-55.
35. Blakley R.L. The Biochemistry of Folic Acid and Related Pteridines // North-holl. Publ. Co., Amsterdam. – 1969.
36. Gazzali A.M., Stability of folic acid under several parameters / Gazzali A. M., Lobry M., Colombeau L., Acherar S., Azaïs H., Mordon S., Frochot C. // Eur. J. Pharm. Sci. – 2016. – Vol. 93. – P. 419–430.
37. Monika A., Low folate intake and serum levels are associated with higher body mass index and abdominal fat accumulation: a case control study / Monika A., Anna M., Agata C. // Nutrition J. – 2020. – Vol. 19 (53).

38. Susanne H., Assay of whole blood (6S)-5-CH₃-H₄folate using ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry / Susanne H., Wolfgang H., Jürgen G., Rima O. // *Anal Bioanal Chem.* – 2021. – Vol. 404. – P. 895-902.
39. Duthie S., Uracil misincorporation in human DNA detected using single cell gel electrophoresis / S.Duthie, P.Mc.Millan // *Carcinogenes.* – 1997. – Vol. 18 (9). – P. 1709-1714.
40. Bruce A., Intrinsic Erythrocyte Labeling and Attomole Pharmacokinetic Tracing of ¹⁴C-Labeled Folic Acid with Accelerator Mass Spectrometry / Bruce A., Ali A., Stephen R., Philip D., Andrew J., John S. // *Analyt. Biochem.* – 1999. – Vol. 269. – P. 348-352.
41. Jesse F., Kinetic Model of Folate Metabolism in Nonpregnant Women Consuming [²H₂] Folic Acid: Isotopic Labeling of Urinary Folate and the Catabolite para-Acetamidobenzoylglutamate Indicates Slow, Intake-Dependent, Turnover of Folate Pools / Jesse F., Jerry W., Jo-Fu L., Lynn B., John P. // *Amer. Soc. for Nutrit. Scien.* – 1998.
42. Jilin Y., Dye-doped nanoparticles for bioanalysis / Jilin Y., Carmen E., Joshua E., Kemin W., Xiaoxiao H., Lin W., Weihong T. // *J. Nanotoday.* – 2007. – Vol. 2 (3). – P. 44-50.
43. Willianne L., Methylenetetrahydrofolate Reductase Polymorphism Affects the Change in Homocysteine and Folate Concentrations Resulting from Low Dose Folic Acid Supplementation in Women with Unexplained Recurrent Miscarriages / Willianne L., Henk J., Chris M., Eric A., Godfried H., Tom K. // *Amer. Soc. for Nutrit. Scien.* – 1998.
44. Asak C., Folate Receptors / Asak C. // *J. Annu. Rev. Nutr.* – 1996. – Vol. 16. – P. 501-521.
45. Daniel J., Folate receptor alpha (FRA) expression in breast cancer: identification of a new molecular subtype and association with triple negative disease / Daniel J., Elizabeth B. , Julia M. , Robert S., Yao-Shi F. // *J. SpringerPl.* – 2012. – Vol. 1 (22). – P. 1-9.

46. Gary B., FOLATE-BINDING PROTEINS / Gary B. // J. Annu. Rev. Nut. – 1990. – Vol. 10. – P. 319-335.
47. Herbert, V., Study on the identification of a folate compound of human serum / Herbert V., Larrabee, A., Buchanan, J. // J. of Clinic. Investig. – 1962. – Vol. 41. – P. 1134–1138.
48. Li Y., Fluorescence study on the interaction of bovine serum albumin with P-aminoazobenzene/ Li Y., Zhang Y. Z., Zhou B., Zhou C. X., Ding X. L., Liu Y. X. //J. of Fluor. - 2008. – Vol. 18 (1). – P. 109-118.
49. Niki S., Thermodynamic studies on the interaction of folic acid with bovine serum albumin / Niki S., Nand K. // J. Chem. Thermodynam. – 2011. – Vol. 43. – P. 814-821.
50. Carter D.C., Three-Dimensional Structure of Human Serum Albumin / Carter D.C., Xiau-Min He, Munson S.H., Twigg P.D., Gernert K.M., Broom M.B., Miller T.Y.// Sci. – 1989. - Vol. 244. - P. 1195-1198.
51. Bo Z., Interaction of loratadine with serum albumins studied by fluorescence quenching method / Bo Z., Zu-De Q., Qi X., Jia-Xin D., Ye-Zhong Z., Yi L. // J. Biochem. Biophys. Methods. – 2007. – Vol. 70. – P. 743-747.
52. Dantola M. L., Photosensitization of peptides and proteins by pterin derivatives / Dantola M. L., Reid L. O., Castañó C., Lorente C., Oliveros E., Thomas A. H. // J. Pteridin. – 2017. – Vol. 28 (3-4). – P. 105-114.
53. Thomas A. H., Photosensitization of bovine serum albumin by pterin: A mechanistic study / Thomas A. H., Lorente C., Roitman K., Morales M. M., Dántola M. L. // J. of Photochem. and Photobiol. B: Biol. – 2013. – Vol. 120. – P. 52-58.
54. Zhen W., Solubility of Folic Acid in Water at pH Values between 0 and 7 at Temperatures (298.15, 303.15, and 313.15) K / Zhen W., Xiuxi L., Chunyan H., Yu Q. // J. Chem. Eng. Data. – 2010. – Vol. 55. – P. 3958-3961.
55. Kaushik G., Fluorescence spectral studies on interaction of fluorescent probes with Bovine Serum Albumin / Kaushik G., Sweetey R., Deepshikha Arora // J. of Luminesc. – 2015. – Vol. 16. – P. 1-24.