

Научная статья  
УДК 543.421:663.443.1  
DOI: 10.37102/0869-7698\_2022\_222\_02\_5

## Влияние лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки

Н.Е. Куликова✉, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, О.Ю. Попова

*Наталья Евгеньевна Куликова*

кандидат технических наук, доцент  
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия  
nataliyakulikova67@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

*Антонина Григорьевна Чернобровина*

кандидат технических наук, доцент  
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия  
ag\_61@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

*Наталья Николаевна Роева*

доктор химических наук, профессор  
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия  
Olyga\_roeва@mgupr.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

*Ольга Юрьевна Попова*

преподаватель  
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия  
ropovaou@mgupr.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

**Аннотация.** Представлены результаты исследования влияния гелий-неонового лазера на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки. Экспериментально определены условия воздействия лазерного излучения, его оптимальная мощность и длительность воздействия, при которых активность ферментного препарата Амилосубтилин ГЗХ повышается на 50 %, Амилосубтилин Г10Х – на 35 %, Амилосубтилин Г20Х – на 27 %. Более очищенный препарат в меньшей степени подвергается активации при лазерном облучении, это не только позволяет снизить дозировку препарата, но и дает возможность применять более экономичные, не высокоочищенные промышленные ферменты для использования в технологическом процессе.

**Ключевые слова:** гелий-неоновый лазер, активация, фермент

*Для цитирования:* Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Влияния лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 63–71. [https://doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_222\\_02\\_5](https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_5).

Original article

## Effect of laser radiation on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification

N.E. Kulikova✉, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva, O.Yu. Popova

*Natal'ya E. Kulikova*

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[nataliyakulikova67@mail.ru](mailto:nataliyakulikova67@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

*Antonina G. Chernobrovina*

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[ag\\_61@list.ru](mailto:ag_61@list.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

*Natalya N. Roeva*

Doctor of Science (chemistry), Professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[roeva@mgupp.ru](mailto:roeva@mgupp.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

*Olga Yu. Popova*

Teacher  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[popovaoyu@mgupp.ru](mailto:popovaoyu@mgupp.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

**Abstract.** The paper presents the results of a study of the effect of a helium-neon laser on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification. Experimentally determined the conditions of exposure to laser radiation, its optimal power and exposure duration. It has been shown that under those conditions the activity of the enzyme preparation Amylosubtilin G3X increases by 50 %, Amylosubtilin G10X – by 35 %, Amylosubtilin G20X – by 27 %. Moreover, a more purified drug is less activated by laser irradiation, this will not only reduce the dosage of the drug, but also makes it possible to use more economical, not highly purified industrial enzymes for practical use in the technological process.

**Keywords:** helium-neon laser, activation, enzyme

**For citation:** Kulikova N.E., Chernobrovina A.G., Roeva N.N., Popova O.Yu. Effect of laser radiation on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification. *Vestnik of the FEB RAS.* 2022;(2):63–71. (In Russ.). [https://doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_222\\_02\\_5](https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_5).

## Введение

Белки являются весьма лабильными соединениями и при некоторых специфических изменениях условий в течение очень короткого промежутка времени могут подвергнуться конформационным изменениям. Есть предположение, что при этом каждая молекула или ее участок способен принимать любую конформацию, допускаемую больмановской зависимостью между конформацией и величиной отклонения свободной энергии от ее минимального значения [1–4]. Факторами, влияющими на конформационную подвижность макромолекулы фермента и, следовательно, на его каталитическую активность, выступают, в частности, некоторые физико-химические воздействия (тепловая обработка, методы кругового дихроизма, ядерно-магнитный резонанс, методы флуоресцентной спектроскопии, гелий-неоновый лазер и мн. др.) [4–6].

Интерес к управлению активностью ферментов обусловлен их использованием в различных отраслях промышленности, которое, с одной стороны, позволяет интенсифицировать технологический процесс, с другой – как правило, увеличивает себестоимость готовой продукции. Поэтому поиск путей повышения каталитической активности ферментных препаратов остается актуальной задачей, решение которой позволит сделать их применение в промышленности более эффективным [6–8].

Выше был упомянут один из способов регулирования активности ферментных препаратов – лазерное излучение [9–13]. Оно обладает рядом особенностей, к которым относятся когерентность, высокая монохроматичность, направленность и большая плотность энергии [12, 14–16]. С ними, по-видимому, связано воздействие лазерного излучения на биологические объекты. Механизмы этого процесса сложны, и на сегодня не существует объясняющей их единой теории [15, 17]. В настоящее время ведутся эффективные исследования по совершенствованию лазерной техники, созданию квантовых генераторов для промышленного использования.

Целью данной работы является изучение влияния лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки, применяемых в качестве биокатализаторов в хлебопечении, производстве консервов, спирта и в других отраслях пищевой промышленности.

## Объекты и методы исследования

В работе исследованы промышленные ферментные препараты Амилосубтилин Г10Х, Амилосубтилин Г20Х, Амилосубтилин Г3Х производственного объединения «Сиббиофарм» (Россия).

Использованы стандартные и общепринятые в исследовательской практике методики определения амилолитической активности (АС) колориметрическим методом по ГОСТ Р. 54330-2011, содержание белка в ферментных препаратах оценивали по методу Лоури (экспресс-метод). АС ферментных препаратов Амилосубтилин Г3Х, Амилосубтилин Г10Х, Амилосубтилин Г20Х оказалась равна соответственно 1500, 3600, 5140 ед./г (ед./мл), содержание белка в них – 9,5, 18, 29 %.

В качестве источника лазерного излучения выступали оптический квантовый генератор ОКГ-25 с максимальной выходной мощностью 20 мВт/см<sup>2</sup>, длиной

волны излучения 632,8 нм (ширина спектральной полосы –  $10^{-3}$  нм), а также гелий-неоновый лазер ЛГН-303-1 с максимальной выходной мощностью 2 мВт/см<sup>2</sup> и длиной волны 632,8 нм, одночастотный в каждой из двух поляризаций. Рабочая длина волны 632,8 нм расположена в красном диапазоне видимого спектра. Облучение растворов ферментных препаратов проводили в стеклянной кювете. Интенсивность излучения для ОКГ-25 регулировали за счет использования расфокусированной насадки, представляющей собой выпуклую линзу (оптическая система для формирования лазерного пучка), при измерении расстояния между объектом (на который непосредственно воздействуют) и источником лазерного излучения. С помощью дозиметра – полупроводникового элемента, чувствительного в красной области видимого спектра, проводилось определение интенсивности падающей и поглощенной энергии без учета доли светорассеяния.

## Результаты и обсуждение

Для изучения взаимодействия лазерного излучения с исследуемыми ферментными препаратами был снят спектр поглощения 0,1%-го раствора Амилоубтилина Г10Х (рис. 1). Этот спектр имел характерный максимум в ультрафиолетовой области, обусловленный остатками триптофана в белковой молекуле [5, 18]. В видимой части спектра фермент не имеет характерных максимумов поглощения, величина поглощения в этом диапазоне лежит в пределах 7–10 %, в частности для 630 нм (области, соответствующей спектральной характеристике излучения гелий-неонового лазера) она равна 7 %.

Наличие небольшого поглощения в области 630–632 нм позволяет предположить, что гелий-неоновый лазер может оказывать определенное воздействие на каталитическую активность данных препаратов. Активность ферментных

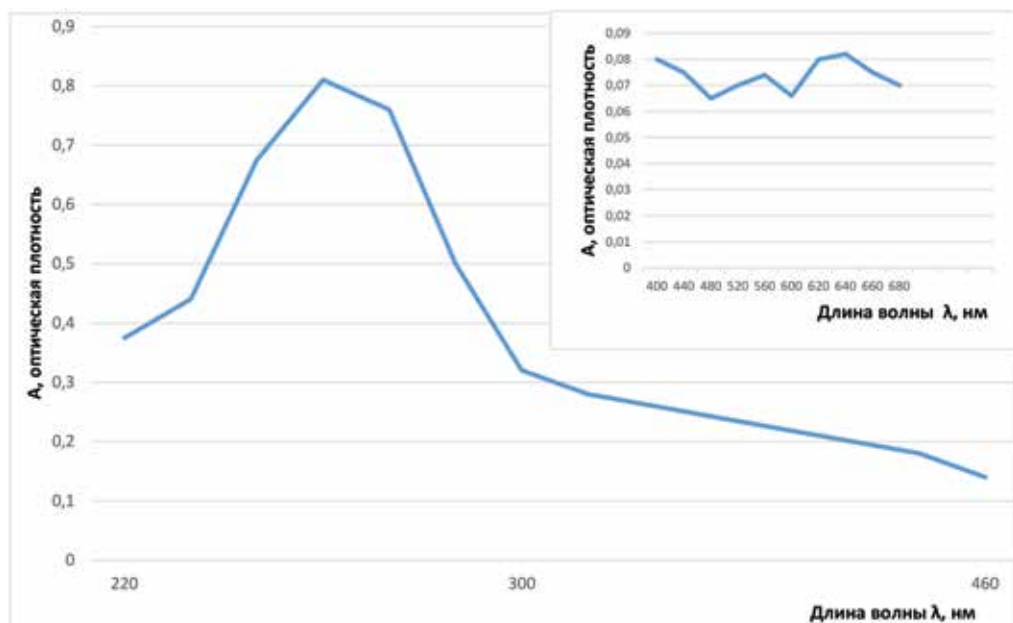


Рис. 1. Спектр поглощения 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилоубтилин Г10Х

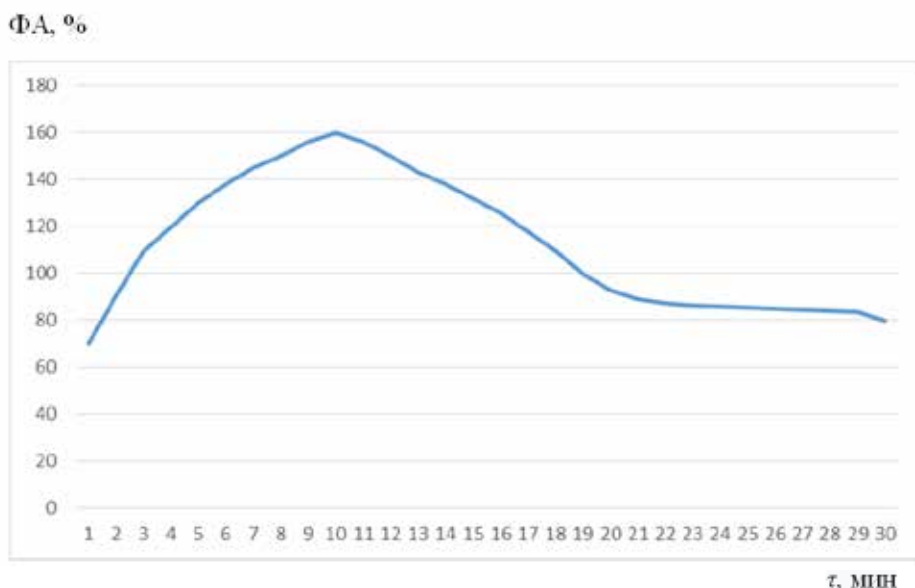


Рис. 2. Зависимость активности 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилосубтилин Г10Х от времени воздействия лазерного излучения при интенсивности излучения 5 мВт/см<sup>2</sup>

препаратов после лазерного воздействия выражали как процент к контролю – необлученному образцу.

Проведенные исследования показали (рис. 2), что каталитическая активность (ФА) в первую очередь зависит от интенсивности облучения. При интенсивности 1 мВт/см<sup>2</sup> и экспозиции 5 мин не было обнаружено увеличения активности. Однако при интенсивности 3,5 мВт/см<sup>2</sup> активность возрастала на 50 %. Эффект стимулирующего действия лазерного излучения начиная с интенсивности 10 мВт/см<sup>2</sup> уменьшается, а при 20 мВт/см<sup>2</sup> наблюдается заметная инактивация ферментного препарата.

Так как при воздействии лазерного излучения на биологические объекты имеет значение не только «доза воздействия», а и экспозиция, была изучена зависимость активности фермента от времени (1–30 мин) облучения при постоянной интенсивности 5 мВт/см<sup>2</sup> (рис. 3).

Кривая изменения амилалитической активности от времени  $AC = f(t)$  аналогична кривым, полученным при исследовании конформационных переходов белковых молекул [18, 19]. По-видимому, это можно объяснить тем, что изменение реакционной способности различных участков белковой молекулы или конформации в целом происходит в результате распределения поглощенной энергии между колебательно-возбужденным состоянием отдельных атомных групп и областей молекул [1, 2, 20]. С увеличением времени воздействия увеличивается число конформационных перестроек, что влечет за собой изменение каталитической активности фермента. Любые конформационные превращения в молекулах белков носят кооперативный характер [1, 18, 20], тем самым кооперативен сам акт возникновения индуцированного структурного соответствия фермент–субстрат. И возможно, что изменение конформации белка под действием излучения гелий-неонового лазера приводит к увеличению сродства фермента к субстрату, и этим объясняется повышение его амилалитической активности.

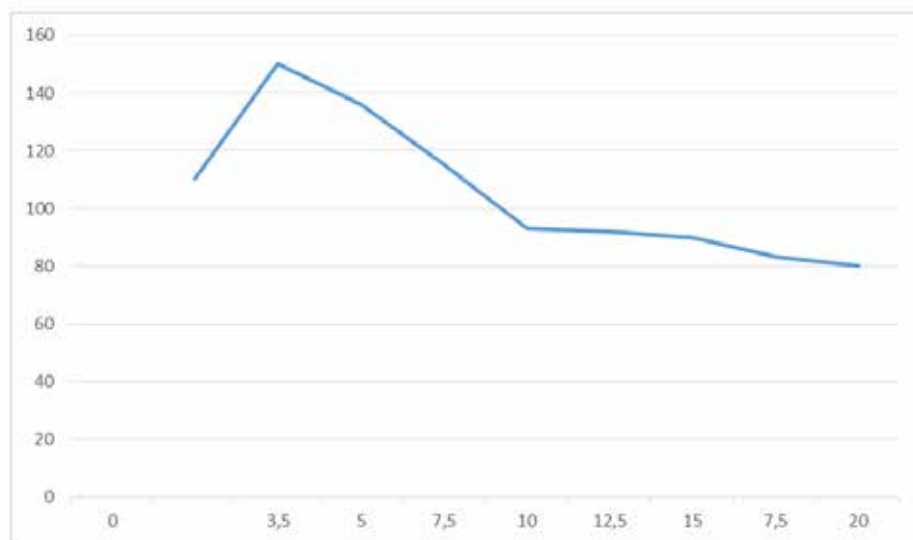
Сравнивая эффекты, полученные при одних и тех же общих дозах воздействия, была выявлена разница, которая свидетельствует о том, что для возникновения определенного эффекта важна не общая доза воздействия, а каждый из ее компонентов. Так, доза  $4,5 \text{ Дж/см}^2$ , полученная при облучении интенсивностью  $15 \text{ мВт/см}^2$  в течение 5 мин, приводила к уменьшению активности, а если получать эту дозу, используя более низкую интенсивность излучения ( $5 \text{ мВт/см}^2$ ), но более длительную экспозицию (15 мин), то наблюдается повышение активности фермента на 40 %. Принимая это во внимание, целесообразно использовать для повышения каталитической активности исследуемых ферментных препаратов и менее мощные лазеры [2, 15, 16].

В настоящее время для научных целей широко применяют отечественный гелий-неоновый лазер ЛГН-303-1, который использовали в дальнейших исследованиях. Данные по влиянию лазерного излучения на амилолитическую активность ферментных препаратов различной степени очистки представлены в таблице.

**Влияние гелий-неонового лазера ЛГН-303-1 на активность ферментных препаратов**

Препарат	Время облучения, мин	Ферментативная активность, % к контролю
Амилосубтилин ГЗХ	3	131
	5	150
	7	119
Амилосубтилин Г10Х	3	120
	5	135
	7	114
Амилосубтилин Г20Х	3	111
	5	127
	7	109

ФА, %



Интенсивность излучения, мВт/см<sup>2</sup>

Рис. 3. Зависимость активности 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилосубтилин Г10Х от интенсивности воздействия лазерного излучения при экспозиции 5 мин

Как видно из представленных данных, оптимальной для всех исследуемых препаратов при мощности излучения 2 мВт/см<sup>2</sup> была длительность воздействия 5 мин, при этом наблюдалось значительное увеличение каталитической активности ферментных препаратов – на 27–50 % к контролю. Причем более очищенный (Амилосубтилин Г10Х) и высокоочищенный (Амилосубтилин Г20Х) препараты в меньшей степени подвергаются активации при лазерном облучении, так как в процессе очистки фермента происходит удаление веществ, стабилизирующих белковую молекулу. Воздействие же гелий-неонового лазера на фермент с низким уровнем очистки (Амилосубтилин Г3Х) повышает его каталитическую активность в среднем на 50 %; это, несомненно, позволит уменьшить себестоимость продукции за счет применения более экономичных низкоочищенных препаратов, а также снижения дозы вносимого фермента без ухудшения качества продукта. Снижение уровня очистки препарата, как наглядно демонстрируют полученные результаты, не приводит к существенному ухудшению свойств, проявляемых препаратом в технологическом процессе.

### Заключение

В результате проведенных исследований показано, что изменение активности бактериальных ферментных препаратов амилолитического действия можно достигнуть одним из физико-химических воздействий – облучением их водных растворов гелий-неоновым лазером (ЛГН-303-1, ОКГ-25). С совершенствованием лазерной техники этот вид воздействия станет весьма перспективным для повышения эффективности использования ферментных препаратов.

На активность изученных ферментных препаратов оказывают влияние интенсивность лазерного излучения и длительность его воздействия. При экспериментально определенных условиях (мощность воздействия 2 мВт/см<sup>2</sup>, длительность 5 мин) активность ферментного препарата Амилосубтилин Г3Х повышается на 50 %, Амилосубтилин Г10Х – на 35 %, Амилосубтилин Г20Х – 27 %. Таким образом, максимальная эффективность наблюдалась в случае препарата, обладающего наименьшей каталитической активностью, что, несомненно, имеет важное практическое значение для снижения себестоимости технологического процесса с участием ферментных препаратов в качестве биокатализаторов в различных областях пищевой промышленности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бакунц А.Г. Влияние связывания катионов металлов на кооперативность тепловых переходов в парвальбумине: дис. ... канд. биол. наук. Пущино: Ин-т теорет. и эксперим. биофизики РАН, 2009. 130 с.
2. Голубцов А.В. Кристаллизационная оценка изменения конформационных свойств сыворотки крови под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения // Актуал. вопр. ветеринар. биологии. 2013. № 2. С. 3–7.
3. Капралова А.В., Погодин А.С. Влияние терагерцового излучения различных диапазонов на конформацию молекул бычьего сывороточного альбумина // Вестн. НГУ. Серия: Физика. 2010. Т. 5, № 4. С. 182–185.
4. Скворцов И.М. О конформационной гетерогенности пирролизидинов по типу сочленения пятичленных колец // Карбонильные соединения в синтезе гетероциклов: сб. науч. тр. / под ред. А.П. Кривенько. Саратов: Науч. книга, 2008. С. 253–258.

5. Молдогазиева Н.Т., Терентьев А.А., Шайтан К.В. Структурно-функциональные взаимосвязи в молекуле альфа-фетопротейна: его конформационные состояния и биологическая активность // Биомедицинская химия. 2005. Т. 51, № 2. С. 127–151.
6. Карпенко Д.В., Кравченко В.С., Шалагинов К.В. Активация амилалитического ферментного препарата волновыми воздействиями // Пиво и напитки. 2017. № 5. С. 16–19.
7. Квиньи Ж. Термодинамика и теоретические представления о регуляции активности ферментов (обзор) // Биохимия. 2015. Т. 80, № 1. С. 5–13.
8. Поляков В.А., Погоржельская Н.С. Инновационное развитие пищевой биотехнологии // Индустрия питания. 2017. № 4. С. 6–14.
9. Алмазова Е.Б., Емец Б.Г. Гелий-неоновый лазер изменяет радиационную стойкость культуры биологических клеток // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т. 5, № 5. С. 3–7.
10. Васильева В.С., Голубцов А.В. Использование низкоинтенсивного лазерного излучения в молочном животноводстве // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 29–37.
11. Макаров И.О., Клюев Д.А., Смирнов В.Ф. и др. Действие низкочастотного импульсного магнитного поля и низкоинтенсивного лазерного излучения на активность оксидоредуктаз и рост микромицетов – активных деструкторов полимерных материалов // Микробиология. 2019. Т. 88, № 1. С. 83–90.
12. Черкасова О.П., Федоров В.И., Немова Е.Ф., Погодин А.С. Влияние лазерного терагерцового излучения на спектральные характеристики и функциональные свойства альбумина // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 107, № 4. С. 566–569.
13. Zhao Q. Partition function of protein conformational state // J. Comput. Theor. Nanosci. 2012. Vol. 9. P. 745–751.
14. Гизингер О.А., Ишпахтина К.Г., Колесников О.Л. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на нейтрофилы и факторы мукозального иммунитета: дис. ... д-ра биол. наук. Челябинск, 2010. 356 с.
15. Измайлов Г.Н. Создание нового поколения высокочувствительных сверхбыстродействующих детекторов, генераторов и преобразователей субтерагерцового и терагерцового диапазона частот // Инноватика и экспертиза: науч. тр. 2012. № 2. С. 034–040.
16. Прокопьев В.Е. Биофизические механизмы воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения на биологические ткани и оптические методы диагностики их состояния: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2004. 42 с.
17. Фёдоров В.И., Погодин А.С., Дубатолова Т.Д., Варламов А.В., Леонтьев К.В., Хамоян А.Г. Сравнительное исследование влияния электромагнитного излучения инфракрасного, субмиллиметрового и миллиметрового диапазонов на индуцированные гамма-облучением соматические мутации клеток крыльев *Drosophila melanogaster* // Биофизика. 2001. Т. 46, № 2. С. 298–302.
18. Поляничко А.М., Воробьев В.И., Чихиржина Е.В. Структура комплексов ДНК с хромосомным белком HMGB1 и гистоном H1 в присутствии ионов марганца. II. Спектроскопия кругового дихроизма в ИК области // Молекулярная биология. 2013. Т. 47, № 2. С. 338–346.
19. Наим А., Салимуддин М., Хан Р.Х. Агглютинин из *Clitoria ternatea* в индуцированном кислотой компактном состоянии сохраняет биологическую активность // Биохимия. 2009. Т. 74, № 10. С. 1336–1345.
20. Артюхов В.Г., Наквасина М.А., Лысенко Ю.А. Кинетические закономерности УФ- и термопревращений молекул лактатдегидрогеназы в условиях различного микроокружения // Междунар. школа «Соврем. проблемы теорет. биофизики»: тез. М., 1998. С. 108.

## REFERENCES

1. Bakunts A.G. Vliyanie svyazyvaniya kationov metallov na kooperativnost' teplovykh perekhodov V parval'bumine: diss. Pushchino: Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences; 2009. 130 p. (In Russ.).
2. Golubcov A.V. Kristallizatsionnaya otsenka izmeneniya konformatsionnykh svoystv syvorotki krovi pod vliyaniem nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya. *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii*. 2013;(2):3-7. (In Russ.).



3. Kapralova A.V., Pogodin A.S. Vliyanie teragertsovogo izlucheniya razlichnykh diapazonov na konformatsiyu molekul bych'ego syvorotochnogo al'bumina. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Fizika. 2010;5(4):182-185. (In Russ.).
4. Skvortsov I.M. O konformatsionnoi geterogenosti pirrolizidinov po tipu sochleneniya pyatichlennykh kolets. In: *Karbonil'nye soedineniya v sinteze geterokhlikov*. Saratov: Nauchnaya kniga; 2008. P. 253-258. (In Russ.).
5. Moldogazieva N.T., Terent'ev A.A., Shaitan K.V. Strukturno-funktsional'nye vzaimosvyazi v molecule al'fa-fetoproteina: ego konformatsionnye sostoyaniya i biologicheskaya aktivnost'. *Biomeditsinskaya himiya*. 2005;51(2):127-151. (In Russ.).
6. Karpenko D.V., Kravchenko V.S., Shalaginov K.V. Aktivatsiya amilolicheskogo fermentnogo preparata volnovymi vozdeistviyami. *Pivo i napitki*. 2017;(5):16-19. (In Russ.).
7. Kvin'i Zh. Termodinamika i teoreticheskie predstavleniya o regulyatsii aktivnosti fermentov (obzor). *Biohimiya*. 2015;80(1):5-13. (In Russ.).
8. Polyakov V.A., Pogorzhel'skaya N.S. Innovatsionnoe razvitie pishchevoi biotekhnologii. *Industriya pitaniya*. 2017;(4):6-14. (In Russ.).
9. Almazova E.B., Emec B.G. Gellii-neonovyi lazer izmenyaet radiacionnyu stoikost' kul'tury biologicheskikh kletok. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*. 2012;5(5):3-7. (In Russ.).
10. Vasil'eva V.S., Golubcov A.V. Ispol'zovanie nizkointensivnogo-lazernogo izlucheniya v molochnom zhivotnovodstve. In: *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodyh uchenykh i spetsialistov*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 2015. P. 29-37. (In Russ.).
11. Makarov I.O., Klyuev D.A., Smirnov V.F. et al. Deistvie nizkochastotnogo impul'snogo magnitnogo polya i nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na aktivnost' oksidoreduktaz i rost mikromitsetov-aktivnykh destrukturov polimernykh materialov. *Mikrobiologiya*. 2019;88(1):83-90. (In Russ.).
12. Cherkasova O.P., Fedorov V.I., Nemova E.F., Pogodin A.S. Vliyanie lazernogo teragertsovogo izlucheniya na spektral'nye karakteristiki i funktsional'nye svoystva al'bumina. *Optika i spektroskopiya*. 2009;107(4):566-569. (In Russ.).
13. Zhao Q. Partition function of protein conforma tional state. *J. Comput. Theor. Nanosci*. 2012;9:745-751.
14. Gizinger O.A., Ishpahtina K.G., Kolesnikov O.L. Vliyanie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na neutrofil'y i faktory mukozal'nogo immuniteta: diss. Chelyabinsk, 2010. 356 p. (In Russ.).
15. Izmajlov G.N. Sozdanie novogo pokoleniya vysokochuvstvitel'nykh sverhbystrodeistvuyushchih detektorov, generatorov i preobrazovatelei subteragertsovogo i teragertsovogo diapazona chastot. *Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy*. 2012;(2):034-040. (In Russ.).
16. Prokop'ev V.E. Biofizicheskie mekhanizmy vozdeistviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na biologicheskie tkani i opticheskie metody diagnostiki ih sostoyaniya: diss. Tomsk, 2004. 42 p. (In Russ.).
17. Fyodorov V.I., Pogodin A.S., Dubatolova T.D., Varlamov A.V., Leont'ev K.V., Hamoyan A.G. Sravnitel'noe issledovanie vliyaniya elektromagnitnogo izlucheniya infrakrasnogo, submillimetrovogo i millimetrovogo diapazonov na indutsirovannye gamma-oblucheniem somaticheskie mutatsii kletok kryl'ev *Drosophila melanogaster*. *Biofizika*. 2001;46(2):298-302. (In Russ.).
18. Polyanichko A.M., Vorob'ev V.I., Chihirzhina E.V. Struktura kompleksov DNK s hromosomnym belkom HMGB1 i gistonom N1 v prisutstvii ionov margantsa. II. Spektroskopiya krugovogo dihiroizma v IK oblasti. *Molekulyarnaya biologiya*. 2013;47(2):338-346. (In Russ.).
19. Naim A., Salimuddin M., Han R.H. Agglyutinin iz *Clitoria ternatea* v indutsirovannom kisloti kompaktnom sostoyanii sokhranyaet biologicheskuyu aktivnost'. *Biohimiya*. 2009;74(10):1336-1345. (In Russ.).
20. Artyuhov V.G., Nakvasina M.A., Lysenko Yu.A. Kineticheskie zakonomernosti UF- i termoprevrashchenii molekul laktatdegidrogenazy v usloviyah razlichnogo mikrookruzheniya. In: *Sovremennye Problemy Teoreticheskoy Biofiziki: theses of International school*. Moscow; 1998. P. 108. (In Russ.).