

## Влияние ингаляций термической гелий-кислородной смеси и оксида азота на показатели газообмена у пострадавших с политравмой и ушибом легких

Ю. Е. Костыря<sup>1,2\*</sup>, Н. И. Гуляев<sup>1</sup>, Р. Е. Лахин<sup>3</sup>, А. Ф. Костыря<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь им. А. А. Вишневого Минобороны России, Россия, 143420, Московская область, городской округ Красногорск, п. Новый, д. 1

<sup>2</sup> Клинический госпиталь Медико-санитарная часть Министерства внутренних дел России по г. Москве, Россия, 127299 г. Москва, ул. Новая Ипатовка, д. 3а

<sup>3</sup> Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова,

Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6

<sup>4</sup> Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения г. Москвы, Россия, 143515, Московская область, городской округ Красногорск, пос. Истра, д. 27

**Для цитирования:** Ю.Е. Костыря, Н.И. Гуляев, Р.Е. Лахин, А.Ф. Костыря. Влияние ингаляций термической гелий-кислородной смеси и оксида азота на показатели газообмена у пострадавших с политравмой и ушибом легких. *Общая реаниматология*. 2026; 22 (3): 13–20. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2026-3-2674> [На русск. и англ.]

\*Адрес для корреспонденции: Юрий Евгеньевич Костыря, [urky.k@yandex.ru](mailto:urky.k@yandex.ru)

### Резюме

Термическая гелий-кислородная смесь (t-He/O<sub>2</sub>, гелиокс) снижает сопротивление в дыхательных путях и улучшает вентиляцию в патологических зонах легких. Ингаляционный оксид азота (NO) является селективным легочным вазодилататором, снижающим давление в легочной артерии и улучшающим вентиляционно-перфузионное соотношение, что также способствует оптимизации оксигенации.

**Цель исследования:** оценить эффективность и безопасность добавления ингаляций NO, t-He/O<sub>2</sub> и их комбинации к стандартной респираторной терапии у пострадавших с политравмой и ушибом легких.

**Материалы и методы.** Провели открытое проспективное рандомизированное исследование. 186 пациентов разделили на 4 группы: группа NO ( $n=43$ ), группа t-He/O<sub>2</sub> ( $n=49$ ), группа t-He/O<sub>2</sub>+NO ( $n=48$ ) и группа контроля (кислородотерапия, O<sub>2</sub>,  $n=46$ ). Курс респираторной терапии составил 12 суток. Оценивали динамику компьютерно-томографических (МСКТ) признаков ушиба легкого, показатели газового состава артериальной крови (PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>, лактат, pH) на 1-е, 4-е, 8-е, 12-е сутки.

**Результаты.** Наиболее выраженную положительную динамику отметили в группе комбинированной терапии (t-He/O<sub>2</sub>+NO). К 12-му дню в данной группе регистрировали статистически значимое уменьшение объема повреждения легких по данным МСКТ на 69% ( $p=0,018$ ), повышение PaO<sub>2</sub> до 95,1 мм рт. ст. ( $p<0,001$ ), снижение PaCO<sub>2</sub> до 35,8 мм рт. ст. ( $p<0,001$ ) и лактата до 1,38 ммоль/л ( $p=0,0025$ ). Эти же показатели в группах монотерапии (NO или t-He/O<sub>2</sub>) также односторонне значимо различались от результатов в группе контроля (O<sub>2</sub>). Нежелательных явлений, связанных с терапией, не зарегистрировали.

**Заключение.** Применение ингаляций термической гелий-кислородной смеси и оксида азота, особенно в комбинации, в составе комплексной терапии пострадавших с политравмой и ушибом легких способствует значимому улучшению газообмена и регрессу рентгенологических признаков повреждения легочной ткани, что позволяет рекомендовать данные методы для ранней респираторной терапии в условиях отделений интенсивной терапии.

**Ключевые слова:** гелий-кислородная смесь; гелиокс; ингаляционный оксид азота; политравма; ушиб легкого; респираторная терапия; газовый состав крови

**Главный тезис.** 12-дневный курс респираторной терапии с добавлением ингаляций оксида азота и подогретой гелиево-кислородной смеси ускоряет восстановление после ушиба легких и улучшает параметры газообмена у пациентов с политравмой.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Inhalation Effect of Heated Helium-Oxygen Mixture and Nitric Oxide on Gas Exchange Parameters in Patients with Polytrauma and Pulmonary Contusion

Yuri E. Kostyrya<sup>1,2\*</sup>, Nikolay I. Gulyaev<sup>1</sup>, Roman E. Lakhin<sup>3</sup>, Anna F. Kostyrya<sup>4</sup>

<sup>1</sup> National Medical Research Center for High Medical Technologies —

A.A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital, Ministry of Defense of the Russia, 1 Novy township, Krasnogorsk Urban District, 143420 Moscow Region, Russia

<sup>2</sup> Clinical Hospital, Medical and Sanitary Unit, Ministry of Internal Affairs of Russia for Moscow, 3a Novaya Ipatovka Str., 127299 Moscow, Russia

## Summary

The heated helium-oxygen mixture (t-He/O<sub>2</sub>, heliox) reduces resistance in the airways and improves ventilation in affected zones of the lungs. Inhaled nitric oxide (NO) is a selective pulmonary vasodilator that lowers pressure in the pulmonary artery and enhances the ventilation-perfusion match, which also contributes to the optimization of oxygenation.

**The aim of the study** is to assess the efficacy and safety of adding inhaled NO, t-He/O<sub>2</sub>, and their combination to standard respiratory therapy in patients with polytrauma and pulmonary contusion.

**Materials and Methods:** We conducted an open prospective randomized study. 186 patients were divided into 4 groups: the NO group ( $n=43$ ), the t-He/O<sub>2</sub> group ( $n=49$ ), the t-He/O<sub>2</sub>+NO group ( $n=48$ ), and the control group (oxygen therapy, O<sub>2</sub>,  $n=46$ ). The respiratory therapy course lasted 12 days. We assessed the dynamics of computed tomography (MSCT) signs of pulmonary contusion, as well as the arterial blood gas (ABG) parameters (PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>, lactate, pH) on days 1, 4, 8, and 12.

**Results.** The most remarkable improvements were documented in the combination therapy group (t-He/O<sub>2</sub>+NO). By day 12, this group showed a statistically significant 69% reduction in the extent of lung injury on MSCT ( $p=0.018$ ), an increase in PaO<sub>2</sub> to 95.1 mm Hg ( $p<0.001$ ), a decrease in PaCO<sub>2</sub> to 35.8 mm Hg ( $p<0.001$ ), and a reduction in lactate to 1.38 mmol/L ( $p=0.0025$ ). The same parameters in the monotherapy groups NO or t-He/O<sub>2</sub> also markedly improved compared to the control group (O<sub>2</sub>). No therapy-related adverse events were reported.

**Conclusion.** Employment of inhaled t-He/O<sub>2</sub> and NO, especially in combination, as a part of the total care plan of patients with polytrauma and pulmonary contusion, contributes to a significant improvement in gas exchange and regression of radiographic signs of lung tissue injury. Thereby, described method is recommended for early respiratory therapy in intensive care units.

**Keywords:** *helium-oxygen mixture; heliox; inhaled nitric oxide; polytrauma; pulmonary contusion; respiratory therapy; blood gas composition*

**Highlight.** A 12-day respiratory therapy course with inhaled NO and heated helium-oxygen mixture accelerates recovery from pulmonary contusion and improves gas exchange parameters in patients with polytrauma.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

### Информация об авторах / Information about the authors:

Костыря Юрий Евгеньевич / Yuri E. Kostyrya: <https://orcid.org/0009-0006-1037-8607>

Гуляев Николай Иванович / Nikolay I. Gulyaev: <https://orcid.org/0000-0002-7578-8715>

Лахин Роман Евгеньевич / Roman E. Lakhin: <https://orcid.org/0000-0001-6819-9691>

Костыря Анна Федоровна / Anna F. Kostyrya: <https://orcid.org/0009-0001-0453-4910>

Read the full-text English version at [www.reanimatology.com](http://www.reanimatology.com)

## Введение

Политравма остается одной из ведущих причин летальности и инвалидизации лиц трудоспособного возраста, представляя значимую медико-социальную проблему, в том числе для системы медицинского обеспечения правоохранительных органов [1–5]. Отличительной патофизиологической особенностью политравмы является синдром взаимного отягощения, при котором сочетание повреждений приводит к более тяжелому системному ответу, чем простая сумма тяжести изолированных травм [3–6]. Ушиб легких, как частый компонент политравмы, является независимым фактором риска развития острой дыхательной недостаточности (ОДН), пролонгирует сроки искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и увеличивает общую летальность [2–5, 7, 8].

Основой респираторной поддержки при ушибе легких является респираторная терапия, направленная на оптимизацию оксигенации и вентиляции. Поиск адьювантных методов, поз-

воляющих улучшить газообмен и сократить сроки восстановления легочной функции, является актуальной задачей интенсивной терапии.

Гелий-кислородная смесь (гелиокс) благодаря низкой плотности гелия снижает сопротивление в дыхательных путях и улучшает вентиляцию в зонах с турбулентным потоком, что теоретически может быть полезно при отеке и обструкции, сопровождающих ушиб легких [9–13]. Термическая модификация смеси (t-He/O<sub>2</sub>), а именно ее нагревание непосредственно перед вдохом до 70–90°C, потенциально может дополнительно улучшать реологические свойства мокроты и мукоцилиарный клиренс. Ингаляционный оксид азота (iNO) является селективным легочным вазодилататором, снижающим давление в легочной артерии и улучшающим вентиляционно-перфузионное соотношение, что также способствует оптимизации оксигенации [14–17].

Многочисленные исследования подтверждают, что оксид азота (NO) является фунда-

ментальным регулятором метаболических процессов во всех живых организмах, проявляя широкий спектр биологических эффектов. Эти данные позволили раскрыть механизмы, посредством которых NO функционирует в биологических системах. Физико-химические свойства нейтральных молекул NO, которые образуются в организме человека в результате ферментативного синтеза, объясняют их двойственное воздействие на органы-мишени. Молекулы NO способны как регулировать, так и оказывать цитотоксическое влияние на клетки и ткани [16, 18–21].

Оксид азота (NO) является ключевым медиатором, участвующим в широком спектре биохимических процессов, критически важных для регуляции физиологических функций на клеточном уровне. Его роль в передаче сигналов, как межклеточных, так и внутриклеточных, обеспечивает гомеостаз организма. В частности, в сердечно-сосудистой системе NO инициирует вазодилатацию через активацию эндотелий-зависимого механизма релаксации гладкой мускулатуры сосудов [8, 17, 18, 20].

Основным проявлением действия ингаляционного оксида азота на организм является прямое его влияние на сосуды малого круга кровообращения, вследствие чего реализуются различные механизмы улучшения газообмена. Помимо прочего прямое регуляторное действие на мускулатуру бронхиального дерева позволяет снизить его сопротивление протекающей газовой смеси [14–17]. Преимущество термической гелий-кислородной смеси (термический гелиокс) в условиях патологической бронхоконстрикции заключается в очень низкой вязкости и высокой текучести, что обеспечивает ее высокую проникающую способность в альвеолы и прямое термическое воздействие [9–13].

Несмотря на изученность эффектов гелий-кислородной смеси и оксида азота в отдельности, данные об их совместном применении, особенно в форме термического гелиокса, у пациентов с травматическим повреждением легких ограничены.

Цель исследования — оценить эффективность и безопасность добавления ингаляций NO, t-He/O<sub>2</sub> и их комбинации к стандартной респираторной терапии у пострадавших с политравмой и ушибом легких

## Материал и методы

Провели открытое, одноцентровое, интервенционное, проспективное, рандомизированное клиническое исследование на базе отделений реанимации и интенсивной терапии Национального медицинского исследовательского центра высоких медицинских технологий — Центрального военного клинического госпиталя им. А. А. Вишневского Ми-

нобороны России (НМИЦ ВМТ им. А. А. Вишневского) в период с сентября 2023 года по май 2025 г. Исследование было одобрено Этическим комитетом НМИЦ ВМТ им. А. А. Вишневского (научно-исследовательская работа (НИР) «Гелий» протокол № 14/23 от 20.07.2023, НИР «Гелий+», протокол № 2/25 от 27.02.2025).

Общее скрининговое исследование в объеме мультиспиральной компьютерной томографии органов грудной клетки выполнили 15846 пациентам с политравмой на этапе поступления в лечебное учреждение. Из них число пострадавших, у которых на фоне политравмы ведущим было поражение легких в виде их контузии без признаков воспаления и имела дыхательная недостаточность, составило 468 пациентов. Отобрали 192 пациента (мужчины — 192, средний возраст 31 ± 7 лет), соответствующих критериям включения в исследование. 186 из них полностью прошли программу исследования. 4-х пациентов исключили вследствие развития воспалительных изменений в легочной ткани, у 2-х пациентов развились явления острого почечного повреждения, которые потребовали проведения заместительной почечной терапии (рис. 1).

Критерии включения: пациенты обоего пола в возрасте 18–65 лет с верифицированным диагнозом политравмы и ушиба легких (по данным экстренной МСКТ органов грудной клетки), с признаками дыхательной недостаточности (SaO<sub>2</sub> ≤ 95%, PaO<sub>2</sub> ≤ 80 мм рт. ст.), подписавшие информированное согласие.

Критерии исключения: изолированная травма грудной клетки, бактериальная пневмония на момент поступления, тяжелая органная патология (почечная дисфункция со скоростью клубочковой фильтрации менее 30 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>, потребность в гемодиализе, печеночная недостаточность с проявлениями цитолиза, декомпенсированный сахарный диабет, онкологические или гематологические заболевания), необходимость проведения экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО), участие в других клинических исследованиях.

Выделение групп: 186 пациентов, соответствовавших критериям включения, методом рандомизации (запечатанные конверты) распределили на 4 группы:

— группа 1 (NO), *n* = 43: стандартная терапия + ингаляции NO в дозе 30 ppm через аппарат «Тианокс» (АИТ-NO-01 по ТУ 32.50.21-001-07623615-2017). 2 раза в день по 20 минут.

— группа 2 (t-He/O<sub>2</sub>), *n* = 49: стандартная терапия + ингаляции термической гелий-кислородной смеси (65–75% He, 25–35% O<sub>2</sub>, температура 70–90°C) через аппарат «Гелиокс Экстрим» (РЗН 2016/3988, ТУ 9444-001-0116489960-2015) 2 раза в день по 20 мин.

— группа 3 (t-He/O<sub>2</sub> + NO), *n* = 48: стандартная терапия + комбинированные ингаляции (t-He/O<sub>2</sub> + NO) по аналогичному режиму.

— группа 4 (контроль, O<sub>2</sub>), *n* = 46: стандартная терапия + оксигенотерапия через маску Вентури (поток O<sub>2</sub> 6 л/мин) 2 раза в день по 20 мин.



Рис. 1. Схема отбора пациентов в исследование.

Стандартную терапию во всех группах проводили в соответствии с актуальными клиническими рекомендациями, с включением адекватного обезболивания, респираторной поддержки по показаниям, антибактериальной и инфузионной терапии.

**Оцениваемые параметры.** Первичная конечная точка исследования — динамика  $PaO_2$  (напряжение кислорода в артериальной крови) к 8-м суткам терапии. Помимо  $PaO_2$ , оценивали динамику ряда показателей артериальной крови ( $PaCO_2$ ,  $SaO_2$ , лактат, pH) и степень регресса изменений легочной ткани по данным МСКТ. Оценку осуществляли исходно (1-е сутки) и на 4-е, 8-е, 12-е сутки терапии. Тяжесть ушиба легких оценивали по модифицированной классификации: КТ-1 (легкая), КТ-2 (средняя), КТ-3 (тяжелая) [8].

**Обоснование размера выборки.** Расчет размера выборки выполнили для первичной конечной точки — динамики  $PaO_2$  (напряжение кислорода в артериальной крови) к 8-м суткам терапии. Минимальной клинически значимой разницей между группами приняли значение 12 мм рт. ст. на основании ретро-

спективного анализа историй болезни пациентов с политравмой и ушибом легких в нашем центре. Стандартное отклонение (SD) показателя  $PaO_2$  в исследуемой популяции составило 7,0 мм рт. ст.

**Статистический расчет** выполнили с использованием программного обеспечения G\*Power (версия 3.1.9.7, Universität Düsseldorf, Германия) для однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с четырьмя группами. Считали достоверными значения: уровень значимости  $\alpha = 0,05$  (двусторонний), статистическая мощность  $(1-\beta) = 0,80$ , ожидаемый размер эффекта Cohen's  $f = 0,50$  (что соответствует отношению разницы средних к стандартному отклонению  $\Delta/SD \approx 12/7 = 1,71$ , пересчитанному в  $f$  для четырех групп).

С целью контроля ошибки I типа при множественных попарных сравнениях использовали поправку Бонферрони: число сравнений между четырьмя группами составляло 6, поэтому скорректированный уровень значимости  $\alpha_{adj} = 0,05 / 6 \approx 0,0083$ .

**Результат расчета.** Минимальный необходимый размер выборки составил 21 пациент на группу. Учитывая возможное выбывание (около 10% — развитие воспалительных изменений, острое

почечное повреждение и другие причины), плановый размер группы установили равным 23 пациентам.

Фактически в исследование после рандомизации и исключения 6 пациентов вошло от 43 до 49 пациентов в каждой группе, что превысило расчетный минимум в 1,9–2,1 раза. Произвели расчет статистической мощности для однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с четырьмя группами при общем объеме выборки  $n = 192$ , уровень значимости  $\alpha = 0,05$ , Cohen's  $f = 0,50$  с использованием программного обеспечения G\*Power (версия 3.1.9.7, Universität Düsseldorf, Германия) для данных приведенных параметров. Мощность  $\approx 1,00$  (или 100%). Даже с учетом поправки Бонферрони статистическая мощность оставалась очень высокой (99%), что гарантировало надежность выводов для всех планируемых межгрупповых сравнений.

**Статистический анализ** проводили с использованием программ IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) Microsoft Excel LTSC MSO (16.0.14332.20761) (Microsoft Corp., Redmond, Washington 98052-6399, USA). Нормальности

**Таблица 1. Антропометрические, клинические и лабораторные показатели пациентов.**

Показатели	Значения показателей в группах				p
	NO, n=43	t-He/O <sub>2</sub> , n=49	t-He/O <sub>2</sub> +NO, n=48	O <sub>2</sub> , n=46	
Возраст, лет	32±7	30±6	30±7	32±6	0,779
Пол, муж	43 (100%)	49 (100%)	48 (100%)	46 (100%)	0,999
Рост, см	175±6	174±5	175±7	173±7	0,741
Вес, кг	76,8±6,8	77,4±8,1	75,9±8,6	77,2±7,6	0,861
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	25,6±4,8	24,9±5,3	25,1±4,9	25,8±5,6	0,863
ИМТ > 25 кг/м <sup>2</sup>	12 (28%)	16 (32%)	17 (35%)	14 (30%)	0,902
ЧСС, мин <sup>-1</sup>	92±14	86±12	88±15	90±14	0,668
МСКТ ушиба легких (при поступлении)*, баллы	1,96 (1,45–2,47)	1,92 (1,36–2,56)	2,0 (1,39–2,61)	1,94 (1,33–2,55)	0,675
PaO <sub>2</sub> (при поступлении), мм рт. ст.	72,1±6,9	74,3±9,7	73,1±8,4	72,8±8,8	0,807
PaCO <sub>2</sub> (при поступлении), мм рт. ст.	47,2±6,8	48,4±7,6	48,3±7,7	47,0±7,5	0,850
SaO <sub>2</sub> (при поступлении), %	91,6±1,4	92,3±2,1	91,9±1,9	92,0±2,2	0,780
Уровень лактата (при поступлении), ммоль/л	4,12±0,78	3,86±1,12	3,92±0,84	4,01±1,22	0,766
pH (при поступлении)	7,33±0,07	7,32±0,07	7,32±0,07	7,33±0,07	0,886
ISS1					
конечности*	2,3 (1–4)	2,4 (1–4)	2,3 (1–4)	2,4 (1–4)	0,950
голова*	2,6 (1–4)	2,5 (1–4)	2,5 (1–4)	2,6 (1–4)	0,953
шея*	0,3 (0–1)	0,2 (0–1)	0,3 (0–1)	0,3 (0–1)	0,841
лицо*	0,2 (0–1)	0,2 (0–1)	0,2 (0–1)	0,3 (0–1)	0,841
грудь*	9 (9–9)	9 (9–9)	9 (9–9)	9 (9–9)	0,999
живот*	2,8 (1–4)	2,6 (1–4)	2,7 (1–4)	2,8 (1–4)	0,964
наружный* покров	2,2 (1–4)	2,4 (1–4)	2,3 (1–4)	2,0 (1–4)	0,790

**Примечание.** Данные табл. 1 и 2 представили  $M \pm SD$ , где  $M$  — среднее арифметическое;  $SD$  — стандартное отклонение. ISS1 — тяжесть сочетанной травмы по областям по шкале тяжести травмы (Injury Severity Score), баллы. \* — Данные представили в виде  $Me$  — медианы; ( $Q1$ – $Q3$ ) — нижнего и верхнего квартилей.

распределения оценивали по критериям Шапиро–Уилка и  $\chi^2$  Пирсона. Показатели, характер которых соответствовал нормальному распределению, описывали с помощью средних арифметических величин ( $M$ ) и стандартных отклонений ( $SD$ ), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ). В случаях ненормального распределения количественных данных их описывали с помощью медианы ( $Me$ ) и нижнего и верхнего квартилей ( $Q1$ – $Q3$ ). Непрерывные числовые данные независимых выборок сравнивали с применением  $t$ -критерия Стьюдента, а парных выборок — посредством  $t$ -теста для зависимых наблюдений. Различия между группами, содержащие переменные, распределение которых отличалось от нормального, оценивали посредством  $U$ -критерия Манна–Уитни и знакового рангового теста Уилкоксона. Доли в группах и категориальные переменные сравнивали с применением критерия  $\chi^2$  Пирсона, либо точного теста Фишера (в случаях, когда частота исхода составляла менее 10%). Значимость различий средних значений групп показателей оценивали посредством дисперсионного анализа (тест ANOVA). Результаты множественных сравнений корректировали, используя сравнение разностей средних по методу Тьюки и коррекцию уровня значимости (поправку Бонферрони). В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных показателей использовали показатели отношения шансов (ОШ) с определением границ 95% доверительного интервала. Значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не применяли.

## Результаты

**Характеристика групп.** Исходные демографические, клинические и лабораторные показатели пациентов во всех четырех группах были сопоставимы ( $p > 0,05$ ), что подтвердило корректность рандомизации (табл. 1). Все пациенты были мужчинами, что было связано с эпидемиологией политравмы. Средний возраст составил  $31 \pm 7$  лет. Преобладала средняя степень тяжести ушиба легких (КТ-2) — 77% случаев.

**Динамика МСКТ-признаков.** На 12-е сутки наблюдения наиболее значимый регресс объема поражения легочной ткани отметили в группе комбинированной терапии t-He/O<sub>2</sub>+NO (уменьшение на 69% от исходного,  $p=0,018$ ) и в группе t-He/O<sub>2</sub> (уменьшение на 62%,  $p=0,044$ ). В группе NO регресс составил 54% ( $p=0,09$ ), в контрольной группе O<sub>2</sub> — 42% ( $p=0,230$ ) (рис. 2).

**Динамика показателей газообмена.** SaO<sub>2</sub>: к 4-м суткам SaO<sub>2</sub> значимо повысилась во всех основных группах по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ), достигнув максимальных значений в группе t-He/O<sub>2</sub>+NO (96,6%). К 12-м суткам в основных группах SaO<sub>2</sub> стабилизировалась на уровне 97,4%, в то время как в контрольной группе — 95,0% (табл. 2).

**PaO<sub>2</sub>.** Значимое повышение PaO<sub>2</sub> к 8-м суткам зафиксировали во всех группах, однако в группах t-He/O<sub>2</sub> и t-He/O<sub>2</sub>+NO прирост был наиболее выраженным (до 95,3 и 95,1 мм рт. ст. соответственно,  $p < 0,001$ ), превышая показатели группы контроля (82,8 мм рт. ст.,  $p=0,040$ ) (табл. 2).

Таблица 2. Динамика исследуемых показателей за 12 суток лечения пациентов.

Показатели, сутки	Значения показателей в группах			
	NO, n=43	t-He/O <sub>2</sub> , n=49	t-He/O <sub>2</sub> +NO, n=8	O <sub>2</sub> n=46
<b>SaO<sub>2</sub>, %</b>				
1-е	91,6±1,4	92,3±2,1	91,9±1,9	92,0±2,2
4-е	95,6±1,1*	96,1±1,3*	96,6±1,1*	94,0±2,2
8-е	96,1±1,3	97,8±1,1	98,9±0,7	94,7±1,9
12-е	96,6±1,4	98,8±0,8	99,1±0,8	95,0±2,8
p, 1-е и 12-е	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,285
<b>PaO<sub>2</sub>, мм рт. ст.</b>				
1-е	72,1±6,9	74,3±9,7	73,1±8,4	72,8±8,8
4-е	82,7±5,9	85,8±6,3	86,7±5,6	81,3±7,1
8-е	88,1±6,9	95,3±4,5	95,1±4,4	82,8±4,8
12-е	92,8±5,1	97,1±1,9	98,3±0,9	90,1±8,2
p, 1-е и 12-е	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,036
<b>PaCO<sub>2</sub>, мм рт. ст.</b>				
1-е	47,2±6,8	48,4±7,6	48,3±7,7	47,0±7,5
4-е	43,2±5,8	42,4±4,6	40,9±6,1	45,2±6,5
8-е	39,2±3,2	36,4±2,6	36,1±2,1	42,4±6,1
12-е	37,2±4,1	36,1±2,3	35,9±2,7	39,8±4,5
p, 1-е и 12-е	p=0,015	p<0,001	p<0,001	p=0,110
<b>Лактат артериальной крови, ммоль/л</b>				
1-е	4,12±0,78	3,86±1,12	3,92±0,84	4,01±1,22
4-е	2,66±0,62*	2,12±0,68*	2,06±0,74*	3,1±1,18
8-е	1,78±0,84	1,54±0,91	1,48±0,88	2,45±1,32
12-е	1,82±0,96	1,36±0,85	1,38±0,84	2,34±1,14
p, 1-е и 12-е	p=0,017	p=0,003	p=0,003	p=0,144
<b>pH артериальной крови</b>				
1-е	7,33±0,07	7,32±0,07	7,32±0,07	7,33±0,07
4-е	7,36±0,07	7,36±0,07	7,36±0,07	7,36±0,07
8-е	7,39±0,07	7,40±0,07	7,40±0,07	7,35±0,07
12-е	7,38±0,07	7,42±0,07	7,43±0,07	7,36±0,07
p, 1-е и 12-е	p=0,481	p=0,155	p=0,116	p=0,667

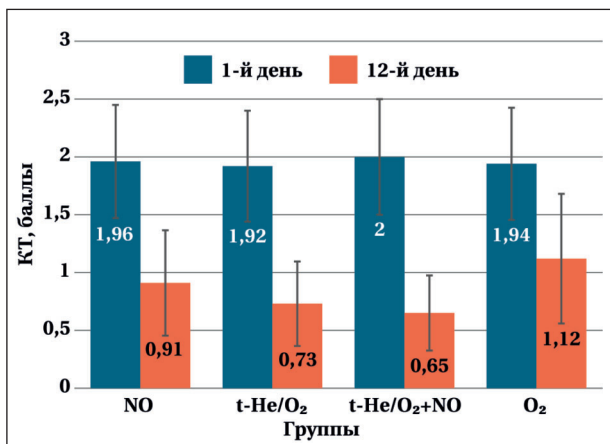


Рис. 2. Динамика компьютерных томографических признаков ушиба легких в группах.

**PaCO<sub>2</sub>.** Статистически значимое снижение PaCO<sub>2</sub> к 8-м суткам отметили в группах t-He/O<sub>2</sub> (36,4 мм рт. ст.,  $p=0,027$ ) и t-He/O<sub>2</sub>+NO (36,1 мм рт. ст.,  $p=0,030$ ). В группе контроля значимой динамики не наблюдали ( $p=0,110$ ) (табл. 2).

**Лактат (Лас).** Уже на 4-е сутки во всех основных группах фиксировали значимое снижение лактата по сравнению с исходным ( $p<0,05$ ), тогда как в контрольной группе динамика была незначимой ( $p=0,443$ ). К 12-м суткам концентрация лактата в группах t-He/O<sub>2</sub> и

t-He/O<sub>2</sub>+NO достигла 1,36 и 1,38 ммоль/л соответственно, что ниже, чем в группе контроля (2,34 ммоль/л) (табл. 2).

**pH.** Межгрупповой разницы динамики pH артериальной крови не выявили ( $p>0,05$ ), хотя отметили тенденцию к более быстрой нормализации в группах с применением t-He/O<sub>2</sub> (табл. 2).

**Безопасность.** За весь период наблюдения не зарегистрировали ни одного нежелательного явления, связанного с проведением ингаляционной терапии NO или t-He/O<sub>2</sub>. Максимальное значение метгемоглобина зарегистрировали равным 1%.

## Обсуждение

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что добавление ингаляций NO и, в особенности, термической гелий-кислородной смеси к стандартной терапии у пациентов с политравмой и ушибом легких приводит к значимо более выраженному улучшению показателей газообмена по сравнению с изолированной кислородотерапией.

Наибольшая эффективность комбинированного режима (t-He/O<sub>2</sub>+NO) может быть объяснена воздействием на различные звенья патогенеза респираторной недостаточности при ушибе легких. Ингаляционный NO, являясь селективным вазодилататором, предположительно

но улучшил перфузию в вентилируемых отделах легких, снизив шунтирование [16, 22–24]. Термический гелиокс, благодаря снижению плотности дыхательной смеси и, возможно, муколитическому эффекту нагретого увлажненного газа, мог способствовать улучшению распределения газового потока и проходимости дистальных дыхательных путей, уменьшая зоны гиповентиляции [11–13, 20, 25]. Синергичное сочетание этих эффектов, вероятно, и привело к наиболее быстрой нормализации  $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$  и лактата в 3-й группе.

Подобные эффекты были отражены в систематическом обзоре и мета-анализе [26], включившем 8 исследований общим количеством 1097 пациентов с пневмонией, который показал, что добавление  $\text{He/O}_2$  к традиционной терапии может улучшить оксигенацию независимо от того, какой использовался протокол ингаляции  $\text{He/O}_2$ . В период пандемии коронавирусной инфекции ингаляция  $\text{He/O}_2$  приводила к улучшению оксигенации, что способствовало сокращению сроков кислородотерапии и снижению летальности [9, 10, 27]. Применение ингаляции  $\text{He/O}_2$  для предоперационной подготовки пациентов снижает количество послеоперационных осложнений [25].

Важным результатом является значимое снижение уровня лактата в основных группах уже к 4-м суткам. Поскольку гиперлактатемия у критических больных часто отражает тканевую гипоперфузию и кислородный долг, его быстрое снижение на фоне применения исследуемых методов может свидетельствовать об улучшении периферической оксигенации и гемодинамики в целом, что согласуется с известными эффектами NO на микроциркуляцию [9, 14, 17].

Полное отсутствие нежелательных явлений подтверждает данные литературы о высокой безопасности как низкодозированного ингаляционного NO [8, 18, 24], так и гелиокс-терапии [9, 11, 27] при кратковременном применении у пациентов без тяжелой легочной гипертензии.

## Литература

1. Агаджанян В. В., Устьянцева И. М., Пронских А. А., Кравцов С. А., Новокшионов А. В., Агаларян А. Х., Милуков А. Ю., с соавт. Политравма. Неотложная помощь и транспортировка. Новосибирск: Наука; 2008: 320. Agadzhanyan V. V., Ustyantseva I. M., Pronskikh A. A., Kravtsov S. A., Novokshonov A. V., Agalarian A. Kh., Milukov A. Y., et al. Polytrauma. Emergency aid and transportation. Novosibirsk: Nauka; 2008: 320.
2. Военная анестезиология и реаниматология. Национальное руководство. Щеголев А. В. (ред.). М.: ГЭОТАР-Медиа; 2026: 912. ISBN 978-5-9704-9771-5. Military anesthesia and resuscitation. National Guidelines. Shchegolev A. V. (ed). Moscow: GEOTAR-Media; 2026: 912. ISBN 978-5-9704-9771-5. (in Russ.).
3. Крюков Е. В., Язенок А. В., Зайцев А. А., Goverdovskiy Ю. Б., Агафонов П. В., Фурсова Е. Н. Особенности патологии органов дыхания у раненых в условиях современного вооруженного конфликта. *Военно-медицинский журнал*. 2025; 346 (10): 4–10. Kryukov E. V., Yazenok A. V., Zaitsev A. A., Goverdovskiy Yu. B.,

Ограничения исследования включают его открытый дизайн, связанный с техническими особенностями применяемого оборудования и проведение в одном центре, что может ограничивать генерализацию результатов. Перспективным направлением является проведение многоцентровых исследований с использованием ослепления для оценки влияния данных методов на более «жесткие» конечные точки: продолжительность ИВЛ, длительность пребывания на ОРИТ, общую летальность.

Клиническая значимость: предлагаемые методы респираторной поддержки являются малозатратными, неинвазивными и могут быть быстро развернуты в условиях госпиталей и военно-полевых медицинских учреждений. Их применение может способствовать более быстрой стабилизации состояния пострадавших с политравмой, сокращению сроков интенсивной терапии и улучшению исходов, что имеет большое значение для медицинского обеспечения в зонах чрезвычайных ситуаций.

## Заключение

Добавление ингаляций как оксида азота (30 ppm), так и термической гелий-кислородной смеси к стандартной респираторной терапии у пострадавших с политравмой и ушибом легких приводит к значимому улучшению показателей газообмена ( $\text{PaO}_2$ ,  $\text{SaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$ ), а также к более быстрому снижению лактата артериальной крови, по сравнению со стандартной кислородотерапией.

Применение комбинированной ингаляции термического гелиокса и NO демонстрирует наиболее выраженный положительный эффект на динамику газообмена и регресс компьютерно-томографических признаков контузионных повреждений легочной ткани, что свидетельствует о возможном синергизме методов.

Все ингаляционные методы лечения продемонстрировали благоприятный профиль безопасности при курсовом применении в течение 12 суток.

- Agafonov P. V., Fursova E. N. Features of respiratory pathology in the wounded in the conditions of a modern armed conflict. *Military Medical Journal=Voenno-Meditsinskiy Zhurnal*. 2025; 346 (10): 4–10. (in Russ.). DOI: 10.52424/00269050\_2025\_346\_10\_4.
4. Тришкин Д. В., Крюков Е. В., Агафонов П. В., Аланичев А. Е., Базилевич С. Н., Барсуков А. В., Башиарин В. А., с соавт. Военно-полевая терапия. Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2023: 736. Trishkin D. V., Kryukov E. V., Agafonov P. V., Alanichev A. E., Bazilevich S. N., Barsukov A. V., Basharin V. A., et al. Military field therapy. National guidelines. M.: GEOTAR-Media; 2023: 736. (in Russ.). ISBN 978-5-9704-8023-6. DOI 10.33029/9704-8023-6-VPT-2023-1-736.
  5. Язенок А. В., Паценко М. Б., Чеховских Ю. С., Агафонов П. В., Goverdovskiy Ю. Б., Загородников Г. Г., Головкин К. П. Структура висцеральной патологии на этапе оказания специализированной медицинской помощи — в военно-медицинской организации центрального подчинения в условиях современного вооруженного конфликта. *Военно-медицинский журнал*. 2025; 346 (12): 4–10. Yazenok A. V., Patsenko M. B., Chekhovskikh Yu. S.,

- Agafonov P. V., Goverdovsky Yu. B., Zagorodnikov G. G., Golovko K. P. The structure of visceral pathology at the stage of providing specialized medical care in a centrally subordinate military medical organization during a modern military conflict. *Military Medical Journal=Voenno-Meditsinskiy Zhurnal*. 2025; 346 (12): 4-10. (in Russ.). DOI 10.52424/00269050\_2025\_346\_12\_4.
6. *Бойко И. В., Зафт В. Б., Лазаренко Г. О.* Организация экстренной медицинской помощи пострадавшим с политравмой на этапах медицинской эвакуации. *Медицина неотложных состояний*. 2013; 2 (49): 77–84. УДК: 616-001.756-083.98. *Boiko I. V., Zaft V. B., Lazarenko G. O.* Organization of emergency medical care for patients with polytrauma at the stages of medical evacuation. *Emergency Medicine=Neotlozhnaya Meditsina*. 2013; 2 (49): 77–84. (in Russ.). UDK: 616-001.756-083.98.
  7. *Евдокимов В. И., Алексанин С. С., Рыбников В. Ю., Мясников А. А., Глухов В. А.* Наукометрический анализ статей по применению газовых дыхательных смесей в экстремальной медицине. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2024; 3: 104–123. *Evdokimov V. I., Aleksanin S. S., Rybnikov V. Yu., Myasnikov A. A., Glukhov V. A.* Scientometric analysis of articles of respiratory gas mixtures and their application in emergency medicine. *Medical, biological, and socio-psychological problems of safety in emergency situations*. 2024; 3: 104–123. (in Russ.). DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-3-104-123.
  8. *Чучалин А. Г.* Респираторная медицина в 3 томах. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2017; 1: 640. *Chuchalin A. G.* Respiratory Medicine in 3 volumes. M.: GEOTAR-Media. 2017; 1: 640. (in Russ.).
  9. *Шоенова Л. В., Петриков С. С., Журавель С. В., Гаврилов П. В., Уткина И. И., Варфоломеев С. Д., Рябokon А. М., с соавт.* Термическая гелий-кислородная смесь в лечебном алгоритме больных с COVID-19. *Вестник РАМН*. 2020; 75 (5S): 353–362. *Shogenova L. V., Petrikov S. S., Zhuravel S. V., Gavrilov P. V., Utkina I. I., Varfolomeev S. D., Ryabokon A. M., et al.* Thermal helium-oxygen mixture as part of a treatment protocol for patients with COVID-19. *Annals of the Academy of Medical Sciences = Vestn Ross Acad Med Nauk*. 2020; 75 (5S): 353–362. (in Russ.). DOI: 10.15690/vgram1412.
  10. *Смирнова М. И., Антипушина Д. Н., Драткина О. М.* Возможные варианты применения гелиево-кислородной смеси при острой респираторной патологии и в условиях пандемии COVID-19. *Профилактическая медицина*. 2020; 23 (7): 78–84. *Smirnova M. I., Antipushina D. N., Drapkina O. M.* Possible options for the use of helium-oxygen mixture in acute respiratory pathology and in the context of the COVID-19 pandemic. *Russian Journal of Preventive Medicine = Profilakticheskaya Meditsina*. 2020; 23 (7): 78–84. (in Russ.). DOI: 10.17116/profmed20202307178.
  11. *Beurskens, C. J., Wosten-van Asperen, R., Preckel, B., Juffermans N. P.* The potential of heliox as a therapy for acute respiratory distress syndrome in adults and children, a descriptive review. *Respiration*. 2015; 89 (2): 166–174. DOI:10.1159/000369472. PMID: 25662070.
  12. *Chiappa G. R., Queiroga F Jr, Meda E., Ferreira L. E., Diefenthaler F., Nunes M., Vaz M. A., et al.* Heliox improves oxygen delivery and utilization during dynamic exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2020; 395: 1004–1010. DOI: 10.1164/rccm.200811-1793OC. PMID: 19299497.
  13. *Colebourn C. L., Barber V., Young J. D.* Use of helium-oxygen mixture in adult patients presenting with exacerbations of asthma and chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Anaesthesia*. 2007; 62 (1): 34–42. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2006. 04897.x. PMID: 17156225.
  14. *Царева Н. А., Неклюдова Г. В., Ярошецкий А. И., Нуралиева Г. С., Куркиева Ф. Т., Шмидт А. Е., Суворова О. А. с соавт.* Исследование эффективности и безопасности высоких доз ингаляционного оксида азота у пациентов с внебольничной пневмонией: пилотное исследование. *Пульмонология*. 2024; 34 (3): 417–426. *Tsareva N. A., Neklyudova G. V., Yaroshetsky A. I., Nuralieva G. S., Kurkueva F. T., Schmidt A. E., Suvorova O. A., et al.* Efficacy and safety of high doses of inhaled nitric oxide in patients with community-acquired pneumonia: a pilot study. *Pulmonology=Pulmonologiya*. 2024; 34 (3): 417–426. (in Russ.). DOI: 10.18093/0869-0189-2024-34-3-417-426.
  15. *Чучалин А. Г., Зайцев А. А., Куликова Н. А., Лиходий В. И., Давыдов Д. В.* Ушиб легкого: клинические рассуждения. *Пульмонология*. 2023; 33 (3): 408–413. *Chuchalin A. G., Zaitsev A. A., Kulikova N. A., Likhodiy V. I., Davydov D. V.* Pulmonary contusion: clinical reasoning. *Pulmonology=Pulmonologiya*. 2023; 33 (3): 408–413. (in Russ.). DOI: 10.18093/0869-0189-2023-33-3-408-413.
  16. *Bath P. M., Coleman C. M., Gordon A. L., Lim W. S., Webb A. J.* Nitric oxide for the prevention and treatment of viral, bacterial, protozoal and fungal infections. *F1000Res*. 2021; 10: 536. DOI: 10.12688/f1000research.51270.2. PMID: 35685687.
  17. *Dweik R. A.* Exhaled nitric oxide analysis and applications. Literature review. UpToDate. Mar 07, 2023. URL: <https://www.uptodate.com/contents/exhalednitric-oxide-analysis-and-applications>.
  18. *Ванин А. Ф.* Позитивное (регуляторное) и негативное (цитотоксическое) действие динитрозильных комплексов железа в живых организмах. *Биохимия*. 2022; 87 (11): 1739–1760. *Vanin A. F.* Positive (regulatory) and negative (cytotoxic) effects of iron dinitrosyl complexes in living organisms. *Biochemistry = Biokhimiia*. 2022; 87 (11): 1739–1760. (in Russ.). DOI: 10.31857/S0320972522110173.
  19. *Калашиникова Т. П., Арсеньева Ю. А., Каменщиков Н. О., Подоксенов Ю. К., Кравченко И. В., Чубик М. В., Карпова М. Р., с соавт.* Антибактериальное действие оксида азота на возбудители госпитальной пневмонии (экспериментальное исследование). *Общая реаниматология*. 2024; 20 (3): 32–41. *Kalashnikova T. P., Arsenyeva Yu. A., Kamenshchikov N. O., Podoksenov Yu. K., Kravchenko I. V., Chubik M. V., Karpova M. R., et al.* Antibacterial effect of nitric oxide on the causative agents of hospital-acquired pneumonia (experimental study). *General Reanimatology = Obshchaya Reanimatologiya*. 2024; 20 (3): 32–41. (in Russ. & Eng.).
  20. *Чучалин А. Г.* Оксид азота — молекула XXI века. *Пульмонология*. 2024; 34 (3): 326–333. *Chuchalin A. G.* Nitric oxide — a molecule of the 21st century. *Pulmonology=Pulmonologiya*. 2024; 34 (3): 326–333. (in Russ.). DOI: 10.18093/0869-0189-2024-34-3-326-333.333.
  21. *Fink J. B.* Helium-oxygen: an old therapy creates new interest. Feb 7, 2007. *Chron. Pulm. Dis. respiratorytherapy.com* [сайт]. Текст: электронный. (дата обращения: 20.01.2026)
  22. *Tejero J., Shiva S., Gladwin M. T.* Sources of vascular nitric oxide and reactive oxygen species and their regulation. *Physiol Rev*. 2019; 99 (1): 311–379. DOI: 10.1152/physrev.00036.2017. PMID: 30379623.
  23. *Zhao Y., Vanhoutte P. M., Leung S. W.* Vascular nitric oxide: beyond NOS. *J Pharmacol Sci*. 2015; 129 (2): 83–94. DOI: 10.1016/j.jpshs.2015.09.002. PMID: 26499181.
  24. *Костыря Ю. Е., Гуляев Н. И., Агафонов П. В., Юркин А. К.* Исследование эффективности и безопасности оксида азота в ранней респираторной реабилитации пациентов с политравмой и ушибом легких. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2026; 28 (1): 65–73 *Kostyrya Yu. E., Gulyaev N. I., Agafonov P. V., Yurkin A. C.* Study of nitric oxide effectiveness and safety in early respiratory rehabilitation of patients with polytrauma and pulmonary contusion. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy= Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii*. 2026; 28 (1): 65–73 (in Russ.). DOI: 10.17816/brmma697540.
  25. *Лянгазов А. П., Габитов М. В., Скрипкин Ю. В., Молчанов И. В., Гребенчиков О. А.* Влияние предоперационной подготовки гелий-кислородной смесью на частоту легочных осложнений у пациентов с ХОБЛ и раком легкого. *Общая реаниматология*. 2026; 22 (1): 4–13. *Lyangazov A. P., Gabitov M. V., Skripkin Yu. V., Molchanov I. V., Grebenschikov O. A.* The effect of preoperative preparation with helium-oxygen mixture on the incidence of pulmonary complications in patients with COPD and lung cancer. *General Reanimatology= Obshchaya Reanimatologiya*. 2026; 22 (1): 4–13. (in Russ. & Eng.). DOI: 10.15360/1813-9779-2026-1-2606.
  26. *Лакхин Р. Е., Шаповалов П. А., Щеголев А. В., Козлов К. В., Жданов А. Д.* Эффективность использования кислородно-гелиевой смеси в интенсивной терапии пневмоний у взрослых пациентов: систематический обзор и метаанализ. *Вестник интенсивной терапии им. А. И. Салтанова*. 2022; 2: 52–69. *Lakhin R. E., Sharovalov P. A., Shchegolev A. V., Kozlov K. V., Zhdanov A. D.* The effectiveness of oxygen-helium mixture in the intensive care of pneumonia in adult patients: a systematic review and meta-analysis. *Ann Crit Care = Vestnik Intensivnoy Terapii im A. I. Saltanova*. 2022; 2: 52–69. (in Russ.). DOI: 10.21320/1818-474X-2022-2-52-69.
  27. *Лакхин Р. Е., Жданов А. Д., Щеголев А. В., Жданов К. В., Салухов В. В., Зверев Д. П., Козлов К. В.* Применение кислородно-гелиевой газовой смеси «ГелиОкс» для лечения дыхательной недостаточности у пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 (рандомизированное одностороннее контролируемое исследование). *Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2021; 10 (3): 430–437. *Lakhin R. E., Zhdanov A. D., Shchegolev A. V., Zhdanov K. V., Salukhov V. V., Zverev D. P., Kozlov K. V.* Oxygen-helium gas mixture «Heliox» for the treatment of respiratory failure in patients with the new coronavirus infection COVID-19 (randomized single-center controlled trial). *Russian Sklifosovskiy Journal «Emergency Medical Care» = Zhurnal im. N. V. Sklifosovskogo «Neotlozhnaya Meditsinskaya Pomoshch»*. 2021; 10 (3): 430–437. (in Russ.). DOI: 10.23934/2223-9022-2021-10-3-430-437.

Поступила 09.02.2026  
Принята 13.05.2026