Озоновый слой Земли: как он истончился и почему восстанавливается

Доклад по биологии (раздел «Экология»), 9 класс

Выполнил(а): ученик(ца) 9 «__» класса, И. О. Фамилия
Руководитель: учитель биологии И. О. Фамилия
МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № __», 2026

Что такое озоновый слой

- Озон (O_3) — молекула из трёх атомов кислорода; в воздухе её очень мало
- Основная часть озона находится в стратосфере, примерно на высоте 15–30 км над Землёй [6]
- Сама стратосфера простирается примерно от 10 до 50 км [6]
- Если весь озон над точкой Земли сжать до давления у поверхности, получится слой толщиной около 3 мм [7]

От чего защищает озоновый щит

- Озон поглощает большую часть ультрафиолета типа B (УФ-B), идущего от Солнца [6]
- УФ-B особенно сильно повреждает ДНК живых клеток [6]
- У людей избыток УФ-B связан с раком кожи, в том числе меланомой, и с катарактой [6]
- Страдают также некоторые сельскохозяйственные растения, морские организмы и материалы [6]

Насколько тонок слой

≈ 3 мм

столько составил бы весь озон над точкой Земли (в среднем около 300 единиц Добсона), если сжать его до давления у поверхности [7]

Как измеряют озон и что такое «дыра»

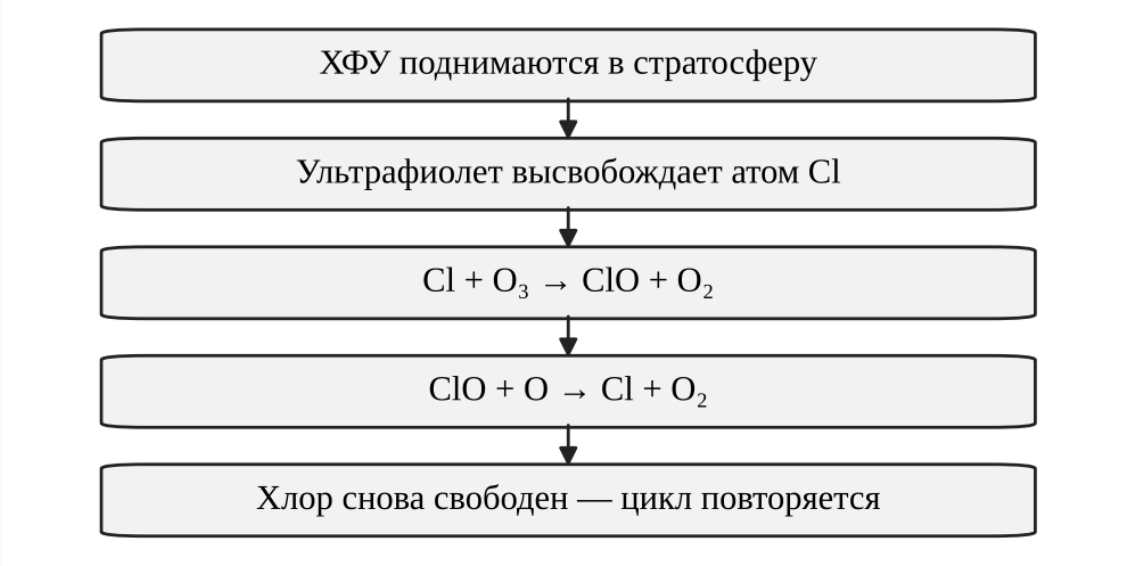
- Единица Добсона (DU): 1 DU — слой чистого озона толщиной 0,01 мм при 0 °C и давлении 1 атм [7]
- Среднее содержание озона над Землёй — около 300 DU [7]
- Озоновой дырой называют область над Антарктидой, где озона 220 DU и меньше [8]
- Почему 220: таких значений не было в наблюдениях до 1979 года [8]

Какие вещества разрушают озон

- Хлорфторуглероды (ХФУ, «фреоны») и гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) [6]
- Четырёххлористый углерод и метилхлороформ — источники хлора [6]
- Галоны и бромистый метил — источники брома [6]
- В 1974 году М. Молина и Ш. Роуленд показали: ХФУ поднимаются в стратосферу, где ультрафиолет высвобождает из них атомы хлора [3]

Как один атом хлора губит тысячи молекул

- Атом хлора отнимает у озона один атом кислорода: $Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$
- Затем ClO отдаёт кислород и снова освобождает хлор: $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$
- Хлор не расходуется — он работает как катализатор
- Один атом хлора успевает разрушить более 100 000 молекул озона [6]



Цепочка разрушения озона (по [3; 6])

Как открыли озоновую дыру

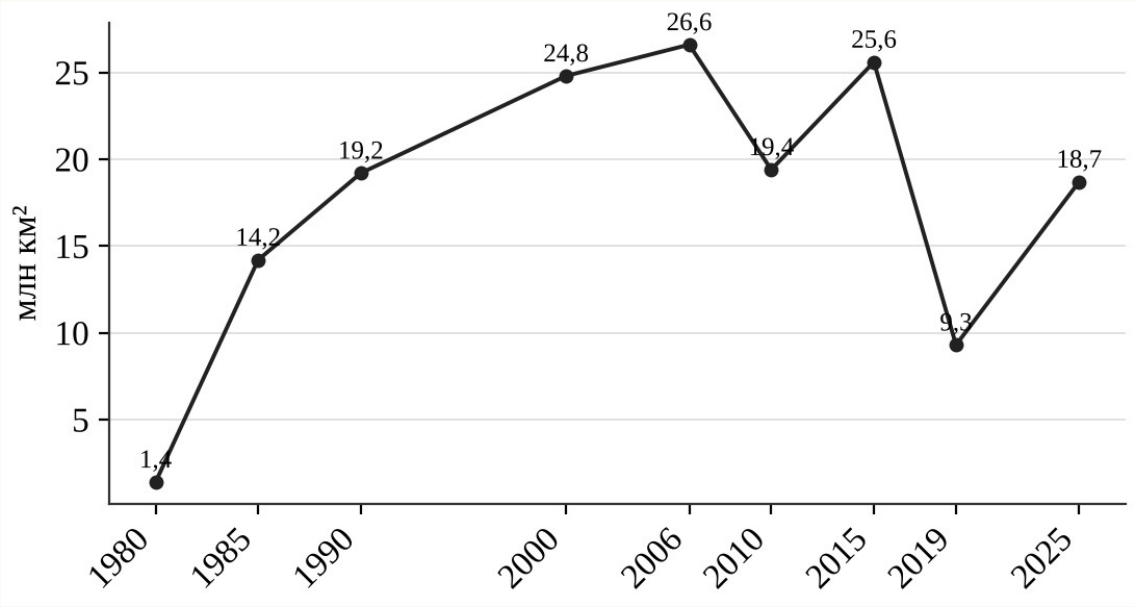
- 1985 год: Дж. Фарман, Б. Гардинер и Дж. Шанклин (Британская антарктическая служба) сообщили в журнале Nature о сильной потере озона весной над Антарктидой [4]
- Причину они связали с хлором и очень холодной полярной стратосферой [4]
- 1995 год: П. Крутцен, М. Молина и Ш. Роуленд получили Нобелевскую премию по химии за работы об образовании и разрушении озона [5]

Ответ человечества: Монреальский протокол

- 16 сентября 1987 г. в Монреале принят протокол по веществам, разрушающим озоновый слой [1]
- Вступил в силу в 1989 году; ограничивает производство и потребление таких веществ [9]
- 16 сентября 2009 г. Венская конвенция и Монреальский протокол первыми в истории ООН получили всеобщую ратификацию [2]
- Кигалийская поправка 2016 года сокращает гидрофторуглероды — они не разрушают озон, но являются сильными парниковыми газами [2; 9]

Площадь озоновой дыры, 1980–2025

- 1980 г.: 1,4 млн км²; 1985 г.: 14,2 млн км² [10]
- Рекорд — 2006 г.: 26,6 млн км² [10]
- 2019 г.: всего 9,3 млн км²; 2025 г.: 18,7 млн км² [10]
- Площадь сильно меняется год от года из-за погоды в стратосфере



Средняя площадь озоновой дыры, 7 сентября – 13 октября, млн км² (по данным NASA [10])

2025 год: одна из самых маленьких дыр

- Средняя площадь — 18,71 млн км², пятое место среди самых маленьких с 1992 года [11; 12]
- Максимум 9 сентября — 22,86 млн км² [12]
- Дыра начала распадаться почти на три недели раньше среднего за последнее десятилетие [11]
- Без Монреальского протокола, по оценке NASA, она была бы больше примерно на 2,6 млн км² (1 млн кв. миль) [11]

Когда озоновый слой восстановится

- Прогноз научной оценки 2022 года — возврат к уровню 1980 года при сохранении нынешней политики [11]
- Большая часть планеты — около 2040 года [11]
- Арктика — около 2045 года [11]
- Антарктика — около 2066 года [11]
- Хлор и бром из запрещённых веществ держатся в атмосфере десятилетиями [12]

Выводы

- Озоновый слой очень тонок — около 3 мм в пересчёте на давление у поверхности, но задерживает опасный ультрафиолет B
- Его разрушали вещества с хлором и бромом, прежде всего фреоны; один атом хлора губит более 100 000 молекул озона
- Наука сработала быстро: гипотеза 1974 года, открытие дыры в 1985 году, договор в 1987 году
- Рост дыры остановлен, в 2025 году она была одной из самых маленьких с 1992 года
- Полное восстановление ожидается к 2040–2066 годам, если страны продолжат выполнять протокол

Список источников

1. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой : принят 16 сентября 1987 г. – Текст : электронный // ООН : официальный сайт. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/montreal_prot.shtml (дата обращения: 22.10.2026).

2. Международный день охраны озонового слоя. – Текст : электронный // ООН : официальный сайт. – URL: https://www.un.org/ru/observances/ozone-day (дата обращения: 22.10.2026).

3. Molina, M. J. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone / M. J. Molina, F. S. Rowland // Nature. – 1974. – Vol. 249, № 5460. – P. 810–812. – DOI 10.1038/249810a0.

4. Farman, J. C. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction / J. C. Farman, B. G. Gardiner, J. D. Shanklin // Nature. – 1985. – Vol. 315, № 6016. – P. 207–210. – DOI 10.1038/315207a0.

5. The Nobel Prize in Chemistry 1995. – Текст : электронный // NobelPrize.org. – URL: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/summary/ (дата обращения: 22.10.2026).

6. Basic Ozone Layer Science. – Текст : электронный // U.S. Environmental Protection Agency. – URL: https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/basic-ozone-layer-science (дата обращения: 22.10.2026).

7. Ozone Facts: Dobson Unit. – Текст : электронный // NASA Ozone Watch. – URL: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson_SH.html (дата обращения: 22.10.2026).

8. Ozone Facts: Ozone Hole. – Текст : электронный // NASA Ozone Watch. – URL: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/hole_SH.html (дата обращения: 22.10.2026).

9. Montreal Protocol. – Текст : электронный // UNEP Ozone Secretariat. – URL: https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol (дата обращения: 22.10.2026).

10. Annual Records: Ozone Hole Area and Minimum Ozone. – Текст : электронный // NASA Ozone Watch. – URL: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/statistics/annual_data.html (дата обращения: 22.10.2026).

11. Small and short-lived 2025 ozone hole confirms long-term recovery trend. – Текст : электронный // World Meteorological Organization. – 2025. – 12 December. – URL: https://wmo.int/media/news/small-and-short-lived-2025-ozone-hole-confirms-long-term-recovery-trend (дата обращения: 22.10.2026).

12. 2025 Antarctic Ozone Hole Among Smallest in Decades. – Текст : электронный // UNEP Ozone Secretariat. – 2025. – 25 November. – URL: https://ozone.unep.org/node/16750 (дата обращения: 22.10.2026).