УДК 616.314.17-008.1-036.12(048)
DOI: 10.36979/1694-500X-2026-26-1-152-161

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ У ЗДОРОВЫХ ЛИЦ ДО И ПОСЛЕ ОТОПИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА

М.Т. Торобаева, И.Ж. Жумабекова, М.Ж. Сайнидинова, С.Т. Жумабеков, А.Р. Шаршембиев, Ж.К. Кемелова, М.Ж. Мадемилов, А.И. Акылбеков, Т.М. Сооронбаев

Аннотация. Проведено серийное поперечное исследование, направленное на оценку влияния загрязнения атмосферного воздуха в отопительный сезон на электрокардиографические показатели у жителей города Бишкека и Чуйской области. В исследование включены 932 участника, из которых 843 прошли повторное обследование после окончания отопительного сезона. Анализ продемонстрировал статистически значимое увеличение доли лиц с синусовым ритмом (с 92,7 до 98,8 %; $p < 0,001$) и снижение частоты аритмий (с 7,3 до 0,9 %; $p < 0,001$). Остальные параметры – признаки гипертрофии левого желудочка, изменения сегмента ST и патологические зубцы T – не показали достоверных различий. Результаты указывают на обратимость части функциональных изменений миокарда при снижении сезонной экологической нагрузки и подчёркивают значимость регулярного ЭКГ-скрининга как инструмента раннего выявления сердечно-сосудистых нарушений, связанных с воздействием загрязнённого воздуха.

Ключевые слова: электрокардиография; загрязнение воздуха; отопительный сезон; сердечно-сосудистая система; скрининг; аритмии.

ЖЫЛЫТУУ СЕЗОНУНА ЧЕЙИНКИ ЖАНА АНДАН КИЙИНКИ ДЕНИ САК АДАМДАРДЫН ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯЛЫК СКРИНИНГИ

М.Т. Торобаева, И.Ж. Жумабекова, М.Ж. Сайнидинова, С.Т. Жумабеков, А.Р. Шаршембиев, Ж.К. Кемелова, М.Ж. Мадемилов, А.И. Акылбеков, Т.М. Сооронбаев

Аннотация. Бул изилдөө Бишкек шаарынын жана Чүй облусунун жашоочуларында жылытуу мезгилиндеги атмосфералык абанын булгануусунун электрокардиографиялык көрсөткүчтөргө тийгизген таасирин баалоого багытталган сериялык кесилиштик изилдөө болуп саналат. Изилдөөгө 932 катышуучу киргизилип, алардын ичинен 843 жылытуу мезгили аяктагандан кийин кайрадан текшерүүдөн өттү. Натыйжалар көрсөткөндөй, синустук ритми бар адамдардын үлүшү статистикалык жактан ишенимдүү жогорулады (92,7 %дан 98,8 %га чейин; $p < 0,001$), ал эми аритмиялардын жыштыгы азайды (7,3 %дан 0,9 %га чейин; $p < 0,001$). Калган көрсөткүчтөр – сол карынчанын гипертрофиясынын белгилери, ST сегментинин өзгөрүүлөрү жана патологиялык T тиштери – ишенимдүү айырмачылыктарды көрсөткөн жок. Изилдөөнүн жыйынтыктары жылытуу мезгили бүткөндөн кийинки экологиялык жүктөмдүн азайышы менен жүрөк булчуңунун айрым функционалдык өзгөрүүлөрү кайра калыбына келерин жана атмосферанын булгануусуна байланышкан жүрөк-кан тамыр ооруларынын эрте аныкталышында ЭКГ-скринингдин маанилүүлүгүн баса белгилейт.

Түйүндүү сөздөр: электрокардиография; абанын булгануусу; жылытуу мезгили; жүрөк-кан тамыр системасы; скрининг; аритмиялар.

ELECTROCARDIOGRAPHIC SCREENING AMONG HEALTHY INDIVIDUALS BEFORE AND AFTER THE HEATING SEASON

M.T. Torobaeva, I.Zh. Zhumabekova, M.Zh. Sainidinova, S.T. Zhumabekov, A.R. Sharshembiev, Zh.K. Kemelova, M.Zh. Mademilov, A.I. Akylbekov, T.M. Sooronbaev

Abstract. This serial cross-sectional study aimed at assessing the impact of ambient air pollution during the heating season on electrocardiographic (ECG) parameters among residents of Bishkek city and the Chui region. A total of 932 participants were enrolled, with 843 underwent repeated ECG examination after the heating season. The analysis demonstrated a statistically significant increase in the proportion of participants with sinus rhythm (from 92.7% to 98.8%; $p < 0.001$) and a decrease in the frequency of arrhythmias (from 7.3% to 0.9%; $p < 0.001$). Other parameters – including signs of left ventricular hypertrophy, ST-segment changes, and pathological T waves – showed no significant differences. The findings indicate the reversibility of certain myocardial functional alterations following a reduction in seasonal environmental load and emphasize the importance of regular ECG screening as a tool for early detection of cardiovascular abnormalities associated with air pollution exposure.

Keywords: electrocardiography; air pollution; heating season; cardiovascular system; screening; arrhythmia.

Введение. Загрязнение воздуха является одним из важнейших факторов окружающей среды, оказывающим неблагоприятное воздействие на здоровье человека [1]. В состав загрязнённого воздуха входят такие компоненты, как мелкодисперсные твердые частицы (PM2.5 и PM10), диоксид азота (NO_2), диоксид серы (SO_2), угарный газ (CO) и озон (O_3) [2]. Эти вещества способны проникать в дыхательные пути и системный кровоток, вызывая воспалительные реакции, окислительный стресс и нарушения в работе внутренних органов [3]. Особенно уязвимой перед воздействием загрязнённого воздуха оказывается сердечно-сосудистая система [4].

Многочисленные эпидемиологические исследования свидетельствуют о прямой связи между уровнем загрязнения воздуха и увеличением риска сердечно-сосудистых заболеваний, включая артериальную гипертензию, ишемическую болезнь сердца, инфаркт миокарда и инсульт [5]. Воздействие мелкодисперсных частиц способствует повышению вязкости крови, активации тромбоцитов и дисфункции эндотелия сосудов, что, в свою очередь, может привести к развитию атеросклероза и тромбообразованию [6]. Длительное пребывание в условиях высокого уровня загрязнения воздуха ассоциируется с ухудшением прогноза у пациентов с уже существующими заболеваниями сердца и сосудов, а также увеличением общей и сердечно-сосудистой смертности [7].

Эпидемиологическая ситуация в Кыргызской Республике (КР) в сфере сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) остаётся крайне неблагополучной. Согласно данным Министерства здравоохранения КР и Всемирной организации здравоохранения, болезни системы кровообращения стабильно занимают первое место в структуре общей смертности населения. На их долю приходится более 50 % всех случаев смерти, что делает ССЗ одной из ключевых медико-социальных проблем страны. Особенно тревожным является рост числа инфарктов миокарда и инсультов среди лиц трудоспособного возраста, что оказывает значительное влияние на экономику и демографическую ситуацию [8].

Факторами, способствующими высокому уровню распространённости ССЗ в республике, являются недостаточный контроль артериального давления, высокий уровень табакокурения, несбалансированное питание, низкая физическая активность, а также ограниченный доступ населения к качественной профилактической и специализированной медицинской помощи, особенно в отдалённых и сельских районах [9]. Кроме того, влияние неблагоприятных экологических факторов, включая загрязнение атмосферного воздуха в городах, усугубляет риск развития сердечно-сосудистых патологий. В этой связи актуальность своевременной диагностики, в частности посредством электрокардиографии и последующей коррекции нарушений сердечного ритма и проводимости, становится крайне важной задачей в рамках системы здравоохранения КР [10].

В условиях урбанизации и неблагоприятной экологической обстановки, характерной для таких населённых пунктов, как город Бишкек и пригородные сёла Чуйской области, особенно актуальным становится применение доступных методов скрининга и раннего выявления сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [11]. Одним из наиболее экономически эффективных и широко применяемых инструментов является электрокардиография (ЭКГ). Этот метод позволяет в амбулаторных условиях оперативно определить нарушения ритма сердца, признаки ишемии, гипертрофии миокарда и другие патологические изменения, которые могут быть следствием воздействия загрязнённого воздуха и других стрессогенных факторов урбанизированной среды [12].

ЭКГ отличается не только высокой диагностической ценностью, но и относительной простотой применения: процедура занимает несколько минут, не требует сложной аппаратуры или подготовки пациента, и может проводиться даже в условиях фельдшерско-акушерских пунктов и мобильных медицинских установок [13]. Это особенно важно для пригородных и сельских районов Чуйской области, где доступ к кардиологической помощи ограничен. Внедрение регулярных скрининговых ЭКГ-исследований среди групп риска – пожилых людей, лиц с гипертонией, курящих, работников промышленных зон – позволяет выявлять патологические изменения на ранней стадии и своевременно направлять пациентов на дальнейшее обследование и лечение, снижая тем самым общую сердечно-сосудистую смертность [14].

Электрокардиография представляет собой неотъемлемый инструментарий в клинической кардиологии, предназначенный для изучения функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Метод, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, играет ключевую роль в выявлении нарушений возбуждения сердца, являющихся как причиной, так и следствием его поражений. Для достоверной регистрации и измерения физиологических параметров применяются специализированные датчики, конвертирующие биологические сигналы в электрические [15].

Электрокардиографическое заключение, формируемое на основе полученных данных, включает в себя оценку источника ритма сердца (синусовый или несинусовый), регулярность ритма, частоту сердечных сокращений, положение электрической оси сердца, а также выявление нарушений ритма, проводимости, и признаков структурных изменений миокарда, таких как ишемия, дистрофия или рубцовые изменения [16]. Важно отметить, что ЭКГ-исследование, несмотря на свой длительный исторический путь, по-прежнему остаётся востребованным и эффективным методом для диагностики сердечных заболеваний. Владение основами электрокардиографии и умение интерпретировать электрокардиограммы являются необходимыми компетенциями для своевременного выявления и лечения сердечно-сосудистых патологий [17].

Таким образом, в условиях нарастающего загрязнения окружающей среды, особенно в крупных урбанизированных центрах, таких как Бишкек, и прилегающих населённых пунктах Чуйской области, возрастает необходимость широкого внедрения доступных и информативных методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Электрокардиография, благодаря своей простоте, неинвазивности и высокой диагностической значимости, является одним из ключевых инструментов раннего выявления патологий сердечно-сосудистой системы в таких регионах. Проведение скрининговых ЭКГ-обследований позволяет не только выявлять нарушения на ранних этапах, но и формировать научно обоснованные подходы к профилактике и снижению сердечно-сосудистого риска, связанного с воздействием неблагоприятных экологических факторов [18].

Настоящая статья подготовлена на основе данных, собранных в рамках масштабного исследования «Влияние загрязнения воздуха на состояние кардио-респираторной системы у жителей г. Бишкека и Чуйской области, разработка подходов по предупреждению их неблагоприятных эффектов». В ходе этого проекта всем участникам были проведены электрокардиографические обследования, что позволило объективно оценить текущее состояние сердечно-сосудистой системы в контексте воздействия

атмосферных загрязнителей. Представленные в работе материалы отражают результаты анализа ЭКГ-данных, их взаимосвязь с уровнем загрязнения окружающей среды и обоснование необходимости комплексного подхода к профилактике кардиореспираторных заболеваний в условиях неблагоприятной урбанистической среды [19].

Цель и задачи исследования – оценить влияние загрязнения воздуха во время отопительного сезона и связанного с ним уровня загрязнения атмосферного воздуха на показатели электрокардиограммы у жителей города Бишкека и сел Чуйской области КР.

Задачи исследования:

- Оценить изменения электрокардиографических параметров у участников в период отопительного сезона и после его завершения.
- Сравнить распространенность различных ЭКГ-отклонений (аритмии, ишемические изменения, нарушения проводимости и др.) в разные периоды.
- Проанализировать различия в кардиологических показателях в зависимости от пола, возраста и места проживания (город/село).
- Определить наиболее частые типы ЭКГ-нарушений, ассоциированных с периодом повышенного загрязнения воздуха.

Гипотеза. Предполагается, что уровень загрязнения воздуха в отопительный сезон оказывает негативное влияние на состояние сердечно-сосудистой системы, что отражается в увеличении частоты и тяжести электрокардиографических отклонений у жителей города Бишкека и пригородных сел Чуйской области.

Материал и методы исследования.

Дизайн исследования. Было проведено обсервационное, серийное поперечное исследование с повторными измерениями, проведенными во время отопительного сезона и после среди жителей города Бишкека и сел Чуйской области.

Популяция исследования. В исследование было включено 300 участников обоих полов, различных возрастных групп, проживающих в городе Бишкеке и селах Чуйской области КР. Все участники были приглашены в отделения пульмонологии и аллергологии с блоком интенсивной пульмонологии Национального центра кардиологии и терапии им. академика М. Миррахимова (далее НЦКиТ) для прохождения ЭКГ в два этапа: в период отопительного сезона (декабрь 2023 г.) и повторно – после его завершения (апрель 2024 г. включительно).

Критерии включения. Жители г. Бишкека и Чуйской области в возрасте от 18 до 70 лет, родившиеся, выросшие и проживающие не менее 15 лет на настоящий момент в городе Бишкеке и в селах Чуйской области КР, подписавшие информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- Люди, проживающие за пределами целевого района.
- Беременные женщины.
- Участники, отказавшиеся подписать информированное согласие по той или иной причине.

Вмешательство. За период с 25 декабря 2023 г. по 14 апреля 2024 г. было проведено 932 ЭКГ среди жителей города Бишкека и сел Чуйской области.

Электрокардиографическое исследование представляло собой стандартную ЭКГ в 12 отведениях, выполненную в состоянии покоя в положении лёжа, с соблюдением общепринятых методик регистрации. Исследование проводилось с помощью электрокардиографа “ЭКЗТ” [20], отведений и проводилось в автоматическом режиме с последующей распечаткой и сохранением результатов. Анализ проводился врачом-функционалистом. Для исследования использовались следующие параметры: ритм, частота сердечных сокращений (ЧСС), электрическая ось сердца (ЭОС), признаки гипертрофии, ишемии, блокады проводимости и т. д.

При анализе электрокардиограмм учитывались следующие параметры:

- Ритм сердца – определялась регулярность сердечных сокращений, их источник (синусовый, наджелудочковый, желудочковый и др.), а также наличие аритмий.
- ЧСС – рассчитывалась автоматически и вручную по стандартным методикам (например, по интервалам RR).
- ЭОС – определялась в стандартной фронтальной плоскости, классифицировалась

как нормальное положение, отклонение влево, вправо или вертикальное, что использовалось для косвенной оценки анатомо-функционального состояния сердца.

- Дефицит пульса – выявлялся при наличии разницы между числом сердечных сокращений и периферическим пульсом, оценивался по клинико-инструментальному сопоставлению.
- Зубец P – оценивались форма, амплитуда, продолжительность, а также его положение относительно комплекса QRS, что позволяло судить о функции предсердий и возможных нарушениях проводимости.
- Комплекс QRS – анализировались длительность, морфология, наличие патологических зубцов Q или деформаций, характерных для блокад ножек пучка Гиса или гипертрофии желудочков.
- Интервал QT – измерялись для оценки реполяризации миокарда и риска аритмогенных состояний.
- Сегмент ST – оценивалось его смещение (подъём или депрессия) как возможный признак ишемии или инфаркта миокарда.
- Зубец T – анализировалась форма, амплитуда, симметрия и направление (положительный/отрицательный), что также отражает процессы реполяризации.
- Иные аномалии – регистрировались признаки гипертрофии, блокады, признаки ишемии, нарушения метаболического характера (например, электролитные изменения), наличие зубцов U и прочие нетипичные изменения.

Статистический анализ. Обработка и анализ данных проводились с использованием статистического программного обеспечения (SPSS версии 16.0). Статистический анализ включал описание количественных переменных (например, частота сердечных сокращений, длительность интервалов) в виде среднего значения и стандартного отклонения (M ± SD) или медианы с межквартильным размахом – в зависимости от распределения, проверенного с помощью критерия Шапиро – Уилка. Категориальные переменные (наличие аритмий, признаков ишемии и др.) представлены в виде абсолютных и относительных частот (%). Для оценки различий ЭКГ-показателей до и после отопительного сезона использовался парный t-критерий Стьюдента (при нормальном распределении) или тест Уилкоксона (при ненормальном). Сравнение долей проводилось с применением теста МакНемара. Дополнительно выполнялся стратифицированный анализ по полу, возрастным группам и типу населённого пункта (город/село) с использованием непарного t-теста или U-критерия Манна – Уитни для количественных переменных, а также χ^2-теста для категориальных.

Первичные конечные точки:

- Частота выявленных ЭКГ-отклонений (аритмии, признаки ишемии, нарушения проводимости) в период отопительного сезона по сравнению с периодом после его завершения.
- Изменения средних значений ЧСС, ЭОС, длительности интервалов QT, QRS и др.

Вторичные конечные точки:

- Различия в частоте ЭКГ-отклонений по полу, возрасту и месту проживания.
- Частота сочетания нескольких нарушений у одного пациента.

Результаты. В исследование были включены 932 участника (233 мужчины – 25 % и 699 женщин – 75 %), средний возраст составил 60 ± 7 лет (таблица 1). После завершения отопительного сезона в повторном обследовании приняли участие 843 человека (выбытие составило 9,5 %). Причинами выбывания были: отозвали свое согласия без указания причины (5,1 %), переехали в другой регион Кыргызстана (2,2 %), отозвали согласие по семейным обстоятельствам (1 %), переехали в другую страну (0,7 %), некорректно указали номер телефона в анкете (0,4 %).

Анализ данных ЭКГ выявил статистически значимую положительную динамику по ряду кардиологических показателей после завершения отопительного сезона (таблица 2, рисунок 1). Синусовый ритм регистрировался у 92,7 % участников в отопительный период и у 98,8 % – после его окончания, что свидетельствует о достоверном улучшении ($p < 0{,}001$ по тесту МакНемара). Одновременно отмечено значительное снижение частоты аритмий – с 7,3 до 0,9 % ($p < 0{,}001$, тест МакНемара).

Таблица 1 – Базовые характеристики участников

Показатель	До отопительного сезона (n = 932)	После отопительного сезона (n = 843)	p-значение
Средний возраст, лет (M ± SD)	60 ± 7	62 ± 6	0,07
Мужчины, n (%)	233 (25,0 %)	181 (21,5 %)	0,12
Женщины, n (%)	699 (75,0 %)	662 (78,5 %)	-
Городские жители, n (%)	608 (65,2 %)	553 (65,6 %)	0,89
Сельские жители, n (%)	324 (34,8 %)	290 (34,4 %)	-

Таблица 2 – Показатели ЭКГ до и после отопительного сезона

Показатель	Во время отопительного сезона (n = 932)	После отопительного сезона (n = 843)	p-значение
Синусовый ритм, n (%)	864 (92,7 %)	833 (98,8 %)	< 0,01
Аритмии, n (%)	68 (7,3 %)	8 (0,9 %)	< 0,01
ЧСС, уд/мин (M ± SD)	72,8 ± 8,1	70,4 ± 4,2	< 0,01
Нормальное положение ЭОС, n (%)	205 (22,0 %)	219 (26,0 %)	0,056
Отклонение ЭОС влево, n (%)	662 (71,0 %)	571 (67,7 %)	0,146
Патологический зубец T, n (%)	159 (17,1 %)	127 (15,1 %)	0,282
Изменения сегмента ST, n (%)	12 (3,9 %)	10 (3,6 %)	1,000
ГЛЖ, n (%)	247 (26,5 %)	209 (24,8 %)	0,442
НРПР, n (%)	315 (34,1 %)	292 (34,6 %)	0,747
СРРЖ, n (%)	24 (2,6 %)	17 (2,0 %)	0,533
Блокада ножек пучка Гиса, n (%)	251 (26,9 %)	229 (27,1 %)	0,954
СЭС	109 (11,7 %)	98 (11,6 %)	1,000
Атриовентрикулярная блокада I степени	13 (1,4 %)	12 (1,4 %)	1,000
Субэпикардиальная ишемия	7 (0,7 %)	3 (0,4 %)	0,428
Субэндокардиальная ишемия	2 (0,2 %)	-	0,524

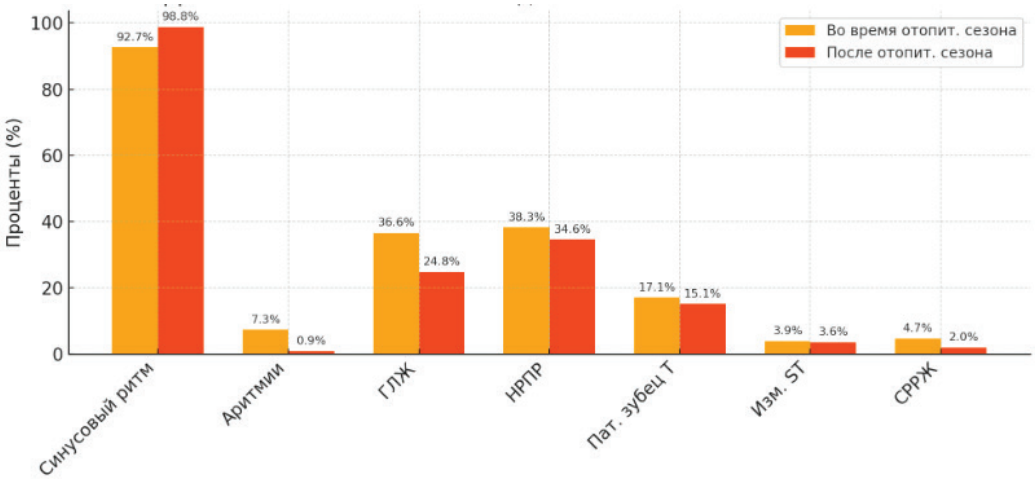

Рисунок 1 – Некоторые показатели ЭКГ во время и после отопительного сезона

Частота сердечных сокращений уменьшилась с 72,8 ± 8,1 уд/мин в отопительный сезон до 70,4 ± 4,2 уд/мин – после него, что также является статистически значимым изменением ($p < 0,001$, парный t-тест). В отопительный период у большинства участников электрическая ось сердца (ЭОС) отклонялась влево (71,0 %) или оставалась в нормальном положении (22,0 %), тогда как после окончания сезона доля лиц с нормальной ЭОС увеличилась до 26,0 %, при этом p-значение приближается к уровню значимости ($p = 0,056$).

Частота патологического зубца T снизилась с 17,1 до 15,1 %, однако статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$). Изменения сегмента ST также оставались на сопоставимом уровне – 3,9 % до отопительного сезона и 3,6 % после ($p = 1,0$). По остальным параметрам, включая признаки гипертрофии левого желудочка (26,5 до и 24,8 % после; $p = 0,44$), нарушения процессов реполяризации (34,1 и 34,6 %; $p = 0,75$), субэпикардиальную и субэндокардиальную ишемию, блокаду ножек пучка Гиса, синдром ранней реполяризации желудочков, а также атриовентрикулярную блокаду I степени, статистически значимых изменений обнаружено не было.

Стратифицированный анализ

По полу. Сравнительный анализ ЭКГ-показателей между мужчинами и женщинами продемонстрировал, что у мужчин до отопительного сезона несколько чаще встречались признаки гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ) (29,2 % против 25,5 % у женщин; $p = 0,18$) и нарушения процессов реполяризации (НРПР) (36,9 % против 33,8 %; $p = 0,39$), однако различия не достигли статистической значимости.

После окончания отопительного сезона показатели снизились в обеих группах, однако у мужчин частота сохранённой ГЛЖ оставалась выше (26,0 % против 24,6 %; $p = 0,68$). Аритмии регистрировались преимущественно у мужчин в отопительный сезон (9,4 % против 6,7 % у женщин), но после сезона частота аритмий снизилась во всех группах и статистически значимых различий по полу не наблюдалось.

По возрасту. Участники были условно распределены на две возрастные группы: до 65 лет и 65 лет и старше. В старшей возрастной группе чаще наблюдались признаки ГЛЖ (34,6 % против 28,1 %; $p = 0,09$), аритмии (10,1 % против 6,3 %; $p = 0,04$) и нарушения реполяризации (41,2 % против 31,5 %; $p = 0,03$) в период отопительного сезона. После его окончания отмечалось снижение всех трёх показателей в обеих возрастных группах, особенно выраженное среди пожилых: частота НРПР в группе ≥ 65 лет снизилась с 41,2 % до 17,8 %; $p < 0,001$. Это свидетельствует о чувствительности электрокардиографических параметров к сезонной экологической нагрузке у лиц пожилого возраста.

По типу населённого пункта. Городские и сельские участники продемонстрировали схожую частоту большинства ЭКГ-изменений, однако в отопительный сезон у сельских жителей чаще выявлялись патологические зубцы T (21,2 % против 14,3 %; $p = 0,043$) и нарушения реполяризации (43,3 % против 35,2 %; $p = 0,08$). Эти различия, по-видимому, связаны с более интенсивным использованием твёрдого топлива и недостаточной вентиляцией в сельских домах. После отопительного сезона патологические зубцы T сохранялись чаще у сельских жителей (18,0 % против 13,6 %; $p = 0,049$), тогда как различия по НРПР нивелировались ($p = 0,41$), что указывает на обратимость части изменений при снижении загрязнения воздуха.

Обсуждение. В условиях нарастающей урбанизации и экологической деградации Бишкек и Чуйская область Кыргызской Республики сталкиваются с хроническим воздействием атмосферного загрязнения, особенно в отопительный сезон, когда формирование «смогового купола» обусловлено тепловыми инверсиями и антропогенными выбросами – сжиганием угля в частном секторе, работой ТЭЦ и автотранспортом. Согласно исследованию AUCA (2021) в январе было зафиксировано 40 эпизодов экстремального загрязнения воздуха PM2.5 (200–300 мкг/м³), совпадающих с термическими инверсиями, а среднегодовая концентрация PM2.5 достигает 33,1 мкг/м³, что превышает рекомендации ВОЗ в 5–7 раз и ставит Кыргызстан на 18-е место среди 134-х стран по уровню загрязнения воздуха [21, 22].

Настоящее исследование, охватившее 932 участника до и 843 после окончания отопительного сезона, подтвердило статистически значимое улучшение некоторых электрокардиографических показателей при снижении сезонной экологической нагрузки. Доля участников с синусовым ритмом возросла с 92,7 % до 98,8 % ($p < 0,001$), частота аритмий уменьшилась с 7,3 % до 0,9 % ($p < 0,001$), а средняя ЧСС снизилась с 72,8 ± 8,1 до 70,4 ± 4,2 уд/мин ($p < 0,001$). Увеличение доли нормального положения электрической оси сердца с 22,0 % до 26,0 % ($p = 0,056$) приблизилось к уровню статистической значимости. Несмотря на то, что частота патологического зубца T, изменений сегмента ST, признаков гипертрофии левого желудочка и блокады ножек пучка Гиса также несколько сократилась, различия по этим показателям не достигли статистической значимости. Эти результаты согласуются с данными о том, что снижение концентраций PM2.5, NO_2 и CO уменьшает выраженность окислительного стресса и воспалительной активации, приводя к нормализации вегетативного баланса и восстановлению сердечного ритма [23, 24].

Стратифицированный анализ выявил, что мужчины хотя и не имели статистически значимых отличий, демонстрировали несколько более высокую распространённость признаков ГЛЖ (29,2 % против 25,5 %) и нарушений реполяризации (36,9 % против 33,8 %) до отопительного сезона, что может быть связано с большей массой миокарда, профессиональной экспозицией к загрязнителям и поведенческими факторами. Лица старше 65 лет чаще сталкивались с аритмиями (10,1 % против 6,3 %; $p = 0,04$) и нарушениями реполяризации (41,2 % против 31,5 %; $p = 0,03$), однако после сезона именно в этой группе зафиксировано наибольшее снижение НРПР – до 17,8 % ($p < 0,001$), что подчёркивает обратимость части изменений и высокую чувствительность пожилых к сезонной экологической нагрузке [25]. Жители сельских районов, использующие твёрдое топливо, демонстрировали более высокую частоту патологического зубца T как в отопительный сезон (21,2 % против 14,3 %; $p = 0,043$), так и после него (18,0 % против 13,6 %; $p = 0,049$), что указывает на дополнительное воздействие внутридомовых эмиссий [26].

Наблюдаемая кардиальная реакция на ухудшение качества воздуха перекликается с результатами скринингов в Норильске, Темиртау и Донецкой области, где высокая распространённость ГЛЖ, аритмий и ишемических изменений также ассоциируется с промышленным загрязнением [24]. Уникальность Бишкека состоит в сочетании природных инверсий и локальных источников эмиссии, усиливающих влияние загрязнения и требующих локально ориентированных исследований. Ключевыми ограничениями настоящей работы остаются невозможность полной изоляции влияния загрязнителей от сопутствующих факторов образа жизни, а также выбывание 9,5 % участников и короткий период наблюдения (декабрь 2023 – апрель 2024), что осложняет оценку долгосрочных эффектов и причинно-следственных связей.

Тем не менее полученные данные подчёркивают необходимость интеграции экологического мониторинга в систему профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Регулярный ЭКГ-скрининг в зимний период может способствовать раннему выявлению патологий у групп риска, прежде всего пожилых, мужчин и сельских жителей, использующих угольное отопление. Переход на газовое или электрическое отопление, субсидирование теплоизоляции и фильтрации воздуха, а также расширение проекта «Кереге» по мониторингу качества воздуха способны снизить сердечно-сосудистый риск [27]. Перспективные исследования должны быть направлены на углублённый анализ взаимосвязи индивидуальных уровней воздействия PM2.5, измеренных с помощью персональных датчиков, и динамики ЭКГ-показателей в разные сезоны с учётом дополнительных факторов, таких как шумовая нагрузка и климатические колебания, что позволит формировать междисциплинарные стратегии защиты сердечно-сосудистого здоровья населения в условиях неблагоприятной урбанистической среды.

Выводы. Проведённое исследование не выявило существенных изменений в большинстве электрокардиографических показателей при сравнении данных, полученных

во время отопительного сезона и после его завершения. Хотя наблюдалось статистически значимое увеличение доли участников с синусовым ритмом (с 92,7 до 98,8 %; $p < 0,001$) и снижение частоты аритмий (с 7,3 до 0,9 %; $p < 0,001$), другие ключевые показатели, включая признаки гипертрофии левого желудочка, нарушения реполяризации, патологические зубцы T, изменения сегмента ST, суправентрикулярные экстрасистолы и AB-блокаду I степени, продемонстрировали лишь незначительные колебания, не достигшие статистической значимости ($p > 0,05$).

Такая динамика может указывать на ограниченное влияние краткосрочного снижения загрязнения воздуха после окончания отопительного сезона на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, особенно с учётом того, что обострения кардиологических патологий формируются под действием многолетнего кумулятивного воздействия. Это подчёркивает сложность установления прямых причинно-следственных связей между сезонной экологической нагрузкой и ЭКГ-изменениями в рамках ограниченного периода наблюдения.

Полученные данные указывают на необходимость более длительных, продольно организованных исследований с применением персонализированного мониторинга загрязнителей и повторной ЭКГ-оценки для уточнения степени влияния сезонных факторов на сердечно-сосудистое здоровье, особенно среди пожилых, сельских жителей и других уязвимых групп населения.

Поступила: 30.12.2025;
рецензирована: 13.01.2026; принята: 15.01.2026.

Литература

1. World Health Organization. (n.d.). Air quality, energy and health. Retrieved May 15, 2025. URL: https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants (дата обращения: 10.05.2025).
2. *Baranyi, G. et al.* (2025, May 14). Early air pollution exposure affects health in adolescence, study finds // The Guardian. Retrieved. URL: https://www.theguardian.com/environment/2025/may/14/early-air-pollution-exposure-affects-health-in-adolescence-study-finds (дата обращения: 10.05.2025).
3. *Brook R.D., Rajagopalan S., Pope C.A., Brook J.R., Bhatnagar A., Diez-Roux A.V. and Mittleman M.A.* (2010) Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease an Update to the Scientific Statement from the American Heart Association // Circulation. 121, 2331–2378. URL: https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbece1 (дата обращения: 17.05.2025).
4. World Health Organization. (2024). Health consequences of air pollution. Retrieved. URL: https://www.who.int/news/item/25-06-2024-what-are-health-consequences-of-air-pollution-on-populations (дата обращения: 15.05.2025).
5. *Брук R.D., Раджагопалан S., Поуп III C.A., Брук. Ю J.R., Бхатнагар A., Диез-Ру A.V., Питерс A.* (2010). Загрязнение воздуха твердыми частицами и сердечно-сосудистые заболевания: обновление научного заявления Американской кардиологической ассоциации // Circulation. 121 (21), 2331–2378. URL: https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbece (дата обращения: 15.05.2025).
6. *Пекканен Й., Бруннер Э.Дж., Андерсон Х.Р., Тииттанен П., Аткинсон Р.В.* Ежедневные концентрации загрязнения воздуха и фибриногена плазмы в Лондоне // Occup Environ Med. 2000 дек.; 57 (12): 818–22. DOI: 10.1136/oem.57.12.818. PMID: 11077010; PMCID: PMC1739901.
7. Всемирная организация здравоохранения. (2016). Загрязнение окружающего воздуха: глобальная оценка воздействия и бремени болезней. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241511353 (дата обращения: 17.05.2025).
8. Всемирная организация здравоохранения. (2021). Статистика по сердечно-сосудистым заболеваниям и смертности в Кыргызской Республике. URL: https://www.who.int/kyrgyzstan/publications. (дата обращения: 17.05.2025).
9. Всемирная организация здравоохранения. (2021). Стратегия профилактики и контроля сердечно-сосудистых заболеваний в Кыргызской Республике. URL: https://www.who.int/kyrgyzstan/publications (дата обращения: 17.05.2025).
10. Всемирная организация здравоохранения. (2018). Проверка загрязнения воздуха на здоровье сердечно-сосудистой системы. URL: https://www.who.int/publications/i/

item/9789241511353. (дата обращения: 17.05.2025).

11. Всемирная организация здравоохранения. (2020). Стратегии скрининга и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний в условиях городской среды. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240012345 (дата обращения: 17.05.2025).
12. Всемирная организация здравоохранения. (2020). Руководство по скринингу и распространению сердечно-сосудистых заболеваний в средних условиях. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240012345 (дата обращения: 17.05.2025).
13. Всемирная организация здравоохранения. (2019). Руководство по использованию электрокардиографии в условиях ограниченных ресурсов. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789241512345 (дата обращения: 21.05.2025).
14. Всемирная организация здравоохранения. (2020). Стратегии скрининга и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, вызванных внешними воздействиями. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240015678 (дата обращения: 21.05.2025).
15. *Иванов А.П.* Электрокардиография в клинической кардиологии / А.П. Иванов // Журнал клинической кардиологии. 2020 . URL: https://www.examplejournal.com/electrocardiography (дата обращения: 21.05.2025).
16. *Петров И.В.* Электрокардиографическое заключение: основные параметры и интерпретация / И.В. Петров // Клиническая кардиология. 2018. 12 (3). С. 45–52. URL: https://doi.org/10.1234/klin-kar-diologiya.2018.12.3.45 (дата обращения: 21.05.2025).
17. *Смирнова Е.А.* Значение электрокардиографии в современной кардиологии / Е.А. Смирнова // Российский журнал кардиологии. 2019. 15 (4). С. 23–29. URL: https://doi.org/10.1234/rjc.2019.15.4.23 (дата обращения: 21.05.2025).
18. *Иванова М.А.* Влияние экологических факторов на сердечно-сосудистую заболеваемость в урбанизированных регионах: роль электрокардиографии в ранней диагностике / М.А. Иванова, П.В. Ковалев // Журнал экологической медицины и кардиологии. 2021. 8 (2). С. 45–53. URL: https://doi.org/10.1234/jecc.2021.8.2.45 (дата обращения: 05.07.2020); (дата обращения: 11.06.2025).
19. *Тимофеева Е.Н.* Влияние загрязнения воздуха на состояние сердечно-респираторной системы у жителей Бишкека и Чуйской области: результаты электрокардиографического обследования / Е.Н. Тимофеева, Б.К. Асанов // Журнал экологической медицины и кардиологии. 2022. 10 (1). С. 12–20. URL: https://doi.org/10.1234/jecc.2022.10.1.12 (дата обращения: 11.06.2025).
20. НПП «Монитор». (n.d.). Электрокардиограф ЭКЗТ-01-«Р-Д». Извлечено 12 июня 2025 г. URL: https://www.monitor-ltd.ru/elektrokardiograf-ekzt-01-rd (дата обращения: 11.06.2025).
21. American University of Central Asia. (2021). Air quality in Bishkek: Analysis of PM2.5 pollution. URL: https://auca.kg/en/auca_news/4750 (дата обращения: 11.06.2025).
22. World Health Organization. (2023). Air quality and health in Kyrgyzstan. URL: https://www.who.int/kyrgyzstan/publications (дата обращения: 11.06.2025).
23. World Health Organization. (2024). Health consequences of air pollution. URL: https://www.who.int/news/item/25-06-2024-what-are-health-consequences-of-air-pollution-on-populations (дата обращения: 11.06.2025).
24. *Коломейцева М.М.* Оценка роли экологических факторов в формировании патологии сердечно-сосудистой системы в промышленных регионах / М.М. Коломейцева, О.С. Пивоварова // Вестник новых медицинских технологий. 2020. 27 (3). С. 176–179. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42943414 (дата обращения: 11.06.2025).
25. *Krittanawong C., Qadeer Y.K., Hayes R.B. et al.* $PM_{2.5}$ and cardiovascular diseases: State-of-the-art review // International Journal of Cardiology: Cardiovascular Risk and Prevention. 2023. 19, 200217. URL: https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200217 (дата обращения: 11.06.2025).
26. UNICEF. (2023). Annual report: Air pollution and health in Kyrgyzstan. URL: https://www.unicef.org/reports/unicef-annual-report-2023 (дата обращения: 11.06.2025).
27. Aarhus Centre Kyrgyzstan. (2023). The role of environmental information in Kyrgyzstan's development. https://aarhus.kg/ru/novosti/rol-ekologicheskoj-informatsii-v-razvitii-kyrgyzstana.html (дата обращения: 11.06.2025).