

## **Ракеты и озоновый слой: как космическая гонка может задержать восстановление атмосферы**

Дата публикации: 03.09.2025

Рост числа запусков ракет в последние годы стал символом новой космической эры, но одновременно породил экологические тревоги. По данным исследователей из Швейцарской высшей технической школы Цюриха и их коллег, загрязняющие вещества, образующиеся во время старта ракет и при сгорании спутников в атмосфере, способны замедлить восстановление озонового слоя — важнейшего щита планеты от ультрафиолетового излучения.

Если в 2019 году было зафиксировано всего 97 орбитальных запусков, то к 2024 году их число увеличилось более чем в два с половиной раза и достигло 258. Прогнозы указывают на дальнейший рост: модели показывают, что при 2000 запусков в год к 2030 году средняя толщина глобального озонового слоя может снизиться на 0,3%, а сезонные потери над Антарктидой достигнут 4%. Эти цифры кажутся небольшими, но в контексте медленного восстановления атмосферы даже доли процента могут отодвинуть сроки полного восстановления на годы или десятилетия.

Озоновый слой всё ещё восстанавливается после разрушения, вызванного хлорфторуглеродами, которые были запрещены Монреальским протоколом 1989 года. Сегодня его толщина остаётся на 2% ниже доиндустриального уровня, и полное восстановление прогнозируется лишь к 2066 году. Если неконтролируемые выбросы ракет будут расти, этот срок сдвинется ещё дальше.

Главные источники угрозы связаны с составом топлива. Твёрдотопливные двигатели выбрасывают хлор, который каталитически разрушает молекулы озона, а сажа нагревает слои атмосферы и ускоряет реакции, разрушающие озон. Более безопасными считаются криогенные двигатели на водороде и кислороде, однако их использование пока ограничено всего несколькими процентами запусков из-за сложности технологий.

Особое внимание уделяется и повторному входу спутников в атмосферу. По мере роста числа группировок на низкой околоземной орбите возрастает количество аппаратов, которые сгорают после окончания службы. Этот процесс сопровождается выбросами металлических частиц и оксидов азота, которые также разрушают озон и могут способствовать образованию полярных стратосферных облаков, усиливающих химические реакции. Эти эффекты пока недостаточно изучены и не включены в большинство атмосферных моделей, что создаёт дополнительную неопределённость.

Сценарий развития событий во многом зависит от международных решений. Учёные подчеркивают, что существует реальная возможность сделать ракетные запуски более экологичными: минимизировать использование хлорсодержащих топлив, развивать криогенные двигатели, внедрять системы мониторинга выбросов и выстраивать единые нормы регулирования. Опыт Монреальского протокола доказал, что глобальное сотрудничество может остановить даже угрозы планетарного масштаба.

Сегодня перед человечеством стоит вызов: сохранить темпы освоения космоса и одновременно защитить озоновый слой, без которого жизнь на Земле была бы подвержена опасному ультрафиолетовому излучению. Баланс между инновациями и экологией требует не только научного анализа, но и согласованных действий промышленности, политиков и международного сообщества.

**Ссылка:** «Запуски ракет в ближайшем будущем могут замедлить восстановление озонового слоя» [DOI: 10.1038/s41612-025-01098-6](https://doi.org/10.1038/s41612-025-01098-6).