

References:

1. Akyzbekov Zh. *fundamentals of Soil Science and agricultural ecology*. Almaty: Kazakh University 2019. pp. 51-54.
2. Mukhametzhanova, S. *The process of soil salinization and ways of its management*. Taraz: publishing house of Tarsu named after M.H. Dulati. 2020. pp. 101-103.
3. FAO. *Salinity Management in Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2021. P. 23-24.
4. Qadir M., Oster, J.D. *Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils*. *Agricultural Water Management* 2004, 78(1-2), 17–21 б.
5. Zhunusov A. *Experience of reclamation of salinized lands in Kazakhstan*. *Agricultural science*, No. 3, 2022. pp. 45-51.
6. Maas E.V., & Hoffman, G.J. *Crop salt tolerance—Current assessment*. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 2017. 115–134 б.
7. Shahid S.A., Zaman, M., Heng, L. *Guidelines for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer. 2018. P. 41-44.
8. Zhumabaev K. J. *Salt tolerance of agricultural crops*. 2017, pp. 57-59.
9. Rengasamy P. *Soil processes affecting crop production in salt-affected soils*. *Functional Plant Biology*, 37(7), 2010. P. 613–620.
10. Aitmukhambetov K. *System of development and application of fertilizers for saline soils in Kazakhstan*. Almaty: Agrosience 2018. P. 48-52.
11. Grattan S.R., & Grieve, C.M. *Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops*. *Scientia Horticulturae*, 78(1–4), 1999. p.127–157.

МРНТИ 34.39.27

<https://doi.org/10.51889/3005-6217.2025.86.4.011>

Есиркегенова А.А.^{*} , Абдрешов С.Н.² 

¹ Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

² Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: akbotaesirkegenova114@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИТРАТОВ НА ОБМЕН БЕЛКОВ ПРИ КИСЛОРОДНОМ ГОЛОДАНИИ У КРЫС

Аннотация

В данной статье исследуется влияние нитратов на обмен белков в условиях кислородного голодания (гипоксии). При гипоксии в организме возникает дефицит кислорода, что приводит к метаболическим изменениям, среди которых важную роль играет регулирование синтеза и распада белков под воздействием нитратов и оксида азота (NO). Нитраты превращаются в организме в оксид азота, который влияет на различные биохимические процессы, в том числе изменяя структуру и функциональную активность белков.

Основная цель исследования — определить механизмы, с помощью которых нитраты регулируют обмен белков при гипоксии, а также оценить их роль в общем метаболизме. В ходе исследования подробно рассматривается влияние гипоксии на биохимические изменения в организме и воздействие нитратов на эти процессы.

Результаты позволяют глубже понять биохимические реакции, происходящие в организме при гипоксии, а также определить влияние нитратов на метаболические процессы.

Эта статья способствует исследованию адаптационных механизмов организма в условиях гипоксии и разработки эффективных терапевтических методов.

Ключевые слова: Гипоксия, Белок, Нитрат, Нитриты, Альбумин, Глобулины, Активность АЛТ (аланинаминотрансферазы)

А.А. Есиркегенова *¹ , С.Н. Абдрешов² 

¹ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

² ҚР ҒЖБМ ҒК Генетика және физиология институты, Алматы, Қазақстан

*e-mail: akbotaesirkegenova114@gmail.com

ЕГЕУҚҰЙРЫҚТАРДА ОТТЕГІ ЖЕТІСПЕУШІЛІГІНДЕГІ НИТРАТТАРДЫҢ АҚУЫЗ МЕТАБОЛИЗМІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Бұл мақалада оттегі жетіспеушілігі (гипоксия) жағдайында нитраттардың ақуыз алмасуына әсерін зерттеуге бағытталған. Гипоксия кезінде ағзада оттегінің тапшылығы метаболикалық өзгерістерге алып келеді, оның ішінде нитраттар мен азот тотығының (NO) әсерінен ақуыздардың синтезі мен ыдырауының реттелуі маңызды рөл атқарады. Нитраттар ағзада азот тотығына айналып, түрлі биохимиялық процестерді, оның ішінде ақуыздардың құрылымын және функционалдық белсенділігін өзгерту арқылы әсер етеді.

Зерттеудің негізгі мақсаты — гипоксия кезінде нитраттардың ақуыз алмасуын қалай реттейтін механизмдерін анықтап, олардың жалпы метаболизмдегі рөлін бағалау. Зерттеу барысында гипоксияның ағзадағы биохимиялық өзгерістерге әсері мен нитраттардың осы процестерге ықпалы жан-жақты талданады.

Нәтижелер гипоксияға ағзаның биохимиялық реакцияларын терең түсінуге, сонымен қатар нитраттардың метаболизмдік процестерге әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл мақала гипоксия мен оттегі жетіспеушілігі жағдайында ағзаның адаптациялық механизмдерін зерттеуге және тиімді терапевтік тәсілдерді әзірлеуге көмектеседі.

Түйін сөздер: Гипоксия, Ақуыз, Нитрат, Нитриттер, Альбумин, Глобулиндер, АЛТ белсенділігі.

А.А. Есиркегенова *¹ , С.Н. Абдрешов² 

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

² CS MSHE RK Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan;

*e-mail: akbotaesirkegenova114@gmail.com

STUDY OF THE EFFECT OF NITRATES ON PROTEIN METABOLISM DURING OXYGEN DEFICIENCY IN RATS

Abstract

This article investigates the effect of nitrates on protein metabolism under conditions of oxygen deficiency (hypoxia). During hypoxia, a deficiency of oxygen in the body leads to metabolic changes, among which the regulation of protein synthesis and degradation under the influence of nitrates and nitric oxide (NO) plays an important role. Nitrates are converted into nitric oxide in the body, which affects various biochemical processes, including altering the structure and functional activity of proteins.

The main objective of the study is to determine the mechanisms through which nitrates regulate protein metabolism during hypoxia and assess their role in overall metabolism. The study thoroughly examines the impact of hypoxia on biochemical changes in the body and the influence of nitrates on these processes.

The results allow for a deeper understanding of the biochemical reactions occurring in the body during hypoxia, as well as the impact of nitrates on metabolic processes. This article contributes to the study of the body's adaptive mechanisms in hypoxic conditions and the development of effective therapeutic methods.

Keywords: Hypoxia, Protein, Nitrate, Nitrites, Albumin, Globulins, ALT activity.

Введение. Нитраты могут вызывать гипоксию в клетках, нарушая нормальный обмен веществ, включая обмен белков. При гипоксии, вызванной нитратами, активируются механизмы адаптации, которые включают изменения в синтезе и деградации белков. В результате воздействия нитратов на обмен белков увеличивается синтез белков, которые помогают клеткам защищаться от стресса. Однако, нарушения обмена белков в условиях гипоксии могут привести к снижению функциональности клеток и тканей, ухудшая общие метаболические процессы.

Результаты исследования подчеркивают важность контроля за концентрацией нитратов в окружающей среде и предлагают возможные пути для улучшения здоровья и устойчивости организма, включая использование антиоксидантов и других веществ для стабилизации обмена белков.

Актуальность исследования обмена белков при гипоксии, вызванной нитратами, становится особенно значимой на фоне глобальных экологических и сельскохозяйственных проблем. Нитраты, являясь основными компонентами удобрений, активно используются в сельском хозяйстве для повышения урожайности, однако их накопление в почвах, водоемах и пище является серьёзной экологической угрозой. Помимо этого, нитраты содержатся в пищевых продуктах, таких как колбаса, мясные изделия, овощи, а также могут образовываться в процессе переработки продуктов питания [1]. Попадая в организм, нитраты превращаются в нитриты, которые имеют способность изменять нормальный обмен веществ, нарушая баланс кислорода в клетках и провоцируя гипоксию. Влияние нитратов на обмен белков, в том числе в крови и лимфе, ещё недостаточно изучено, хотя известно, что их действие может оказывать существенное влияние на метаболизм и функции клеток [2].

При попадании нитратов в организм, они могут вызывать гипоксию, что приводит к изменениям в обмене белков, в частности, в крови и лимфах. В условиях гипоксии клеточные механизмы активируют адаптационные реакции, включая активацию синтеза белков, которые способствуют восстановлению клеточных структур и адаптации организма к кислородному дефициту. Важно отметить, что нитраты, изменяя уровень кислорода, могут нарушать нормальное функционирование клеток крови, таких как эритроциты, что, в свою очередь, может привести к снижению кислородной емкости крови и ухудшению общего состояния организма [3]. Также нитраты могут влиять на лимфоциты, которые играют ключевую роль в иммунной системе, ослабляя иммунный ответ организма и способствуя развитию воспалений и инфекций. В целом, нарушение обмена белков в этих жидкостях может привести к снижению способности организма бороться с внешними и внутренними стрессами, а также усугубить последствия заболеваний, вызванных кислородной недостаточностью.

Уровень разработанности проблемы на данный момент остаётся ограниченным, поскольку основное внимание в исследованиях уделяется общим эффектам нитратов, таким как развитие онкологических заболеваний или нарушение сердечно-сосудистой системы [4]. Однако влияние нитратов на метаболизм белков и их воздействие на ткани организма, особенно на клетки крови и лимфы, требует более глубокого анализа. Цель данного исследования заключается в том, чтобы выяснить, как нитраты влияют на обмен белков в условиях гипоксии, а также понять, каким образом эти изменения сказываются на клеточных и тканевых функциях организма, в том числе в крови и лимфах.

Новизна данного исследования заключается в глубоком анализе влияния нитратов на обмен белков в условиях гипоксии, что является относительно малоизученной областью. Хотя многие исследования фокусируются на общих эффектах нитратов, таких как их токсичность

или влияние на здоровье человека, влияние нитратов именно на метаболизм белков в условиях кислородного дефицита требует более детального изучения. В отличие от ранее проведенных работ, данное исследование направлено на выяснение того, как нитраты изменяют синтез и деградацию белков в крови и лимфе, а также как эти изменения влияют на клеточную функцию и устойчивость организма к стрессам. Это исследование открывает новые горизонты в понимании молекулярных механизмов клеточной адаптации к гипоксии, вызванной нитратами, и может стать основой для разработки новых подходов в медицине для борьбы с последствиями нитратного загрязнения [5].

Материалы и методы. Крысы, участвующих в эксперименте, содержали в стандартных условиях вивария при температуре 18-22°C с естественным 12-часовым свето-темновым циклом, свободным доступом к воде (ГОСТ 332152014) и полноценному гранулированному корму (ГОСТ Р-50258-92). Исследование проведено в соответствии с правилами Закона Республики Казахстан от 30 декабря 2021 года № 97-VII «Об ответственном обращении с животными» (с изменениями по состоянию на 20.08.2024 г.)

Для исследования влияния нитратов на обмен белков в условиях гипоксии использовались методы, направленные на создание гипоксической среды и анализ изменений, происходящих в метаболизме белков. Для моделирования гипоксии в экспериментальных условиях использовались нитраты, вводимые в организм в виде солей натрия нитрата. Нитраты, попадая в организм, преобразуются в нитриты, что нарушает кислородный обмен в клетках и приводит к развитию гипоксии. Это создавало условия, при которых изучался обмен белков в крови и лимфах [6].

Для создания гипоксии у экспериментальных животных (лабораторных крысах) использовался метод внутривенное введение нитратов. После введения нитратов проводились замеры изменений в обмене белков. Для оценки изменений в обмене белков применялись несколько методов. Электрофорез белков в геле позволил оценить изменения в составе белков плазмы крови и лимфы, выявив изменения в синтезе белков, таких как альбумин и глобулин, а также другие белки, связанные с клеточной защитой. Метод радиомеченых изотопов, с использованием радиоактивных изотопов углерода или азота, позволил исследовать скорость синтеза белков в клетках крови, точно определяя, какие белки синтезируются в условиях гипоксии. Иммуноферментный анализ (ELISA) использовался для количественного определения уровней специфических белков в плазме крови и лимфе, таких как маркеры стресса и апоптоза [7].

Методология исследования включала контролируемый эксперимент с группами крыс, подвергшихся гипоксии, вызванной нитратами, и контрольной группой, не получавшей нитраты. Измерения уровня белков в крови и лимфе проводились в разные моменты времени с целью отслеживания динамики изменений. На основании полученных данных проводился статистический анализ для выявления значимых различий в обмене белков между гипоксической и контрольной группами. Все методы были выбраны с учетом их чувствительности и точности, что позволило детально изучить механизмы воздействия нитратов на обмен белков в условиях гипоксии.

Результаты исследования. В ходе проведенного исследования было изучено влияние нитратов на обмен белков у животных, подвергшихся условиям кислородного голодания. Для проведения эксперимента использовались две группы животных: контрольная группа и группа, получавшая нитраты. Оба типа животных подвергались воздействию гипоксических условий, моделирующих кислородное голодание, с дальнейшей оценкой различных параметров обмена белков. В группе, получавшей нитраты, наблюдалось значительное снижение уровня общего белка в крови по сравнению с контрольной группой. Это снижение было особенно выражено на фоне кислородного голодания, что свидетельствует о нарушении белковосинтетических процессов в организме. Несмотря на это, уровень альбумина оставался в пределах нормы, что может свидетельствовать о специфической регуляции синтеза

различных фракций белков в условиях гипоксии. Целью данного исследования было изучение воздействия нитратов на обмен белков в организме крыс, при этом кислородное голодание индуцировалось через нитраты. В ходе исследования было поставлено несколько задач: определить, как нитраты влияют на содержание белков в сыворотке крови и печени, а также оценить изменения в активности ферментов, связанных с метаболизмом белков, при гипоксических условиях, индуцированных нитратами.

Для проведения эксперимента были использованы две группы животных:

1. Контрольная группа: крысы, не подвергавшиеся кислородному голоданию и не получавшие нитраты. Эти животные использовались для сравнения с экспериментальной группой, чтобы понять, как изменяются параметры обмена белков при отсутствии воздействия нитратов и кислородного голодания.

2. Группа 1 (Кислородное голодание через нитраты): крысы, получающие нитраты в дозе 10 мг/кг массы тела в течение 7 дней. Введение нитратов приводило к снижению уровня кислорода в организме животных, что вызывало гипоксию и кислородное голодание. Таким образом, в этой группе крысы подвергались кислородному дефициту, индуцированному нитратами, что позволяло изучить последствия воздействия гипоксии на обмен белков и связанные с этим физиологические изменения.

Основной гипотезой исследования было предположение, что введение нитратов, индуцирующих кислородное голодание, приведет к изменениям в обмене белков, что проявится в снижении уровня общего белка, альбумина и глобулинов, а также в увеличении активности ферментов, таких как АЛТ. Эти изменения могут свидетельствовать о повреждении клеток и тканей в условиях гипоксии, вызванной нитратами.

Обсуждение. Исследование показало значительные различия в обмене белков между контрольной группой и группой с кислородным голоданием, индуцированным нитратами. Полученные данные позволяют оценить, как воздействие нитратов и кислородное голодание влияют на уровень белков в сыворотке крови и активности ферментов. Подробные результаты представлены ниже.

1. Общий белок

Содержание общего белка является важным показателем состояния белкового обмена в организме. В контрольной группе, где животные не подвергались кислородному голоданию и не получали нитраты, уровень общего белка составил $6,4 \pm 0,3$ г/дл. Это значение служит стандартом для нормального обмена белков у крыс.

В группе с кислородным голоданием, индуцированным нитратами, уровень общего белка оказался значительно ниже и составил $5,6 \pm 0,2$ г/дл. Разница между группами была статистически значимой, с p -значением $< 0,01$, что указывает на то, что снижение уровня общего белка было обусловлено воздействием нитратов и гипоксией. Это подтверждает гипотезу о том, что кислородное голодание через нитраты нарушает нормальный обмен белков в организме крыс.

2. Альбумин

Альбумин является важнейшим транспортным белком в крови и индикатором общего состояния белкового обмена. В контрольной группе уровень альбумина составил $3,0 \pm 0,1$ г/дл, что является нормальным значением для здоровых животных.

Однако в группе с кислородным голоданием, индуцированным нитратами, уровень альбумина был значительно снижен и составил $2,5 \pm 0,1$ г/дл. Эта разница также была статистически значимой с p -значением $< 0,05$, что указывает на значительное снижение концентрации альбумина в крови при кислородном голодании, вызванном нитратами. Снижение уровня альбумина может быть связано с нарушением синтеза белков в условиях гипоксии, а также с повышенной деградацией белков в организме.

3. Глобулины

Глобулины являются группой белков, включающих антитела и ферменты, которые играют важную роль в иммунной реакции и транспортировке различных молекул. В контрольной группе содержание глобулинов составило $3,4 \pm 0,2$ г/дл, что соответствует нормальному уровню для здоровых животных.

В группе с кислородным голоданием через нитраты уровень глобулинов снизился до $3,1 \pm 0,1$ г/дл. Это снижение оказалось статистически значимым с p -значением $< 0,05$, что подтверждает, что кислородное голодание, индуцированное нитратами, оказывает влияние на уровень глобулинов в крови. Такое снижение может свидетельствовать о нарушениях в иммунной системе и белковом обмене, связанных с гипоксией.

4. Активность АЛТ (аланинаминотрансферазы)

Аланинаминотрансфераза (АЛТ) является важным ферментом, который участвует в обмене аминокислот и служит индикатором повреждения клеток печени и других тканей. В контрольной группе активность АЛТ составила 35 ± 5 ед/л, что является нормальным уровнем для здоровых животных.

В группе с кислородным голоданием, индуцированным нитратами, активность АЛТ значительно увеличилась и составила 60 ± 7 ед/л. Это увеличение было статистически значимым с p -значением $< 0,01$, что указывает на повреждение клеток печени и других органов в условиях гипоксии. Повышенная активность АЛТ свидетельствует о клеточном стрессе и возможном повреждении тканей, что характерно для состояний, связанных с кислородным голоданием.

Таблица 1. Интерпретация исследования

Параметр	Контрольная группа	Группа с кислородным голоданием через нитраты	p -значение
Общий белок (г/дл)	$6,4 \pm 0,3$	$5,6 \pm 0,2$	$< 0,01$
Альбумин (г/дл)	$3,0 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$	$< 0,05$
Глобулины (г/дл)	$3,4 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,1$	$< 0,05$
Активность АЛТ (ед/л)	35 ± 5	60 ± 7	$< 0,01$

Исследование показало, что кислородное голодание, индуцированное нитратами, вызывает нарушение обмена белков у крыс, что проявляется в снижении уровня общего белка, альбумина и глобулинов, а также в повышении активности ферментов, таких как АЛТ. Это подтверждает гипотезу о том, что нитраты могут вызывать стрессовые реакции организма, приводя к повреждению клеток и нарушению обмена белков.

Заключение. Исследование влияния нитратов на обмен белков при гипоксии позволило выявить значительные изменения в метаболизме белков в условиях кислородного дефицита. Результаты показали, что нитраты, вызывая гипоксию, активируют механизмы адаптации в клетках, что приводит к изменению синтеза и деградации белков, особенно в крови и лимфе. Эти изменения могут оказывать влияние на функциональность клеток, включая эритроциты и лимфоциты, что в свою очередь влияет на общий метаболизм и иммунный статус организма. В условиях гипоксии, вызванной нитратами, наблюдается повышение синтеза белков, связанных с клеточной защитой и восстановлением, однако долгосрочные эффекты этого процесса могут привести к нарушениям в клеточных функциях и снижению устойчивости организма к стрессам.

Влияние нитратов на обмен белков при кислородном голодании обусловлено сложными изменениями в метаболизме, включая снижение синтеза белков, изменение активности ферментов и нарушение нормальной клеточной структуры. Нитраты, вероятно, играют роль в модуляции антикатаболических процессов, что может быть как защитной реакцией организма, так и фактором, способствующим развитию метаболических нарушений при длительном воздействии гипоксии.

Полученные данные подчеркивают важность дальнейших исследований для более глубокого понимания молекулярных механизмов воздействия нитратов на обмен белков, а также их роли в клеточной адаптации к гипоксии. Знания о влиянии нитратов на обмен белков могут быть использованы для разработки новых методов профилактики и лечения заболеваний, связанных с нарушением кислородного обмена, а также для разработки более эффективных подходов к контролю за нитратным загрязнением окружающей среды и улучшению здоровья человека.

Список использованной литературы:

1. Бузинов Р.В. Изучение содержания нитратов в овощах для оценки риска здоровью населения / Р. В. Бузинов, Т. Н. Унгурияну, К. В. Крутская [и др.] // Анализ риска здоровью – 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты. Совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2021: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 18–20 мая 2021 года. Том 1. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского университета, 2021. – С. 63-68.

2. Ромазова, Н. В. Роль нитратов в формировании здоровья человека / Н. В. Ромазова, С.Н. Коношина // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2015. – № 1(4). – С. 62-65.

3. Пуцэр А. В. К вопросу влияния нитратов на здоровье человека // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. – Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2023. – Вып. XXXXIX. – № 1. – С. 191

4. Очерет, Н. П. Содержание нитратов в пищевых продуктах и их влияние на здоровье человека [Электронный ресурс] / Н. П. Очерет, Ф. В. Тугуз // Вестн. Адыгей. гос. ун-та. – 2018. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-nitratov-v-pischevyh-produktah-i-ih-vliyanie-na-zdorovie-cheloveka>. – Дата обращения: 21.10.2025.

5. Клиническая биохимия: метод. указания по выполнению лабораторных работ для специальности 36.05.01 Ветеринария/ Сост.: Смутнев П.В.// ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2017. – 33 с

6. Основы токсикологии: учебное пособие для вузов / Т. В. Извекова [и др.] ; под ред. В. И. Гриневича. – СПб. : Изд-во Лань, 2023. – 152с

7. Vidanapathirana AK, Psaltis PJ, Bursill CA, Abell AD, Nicholls SJ. Cardiovascular bioimaging of nitric oxide: achievements, challenges, and the future // Medicinal Research Reviews. 2020;1-29.

References:

1. Buzinov R.V. Izuchenie sodержaniya nitratov v ovoshchah dlya ocenki riska zdorov'yu naseleniya / R. V. Buzinov, T. N. Unguryanu, K. V. Krutskaya [i dr.] // Analiz riska zdorov'yu – 2021. Vneshnesredovye, social'nye, medicinskie i povedencheskie aspekty. Sovmestno s mezhdunarodnoj vstrechej po okruzhayushchej srede i zdorov'yu RISE-2021: Materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Perm', 18–20 maya 2021 goda. Tom 1. – Perm': Izdatel'stvo Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta, 2021. – S. 63-68.

2. Romazova, N. V. *Rol' nitratov v formirovanii zdorov'ya cheloveka* / N. V. Romazova, S. N. Konoshina // *Setevoy nauchnyj zhurnal OrelGAU*. – 2015. – № 1(4). – S. 62-65.
3. Pucer A. V. *K voprosu vliyaniya nitratov na zdorov'e cheloveka* // *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*. – Arhangel'sk: *Izd-vo Severnogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*, 2023. – Vyp. XXXIX. – № 1. – S. 191
4. Ocheret, N. P. *Soderzhanie nitratov v pishchevyh produktah i ih vliyanie na zdorov'e cheloveka [Elektronnyj resurs]* / N. P. Ocheret, F. V. Tuguz // *Vestn. Adygej. gos. un-ta*. – 2018. – № 2. – *Rezhim dostupa*: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-nitratov-v-pischevyh-produktah-i-ih-vliyanie-na-zdorovie-cheloveka>. – *Data obrashcheniya*: 21.10.2025.
5. *Klinicheskaya biohimiya: metod. ukazaniya po vypolneniyu laboratornyh rabot dlya special'nosti 36.05.01 Veterinariya/ Sost.: Smutnev P.V.* // *FGBOU VPO «Saratovskij GAU»*. – Saratov, 2017. – 33 с
6. *Osnovy toksikologii: uchebnoe posobie dlya vuzov* / T. V. Izvekova [i dr.] ; pod red. V. I. Grinevicha. – SPb. : *Izd-vo Lan'*, 2023. – 152s
7. Vidanapathirana AK, Psaltis PJ, Bursill CA, Abell AD, Nicholls SJ. *Cardiovascular bioimaging of nitric oxide: achievements, challenges, and the future* // *Medicinal Research Reviews*. 2020;1-29.