

Институт глобального климата и экологии

30.05.2016

Сравнительные характеристики планет земной группы

А. А. Криволюцкий

Центральная аэрологическая обсерватория

Структура доклада

1. Физические характеристики планет
 2. Солнце
 3. Космические миссии к Марсу и Венере
 4. Возможная роль солнечной активности
 5. Заключение
 6. Литература
-

Список межпланетных космических аппаратов

Всего на март 2016 года было запущено 226 аппаратов^[1] (включая пролётные миссии):

к [Меркурию](#) — 2

к [Венере](#) — 33

к [Луне](#) — 97 [АМС](#) + 9 [пилотируемых кораблей](#)

к [Марсу](#) — 46

к [Юпитеру](#) — 9

к [Сатурну](#) — 4

к [Урану](#) — 1

к [Нептуну](#) — 1

к [Плутону](#) — 1

к [Церере](#) — 1

к [астероидам](#) и [кометам](#) — 24

Космические миссии к Марсу

- ❑ **Завершённые миссии**
 - ❑ [Маринер-4 1964 год](#). Первое исследование Марса с пролётной траектории, первые снимки другой планеты с близкого расстояния
 - ❑ [Маринер-6](#) и [Маринер-7 1969 год](#). Исследование Марса с пролётной траектории. Первое исследование состава атмосферы с применением спектроскопических методик и определение температуры поверхности по измерениям инфракрасного излучения. Получение снимков поверхности.
-

Завершённые миссии

- ❑ [Маринер-9 1971 год](#). Первый искусственный спутник Марса, первое картографирование поверхности.
 - ❑ [Марс-2 1971 год](#). Искусственный спутник Марса и первая попытка мягкой посадки автоматической марсианской станции с помощью спускаемого аппарата (неудачная)
 - ❑ [Марс-3 1971 год](#). Искусственный спутник Марса; первая мягкая посадка на Марсе, первая автоматическая марсианская станция (неудачная, передача данных со станции прекратилась вскоре после посадки)
 - ❑ [Марс-4 1974 год](#). Исследование Марса с пролётной траектории (неудачная, не удалось вывести на орбиту искусственного спутника Марса)
-

Завершенные миссии

- ❑ [Марс-5 1974 год](#). Искусственный спутник Марса (частично удачная, время работы спутника около двух недель)
 - ❑ [Марс-6 1974 год](#). Облёт Марса и попытка мягкой посадки автоматической марсианской станции с помощью спускаемого аппарата (неудачная, в непосредственной близости к поверхности Марса потеряна связь), первые прямые измерения состава атмосферы, давления и температуры во время снижения спускаемого аппарата на парашюте
 - ❑ [Марс-7 1974 год](#). Облёт Марса и попытка мягкой посадки автоматической марсианской станции с помощью спускаемого аппарата (неудачная, спускаемый аппарат пролетел мимо Марса)
-

Завершенные миссии

- ❑ [Викинг-1 1976 год](#). Искусственный спутник Марса и первая работающая автоматическая марсианская станция; первые снимки, переданные с поверхности Марса, первые непосредственные исследования атмосферы и грунта, первые эксперименты по поиску жизни на Марсе.
 - ❑ [Викинг-2 1976 год](#). Искусственный спутник Марса и автоматическая марсианская станция; снимки, переданные с поверхности Марса, непосредственные исследования атмосферы и грунта, эксперименты по поиску жизни на Марсе.
-

Завершенные миссии

- ❑ [Фобос-2 1988 год](#). Искусственный спутник Марса (потеряна связь перед попыткой посадки спускаемого аппарата на Фобос)
 - ❑ [Mars Global Surveyor 1996 год](#). Искусственный спутник Марса (время работы 1996-2004 гг.)
 - ❑ [Mars Pathfinder 1997 год](#). Автоматическая марсианская станция и первый марсоход [Соджонер](#) (время работы 4 июля 1997 года - 27 сентября 1997 года)
-

Завершенные миссии

- ❑ [Спирит 2004 год](#). Марсоход (время работы 4 января 2004 года - 22 марта 2010 года)
 - ❑ [Phoenix 2007 год](#). Автоматическая марсианская станция. Первая автоматическая марсианская станция в полярном районе.(время работы 25 мая 2008 года - 2 ноября 2008 года)
-

Неудавшиеся миссии

[Марс 1960А 1960 СССР](#) Авария ракеты-носителя

[Марс 1960Б 1960 СССР](#) Авария ракеты-носителя

[Марс 1962А 1962 СССР](#) Не сработала разгонная ступень

[Марс-1 1962 СССР](#) Утеряна связь

[Марс 1962В 1962 СССР](#) Не сработала разгонная ступень

[Маринер-3 1964 США](#) Не отделился головной обтекатель

[Зонд-2 1964 СССР](#) Не попал в район Марса

[Марс 1969А 1969 СССР](#) Авария ракеты-носителя

[Марс 1969В 1969 СССР](#) Авария ракеты-носителя

[Маринер-8 1971 США](#) Авария ракеты-носителя

[Космос-419 1971 СССР](#) Не сработала разгонная ступень

[АМС «Фобос-1» 1988 СССР](#) Утеряна связь

[АМС «Фобос-2» 1988 СССР](#) Выведен на орбиту вокруг
Марса. Утеряна связь

Неудавшиеся миссии

[Mars Observer_1992_США](#) Утеряна связь

[«Марс-96»_1996_Россия](#) Не сработала [разгонная ступень](#)

[Нодзоми_1998_Япония](#) Не удалось вывести на орбиту
вокруг Марса

[Mars Climate Orbiter_1999_США](#) Авария при попытке
вывода на орбиту вокруг Марса

[Mars Polar Lander_1999_США/Россия](#) Авария при посадке

[Deep Space 2_1999_США](#) Утеряна связь после входа в
атмосферу

[Бигль-2](#) (посадочный модуль [Марс-экспресс](#)) [2003](#)

[ЕКА](#) Неполное разворачивание панелей солнечных
батарей после посадки

Неудавшиеся миссии

[Фобос-Грунт_2011](#) Россия

Отказ бортового вычислительного комплекса; Не включилась [разгонная ступень](#)

[Инхо-1_2011](#) Китай

Должен был быть доставлен в миссии [Фобос-Грунт](#)

Текущие миссии

[Марс Одиссей](#) (с 24 октября 2001 года);

[Марс-экспресс](#) (с 25 декабря 2003 года);

[Марсианский разведывательный спутник](#) (с 10 марта 2006 года);

[MAVEN](#) (с 22 сентября 2014 года);

[Мангальян](#) (с 24 сентября 2014 г) Индия

На поверхности планеты работают марсоходы

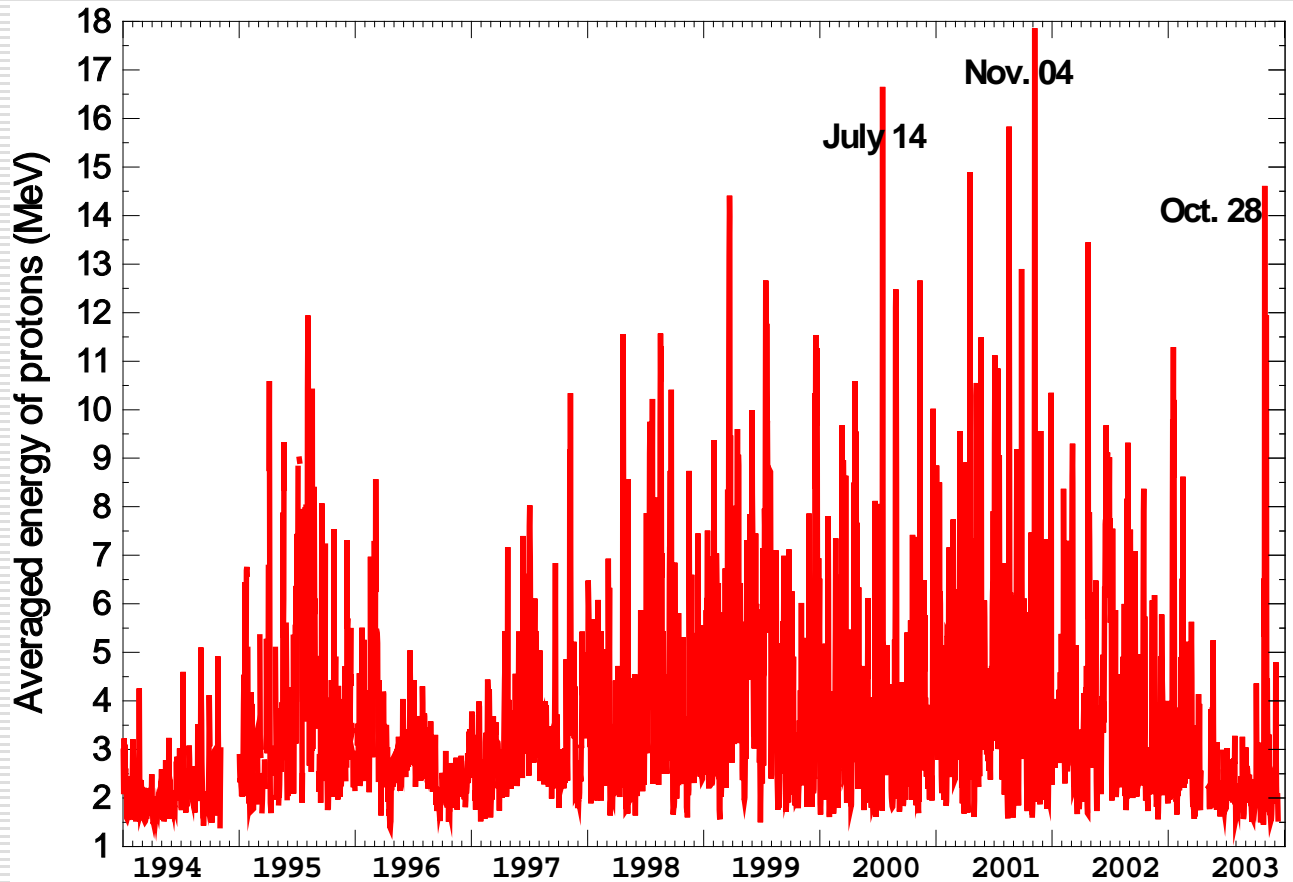
«Оппортьюнити» (с 25 января 2004 года)
США;

«Кьюриосити» (Mars Science Laboratory)
(с 6 августа 2012 года) США.

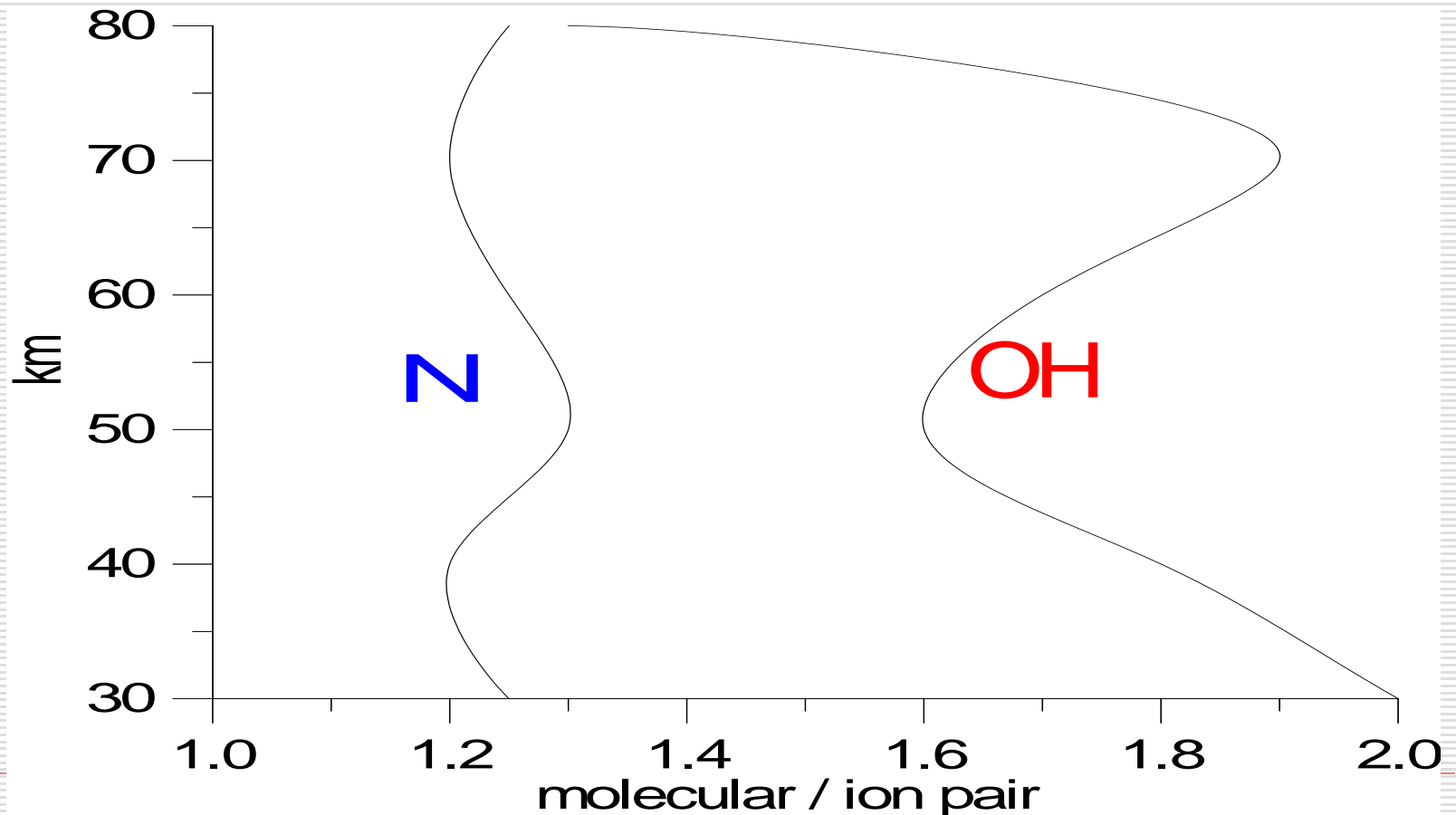
Физические характеристики планет

| | Состав | Масса 5,98(24) кг. | Температура поверхности (средняя) |
|--------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Венера | CO ₂ | 0,82 | 700 К |
| Земля | O ₂ , N ₂ | 1,0 | 288 |
| Марс | CO ₂ | 0,11 | 210 |

Daily averaged energy values of solar protons during 1994-2003 (1-100 MeV, GOES data)



N and **OH** production caused by cosmic rays (Jackman et al., 1976; Heaps, 1978; Solomon and Crutzen, 1981)



Ozone destruction in chemical catalytical cycles



CHARM – CHemical Atmospheric Research Model (Krivolutsky et al., 2015)

Model equations (0-90 km):

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + U \frac{\partial \mu}{a \cos \theta \partial \lambda} + V \frac{\partial \mu}{a \partial \theta} + W \frac{\partial \mu}{\partial z} = P_{AD} - L_{\mu}$$

μ - mixing ratio

P, L – photochemical Sources and Losses

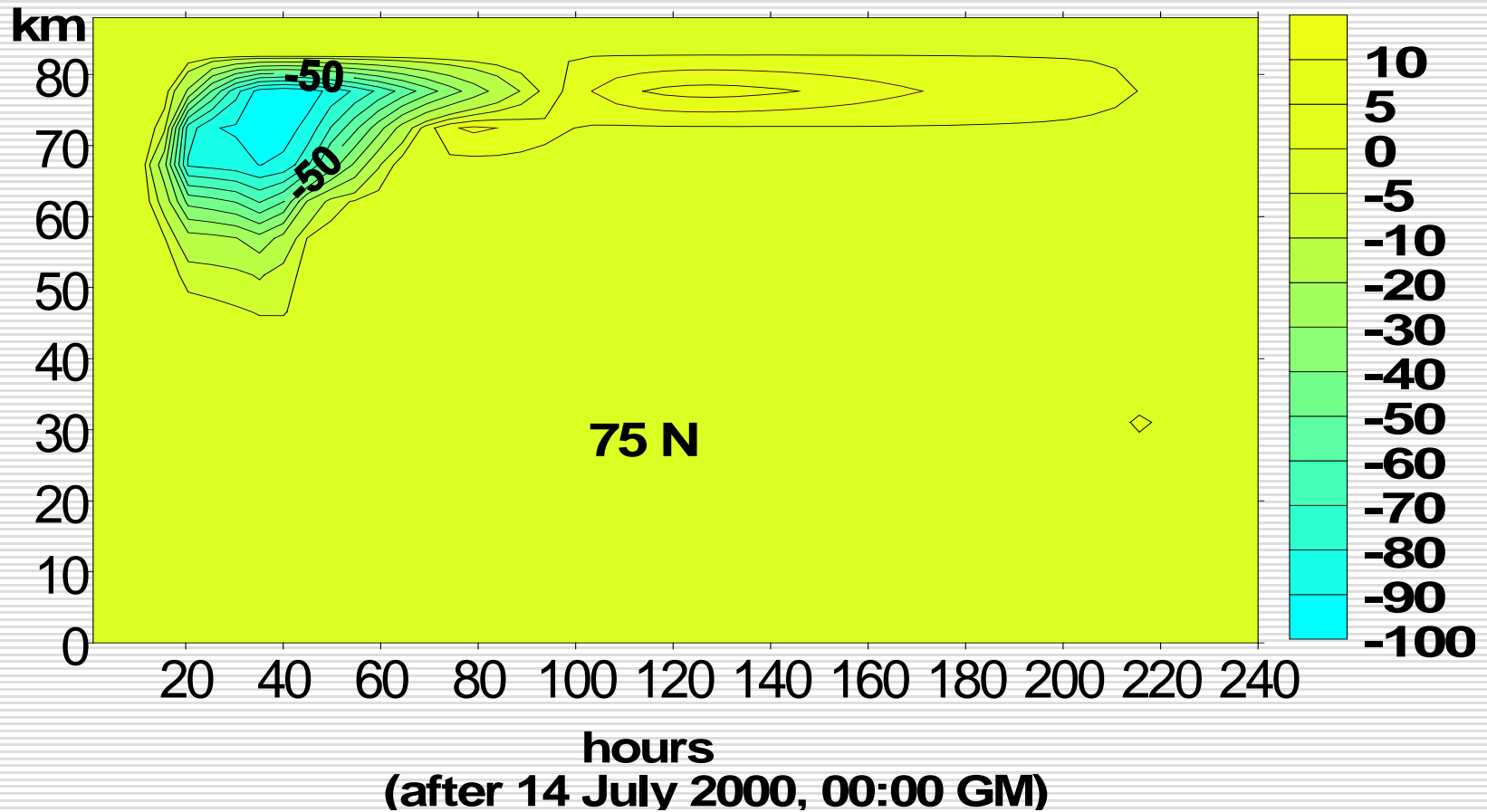
U, V, W – wind components (from ARM)

Number of gas-phase reactions– 73; number of photolysis reactions - 38

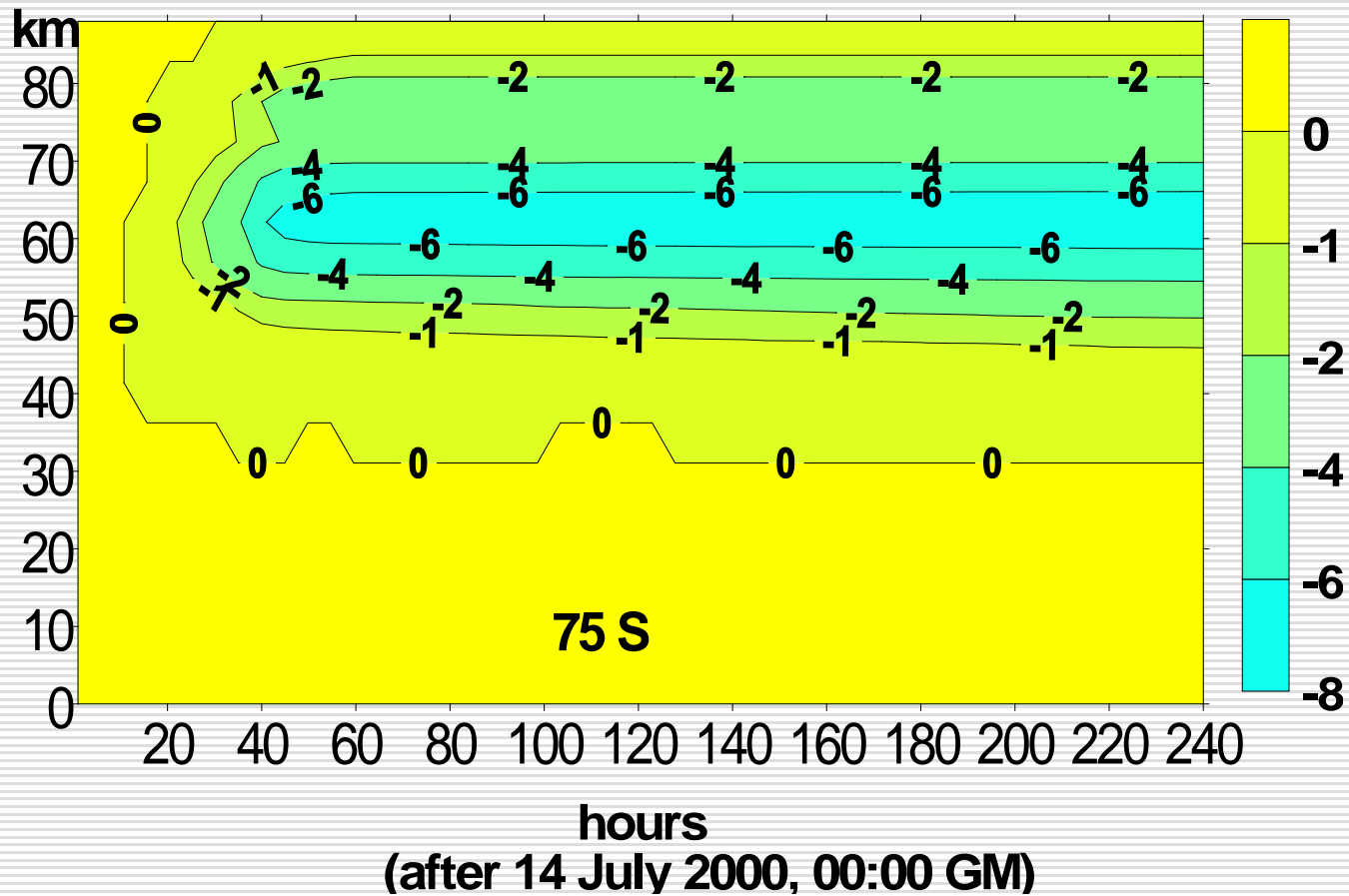
Chemical families method - Turco, Whitten, 1974

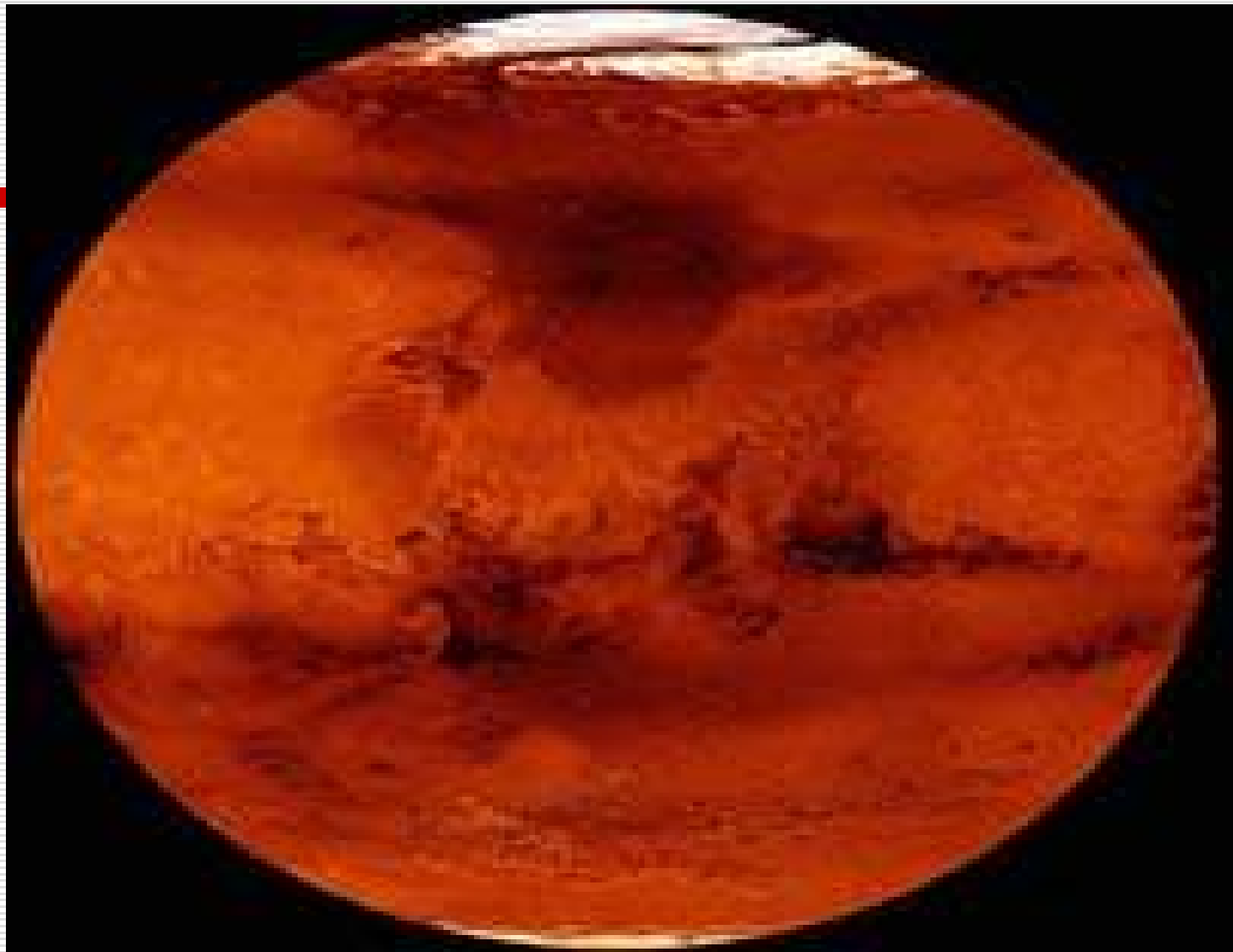
Advection scheme: Prather, 1986

O3 response (%) at 75N



O3 response (%) 75 S





Численная фотохимическая модель атмосферы Марса

(Krivolutsky et al., 2008)

$0 < Z < 100 \text{ km}$

! 54 chemical reactions

! 20 reactions of photolysis

50 chemical species

Basic equations :

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} + \frac{\partial (n_i w)}{\partial z} - \frac{d}{dz} \left\{ K \left[\frac{\partial n_i}{\partial z} + \left(\frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{1}{H} \right) n_i \right] \right\} = P_i - L_i$$

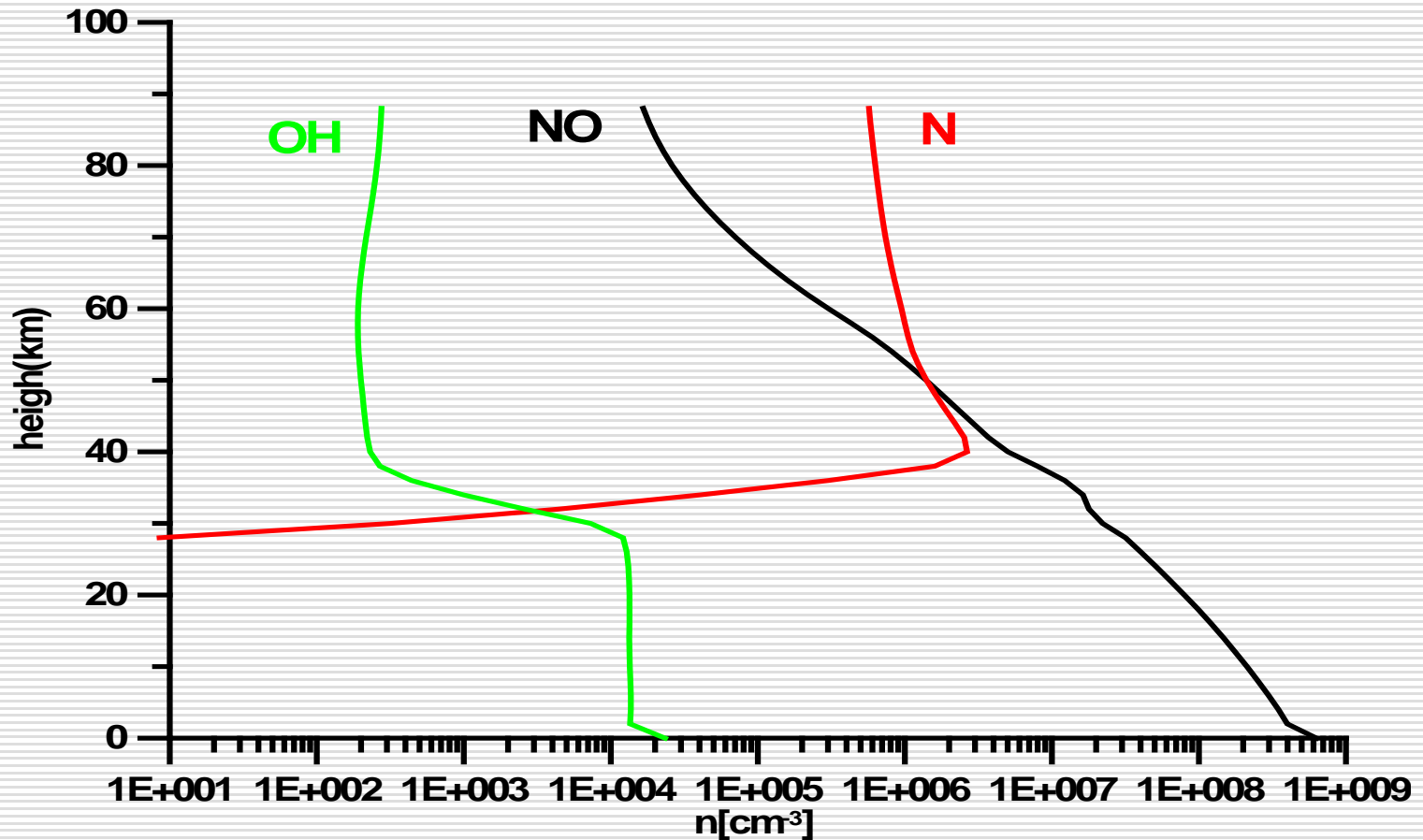
P – Source, $L_i n_i$ – Loss, W – Vertical Velocity, $H \cong 8 \text{ km}$, K_z –
Turbulent diffusion, T – Temperature, t – Time

Method : Turco and Witten (1974)

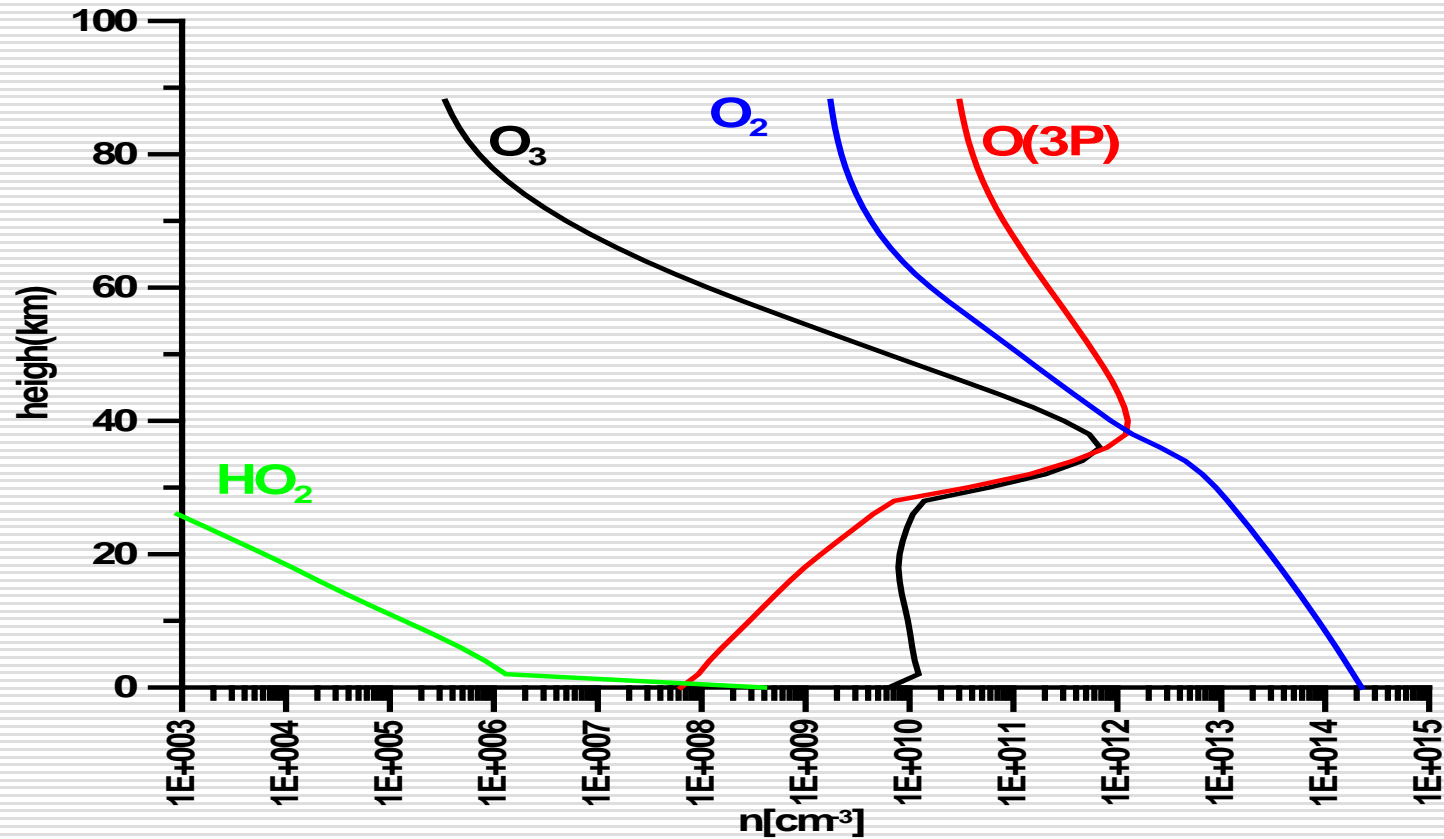
List of chemical compounds

- ☐ O (3P), O₃ , O₂ ,
 - ☐ O_x (O + O₃ + O₂),
 - ☐ HO_x (H + OH + HO₂ + 2 H₂O₂)
 - ☐ NO_y (N + NO + NO₂ + NO₃ + 2N₂O₅
+ HNO₃ + HNO₂)
 - ☐ CO₂, CO
 - ☐ H₂O (fixed profile)
 - ☐
-

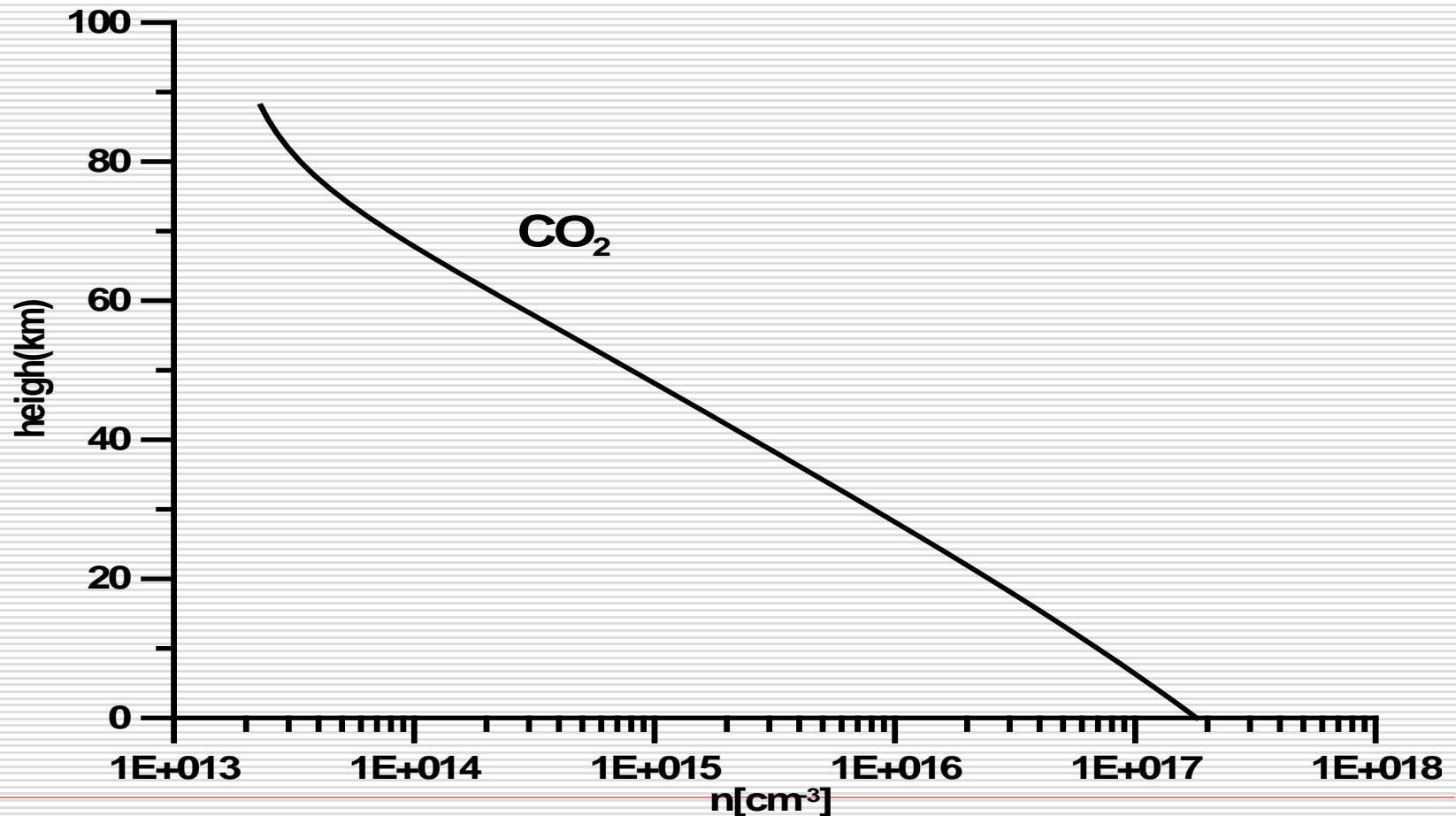
Simulated chemical composition of the Mars's atmosphere (undisturbed profiles, 45 N)



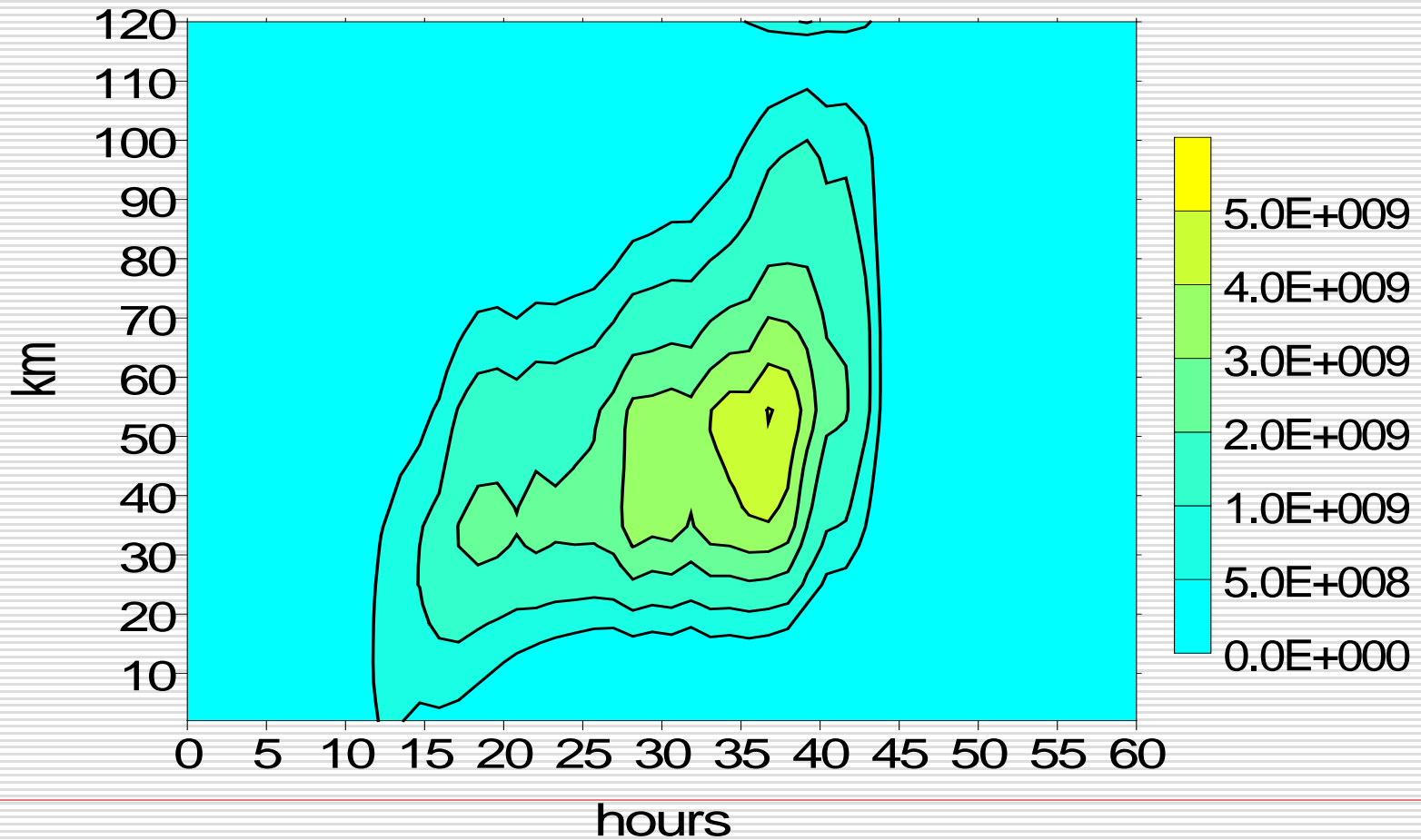
Chemical composition of the Mars's atmosphere (undisturbed profiles, 45 N)



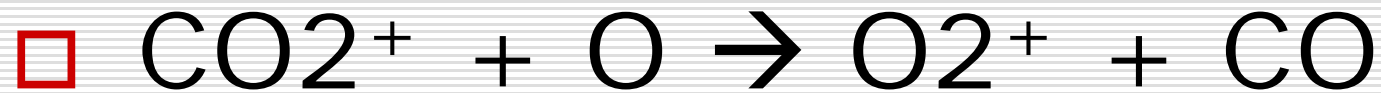
CO₂ in the atmosphere of Mars (photochemical simulation, 45 N)



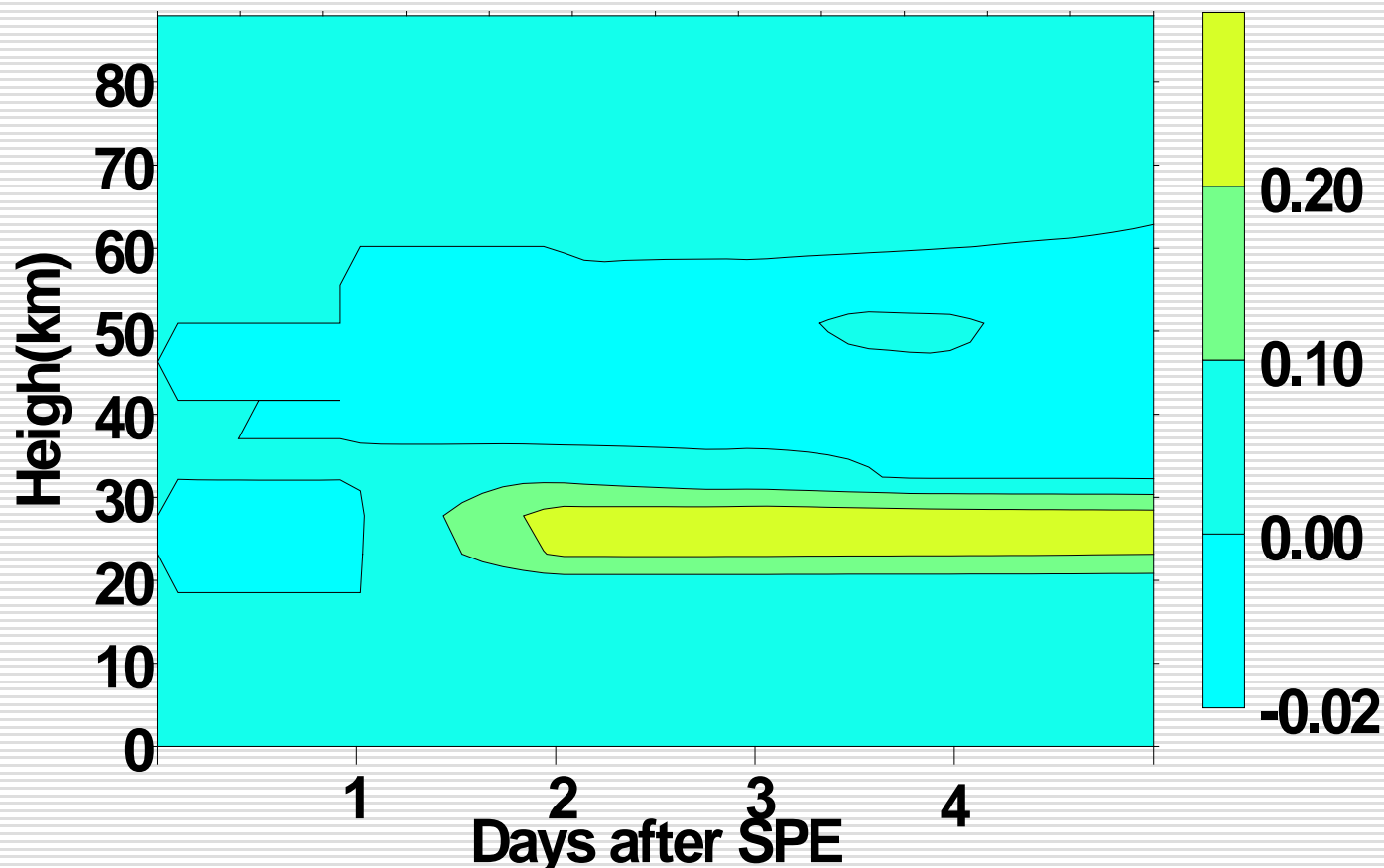
Ionization rates caused by SPE of July 2000 in the atmosphere of Mars (calculations)



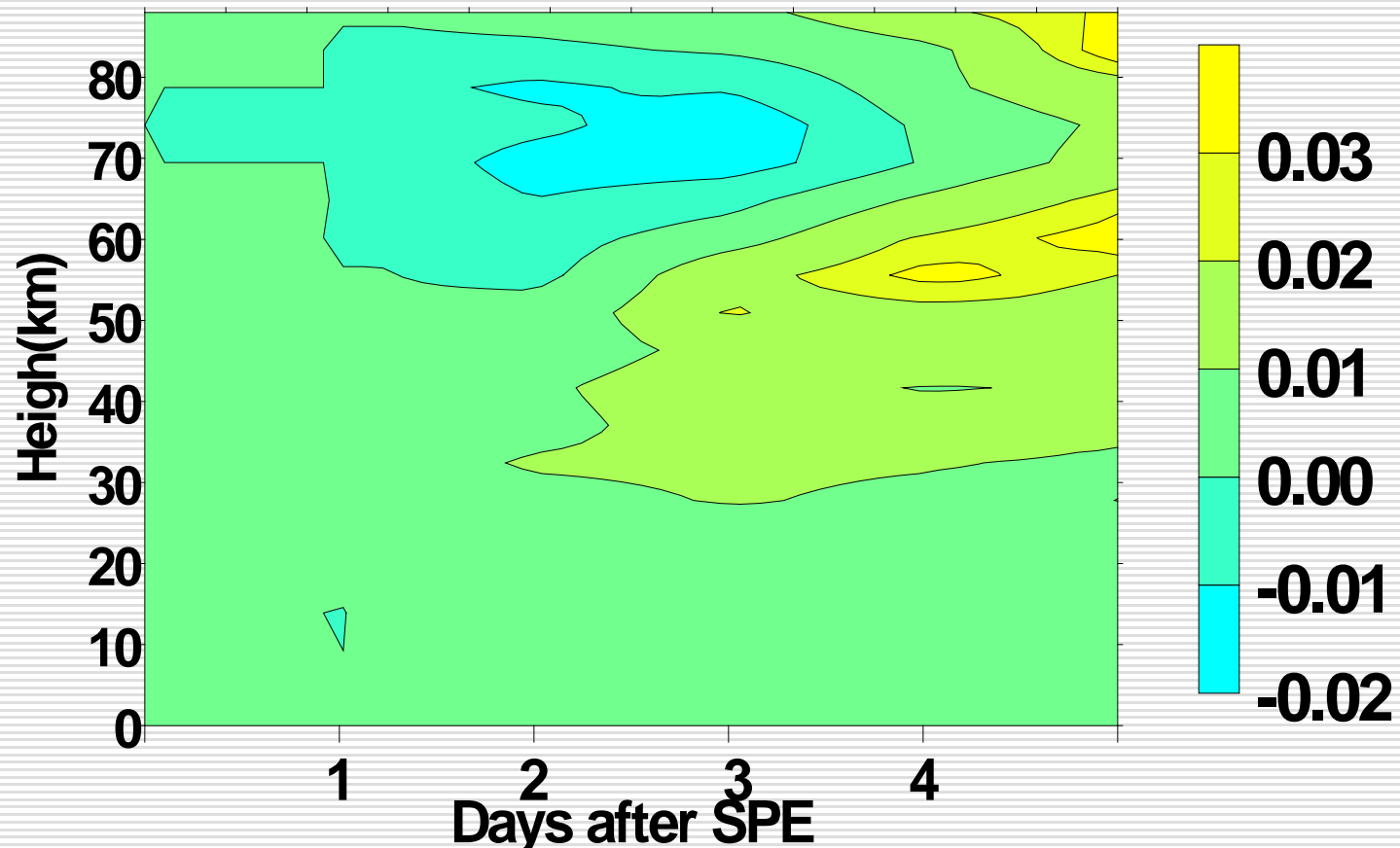
Simple scheme of ion chemistry induced by SPE in the atmosphere of MARS



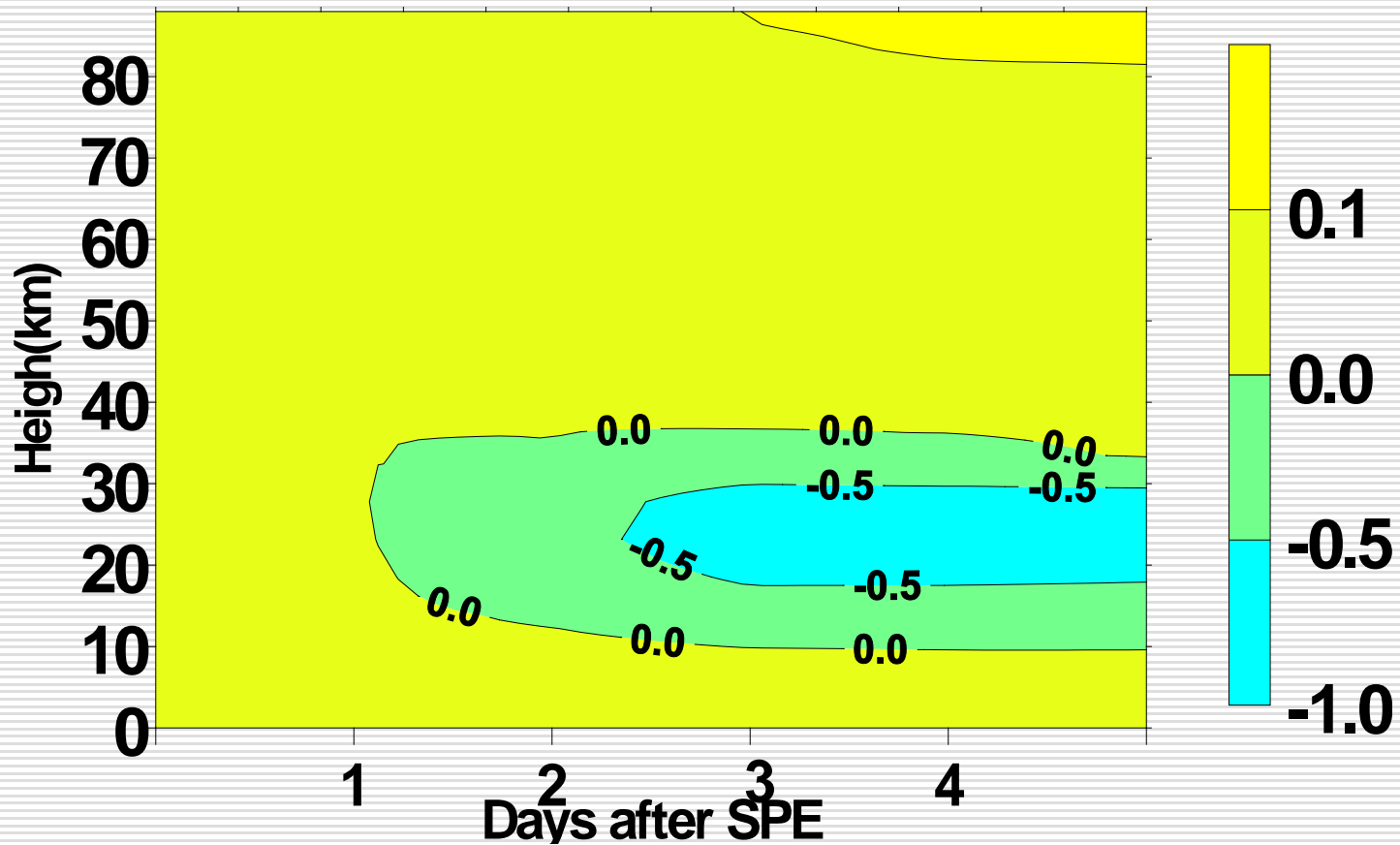
Changes (%) of atomic nitrogen (N) caused by SPE at 45 N
(photochemical simulations)



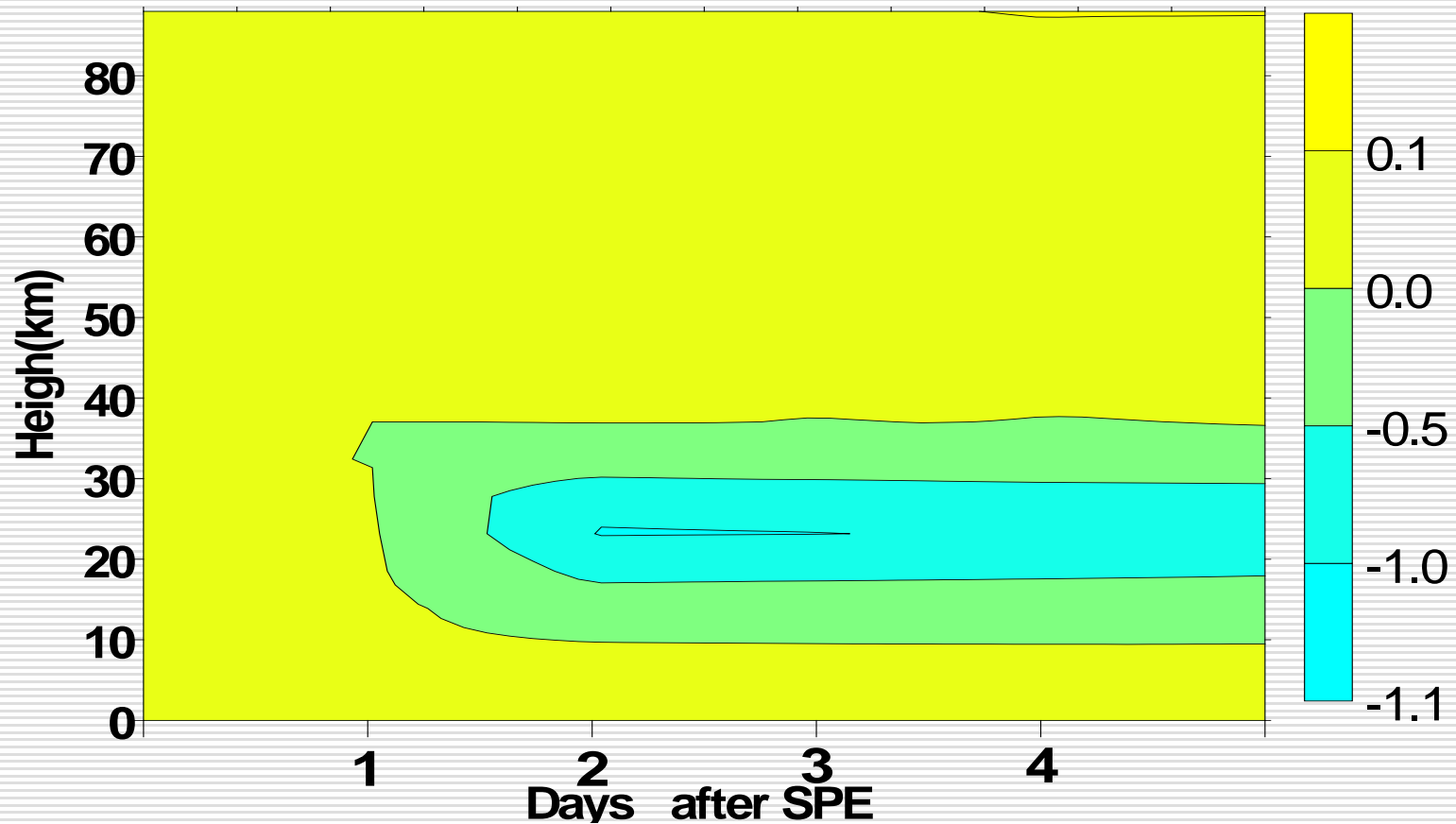
Changes in O₂ (%) caused by SPE in the atmosphere of MARS (photochemical simulations)



Changes in O₃ (%) caused by SPE in the atmosphere of MARS (photochemical simulations)

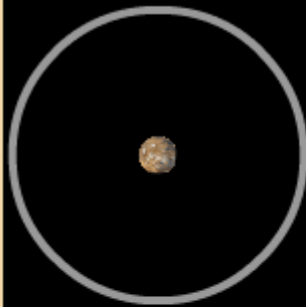


Changes in O (%) caused by SPE in the atmosphere of MARS (photochemical simulations)



[illegible]

Simulated view
through a telescope
of Mars from Earth

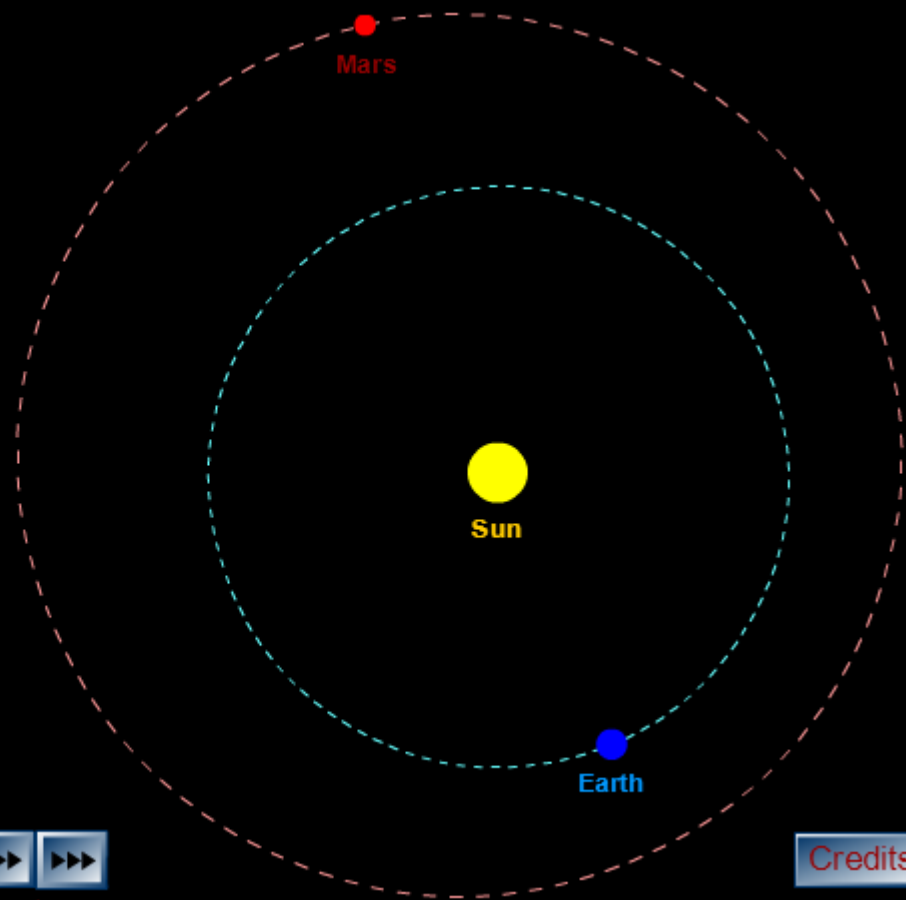


Earth to Mars distance:
392 million km

Date: 15 July 2000

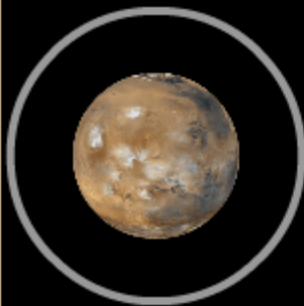


Backward Stop Forward



Credits

Simulated view
through a telescope
of Mars from Earth



Earth to Mars distance:
91 million km

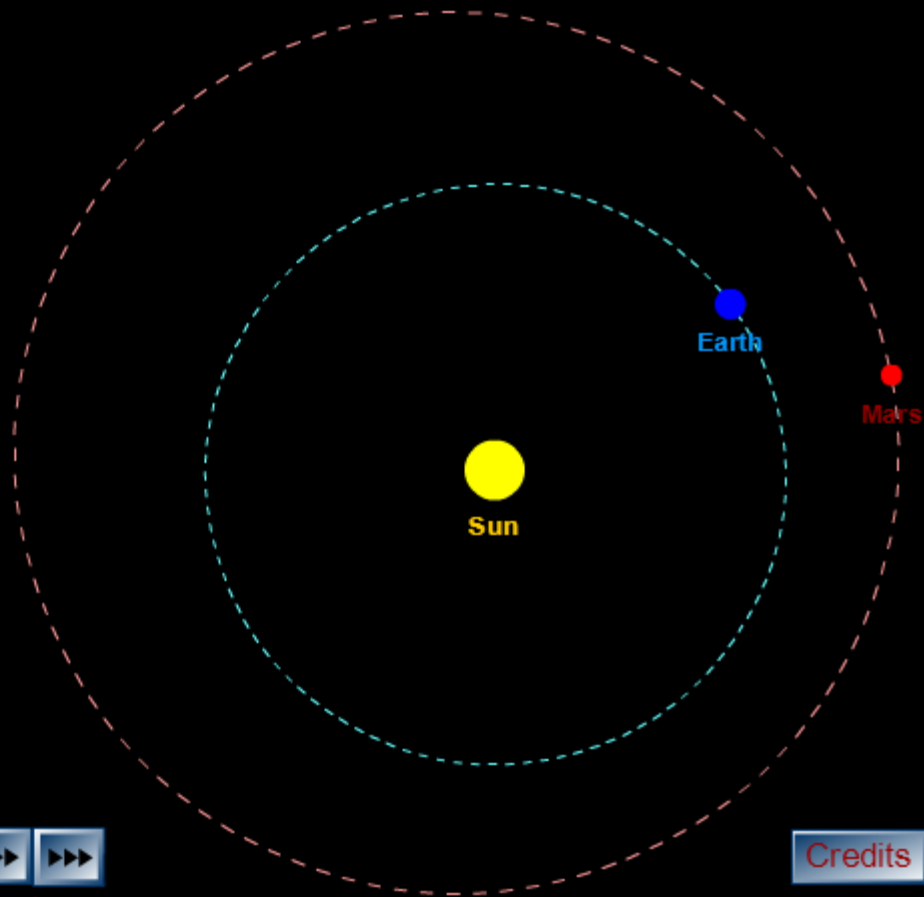
Date: 28 October 2003



Backward

Stop

Forward



Credits

Литература

- ❑ 1. Golitsyn G.S. A similarity approach to the general circulation of planetary atmospheres, Icarus, 13, 1-24, 1970.
 - ❑ 2. Р. Гуди, Дж. Уолкер. Атмосферы. М.: МИР, 1975, 184 с.
 - ❑ 3. Дж. Чемберлен. Теория планетных атмосфер. М: Мир, 1981.
 - ❑ 4. В.А. Краснопольский. Фотохимия атмосферы Марса и Венеры. М: Наука, 1982.
 - ❑ 5. М.Я. Маров, А.В. Колесниченко. Введение в планетную аэрономию. М: Наука, 1987
-

Спасибо за внимание!
