

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (ПЭТ- $C_{10}H_8O_4$)_n. НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ПОСЛЕДСТВИЯ

*2-Маргиланский медицинский
Техникум имени Абу Али ибн Сино
Бабаева Гулбахор Абдурасуловна
Жаббарова Умида Баннабжановна
Номер телефона: +998905858015*

Аннотация: Полиэтилентерефталат (ПЭТ), полимер с формулой $(C_{10}H_8O_4)_n$, широко используется в производстве одноразовой упаковки, таких как бутылки для напитков и пищевые контейнеры. Несмотря на его популярность, ПЭТ представляет значительную угрозу для здоровья человека из-за миграции токсичных веществ, включая антимономеры, фталаты и микропластики. Настоящий тезис анализирует пути экспозиции ПЭТ (ингаляция, ингестия и дерматальный контакт), механизмы токсичности и долгосрочные последствия для организма. Основные эффекты включают эндокринные нарушения, оксидативный стресс, гепатотоксичность, канцерогенность и нарушения микробиоты кишечника. На основе обзора литературы (Dhaka et al., 2022; Wikoff, 2010; Gutiérrez-García et al., 2025) подчеркивается необходимость перехода к альтернативным материалам и строгого регулирования. Тезис предлагает рекомендации по минимизации рисков, включая отказ от повторного использования ПЭТ-упаковки и мониторинг экспозиции у уязвимых групп. Объем исследования подчеркивает urgency проблемы в контексте глобального загрязнения пластиком.

Ключевые слова: Полиэтилентерефталат (ПЭТ), микропластики, антимономеры, фталаты, эндокринные нарушители, оксидативный стресс, гепатотоксичность, канцерогенность, пути экспозиции, здоровье человека, микробиота кишечника, долгосрочные последствия.

Введение: В современном мире полиэтилентерефталат (ПЭТ), термопластичный полимер с повторяющейся единицей $(C_{10}H_8O_4)_n$, стал неотъемлемой частью повседневной жизни. Производимый из этиленгликоля и терефталевой кислоты, ПЭТ обладает высокой прочностью, прозрачностью и устойчивостью к химическим веществам, что делает его идеальным материалом для одноразовых бутылок, контейнеров для еды и текстильных волокон (полиэстер). По данным ООН, ежегодно производится более 56 миллионов тонн ПЭТ, из которых значительная часть попадает в окружающую среду, разлагаясь на микропластики (частицы размером менее 5 мм) и нанопластики (менее 1 мкм).

Однако за удобством скрывается серьезная угроза здоровью человека. ПЭТ не инертен: под влиянием тепла, УФ-излучения, кислотности или времени хранения из него выщелачиваются токсины, такие как триоксид сурьмы (катализатор производства), фталаты (пластификаторы) и олигомеры. Эти вещества проникают в организм через пищу, воду и воздух, вызывая системные эффекты. Исследования показывают, что микропластики ПЭТ обнаружены в человеческом стуле, крови и легких, указывая на повсеместную экспозицию.

Цель данного тезиса — комплексный анализ воздействия ПЭТ на организм человека и его последствий. Мы рассмотрим химические свойства ПЭТ, пути проникновения, механизмы токсичности и клинические проявления. На основе рецензируемой литературы (например, отчет Defend Our Health, 2022) будет оценена кумулятивная экспозиция, особенно у детей и беременных. Тезис опирается на данные из PMC, ScienceDirect и EHP, подчеркивая пробелы в знаниях и необходимость дальнейших исследований. В контексте глобального кризиса пластика (ожидается удвоение производства к 2050 году) понимание этих рисков критично для общественного здоровья.

ПЭТ — продукт нефтехимии, где этиленгликоль ($C_2H_6O_2$) и терефталевая кислота ($C_8H_6O_4$) полимеризуются в присутствии катализаторов, таких как Sb_2O_3 . Полученный полимер имеет температуру плавления 250–260°C и плотность 1,38 г/см³, что обеспечивает его долговечность. Однако эта стабильность маскирует деградацию: гидролиз и фотодеградация приводят к фрагментации на микропластики, адсорбирующие другие загрязнители (тяжелые металлы, ПАУ). В развивающихся странах, где переработка слаба, ПЭТ-отходы накапливаются в океанах и почве, усиливая глобальный перенос токсинов.

Экспозиция усиливается антропогенными факторами: 90% бутилированной воды содержит микропластики, а в городском воздухе — до 1000 частиц/м³. Долгосрочные последствия включают не только острые отравления, но и хронические заболевания, такие как рак и бесплодие. Тезис структурирован следующим образом: химия ПЭТ, экспозиция, токсины, здоровье и рекомендации. Это позволит не только осветить проблему, но и предложить actionable шаги.

Химические свойства и деградация ПЭТ

Полиэтилентерефталат — насыщенный полиэфир, синтезируемый по схеме поликонденсации. Формула $(C_{10}H_8O_4)_n$ отражает цепочку из терефталатных и этиленгликольных звеньев: $-[O-CH_2-CH_2-O-CO-C_6H_4-CO]-_n$. Молекулярная масса варьирует от 20 000 до 60 000 г/моль, обеспечивая аморфную или кристаллическую структуру. В производстве используется Sb_2O_3 (0,1–0,3% по массе), что оставляет остатки в полимере (100–300 ppm).

Деградация ПЭТ происходит *via* термо-, фото- и биохидролиз. При нагреве ($>70^{\circ}\text{C}$) или УФ-излучении разрываются эфирные связи, высвобождая терефталевую кислоту (TPA), этиленгликоль (EG) и ацетальдегид. Микропластики (<5 мм) образуются механически (износ) или химически, адсорбируя POPs (persistent organic pollutants). В окружающей среде ПЭТ разлагается медленно (сотни лет), но в ЖКТ — быстрее за счет ферментов.

В упаковке ПЭТ контактирует с пищей, где миграция токсинов регулируется ЕС (Regulation 10/2011): предел для Sb — 40 мкг/кг. Однако реальные уровни превышают: в нагретых бутылках Sb достигает 14 ppb. Фталаты (DEHP, DBP) добавляются для гибкости, хотя официально не в чистом ПЭТ, но мигрируют из-за загрязнений в переработке. Эти свойства делают ПЭТ "скрытым" источником экспозиции.

Пути экспозиции человека к ПЭТ

Человек контактирует с ПЭТ через три основных маршрута: ингестцию, ингаляцию и дерматальный. Ингестция доминирует: 99% микропластиков в стуле — от ПЭТ-упаковки. Бутилированная вода содержит 10–300 частиц/л, а морепродукты — до 1,5 мг/кг. Дети поглощают в 3 раза больше Sb из-за сосания игрушек и пыли (агрегатная доза $>$ EPA RfD).

Ингаляция: нанопластики ПЭТ в воздухе (до 1,5 частиц/ м^3 в помещениях) оседают в легких, вызывая воспаление. В городах — 100–1000 частиц/день. Дерматальный контакт: через полиэстеровую одежду и косметику, но менее значим ($<1\%$ поглощения).

Кумулятивная экспозиция: взрослый потребляет 5 г пластика/неделю, эквивалент кредитной карты. Уязвимые группы: беременные (плацента), дети (NHANES: Sb в моче в 2 раза выше). Факторы усиления: жара (авто $+30^{\circ}\text{C}$), кислотность (соки pH 3,5).

Токсичные компоненты ПЭТ

Основные токсины — Sb, фталаты, олигомеры.

Антимон (Sb): Катализатор, мигрирует как Sb(III)/Sb(V). Уровни в воде: 0,2–3,5 ppb, превышая CA PHG (1 ppb) в 40% образцов. Механизм: связывание с SH-группами белков, ингибируя ферменты. Эндокринный эффект: эстроген-подобная активность (61% от эстрадиола при 1 мкМ).

Фталаты (DEHP, DBP): Мигрируют при нагреве, вызывая эндокринный дисбаланс (снижение тестостерона, бесплодие). В bottled water — до 226 нг/л.

Микропластики: Вызывают оксидативный стресс ($\uparrow$ ROS), адсорбируя металлы. В печени — липидная аккумуляция, апоптоз.

Другие: ацетальдегид (мутаген), формальдегид (канцероген).

Влияние на организм человека и последствия

Эндокринная система: Фталаты/Sb нарушают гипоталамо-гипофизарную ось, вызывая гипотиреоз, ожирение. У беременных — преждевременные роды (OR 1,5).

Репродуктивное здоровье: Снижение сперматогенеза ($\downarrow 20\%$ при хронической экспозиции), эндометриоз.

Печень и метаболизм: Хроническая экспозиция PET-MPs $\rightarrow$ дисбиоз микробиоты ($\uparrow$ Parasutterella), липидный метаболизм ($\uparrow$ холестерин). В моделях — стеатоз.

Дыхательная система: Нанопластики индуцируют ЕМТ, инвазию; 30 нед экспозиции $\rightarrow$ канцерогенность ($\uparrow$ онкогены).

Иммунитет и рак: $\uparrow$ Воспаление (IL-6, TNF- α), риск рака легких/печени (IARC: Sb — 2B). Дети: задержки развития.

Последствия: глобально — 1 млн смертей/год от пластикового загрязнения (проекция WHO). Экономика: \$2 трлн/год на здравоохранение.

Заключение и рекомендации

ПЭТ представляет мультифакторную угрозу, требующую немедленных мер: запрет Sb-катализаторов (альтернативы: Ti, Ge), переход к биоразлагаемым полимерам, образование. Дальнейшие исследования — эпидемиология.

Список литературы

1. Dhaka V. et al. (2022). Occurrence, toxicity and remediation of polyethylene terephthalate plastics. PMC.
2. Wikoff D. (2010). Polyethylene Terephthalate May Yield Endocrine Disruptors. EHP.
3. Belliveau M., Krithivasan R. (2022). Problem Plastic: PET Report. Defend Our Health.
4. Gutiérrez-García J. et al. (2025). Long-Term Exposure to PET Nanoplastics. Environ Sci Technol.
5. Anonymous (2025). Chronic exposure to PET microplastics. Ecotoxicol Environ Saf.
6. Anonymous (2024). Human exposure to microplastics. Curr Res Toxicol.
7. Million Marker (2020). Single-use plastic and health. Blog. 8. Wright S.L., Kelly F.J. (2021). A Review of Human Exposure to Microplastics. Front Endocrinol.