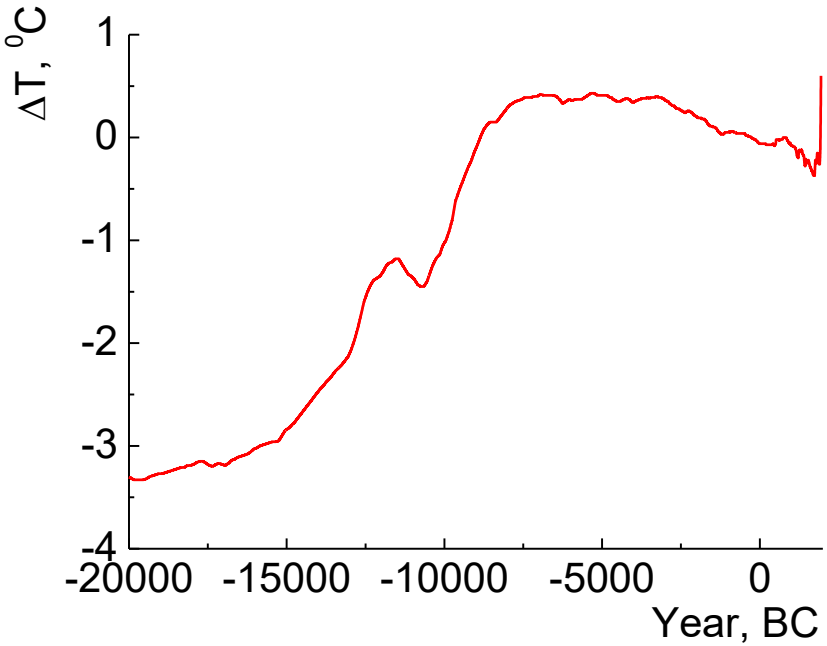
Радиоуглеродные данные о солнечной активности в прошлом и эпизоды резких климатических изменений в процессе окончания Ледникового Периода и в Голоцене

И. В. Кудрявцев[1], В. А. Дергачев[1], Ю. А. Наговицын[2]

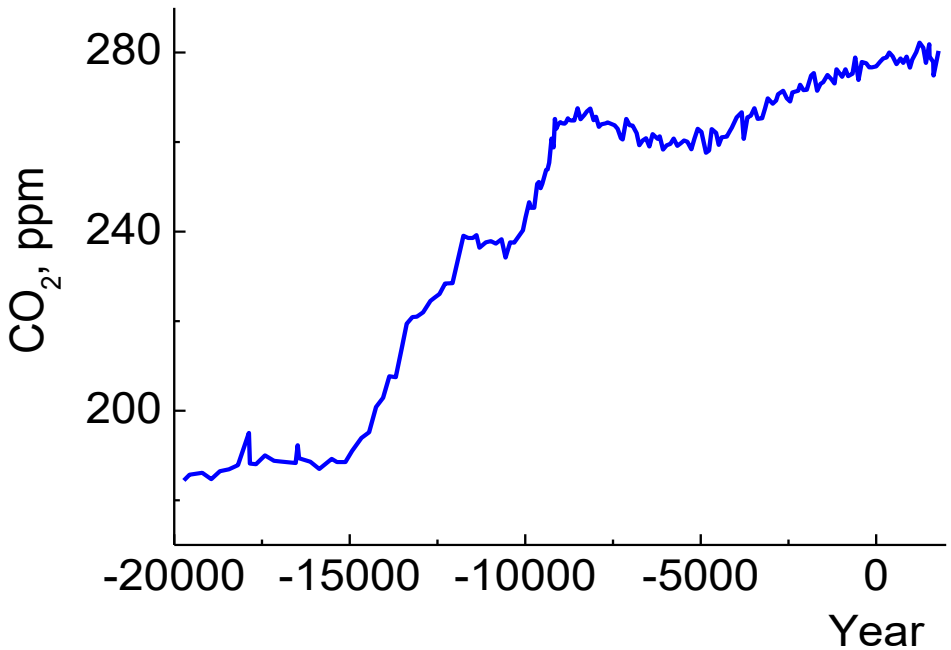
[1]Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Россия

e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

Изменение климата

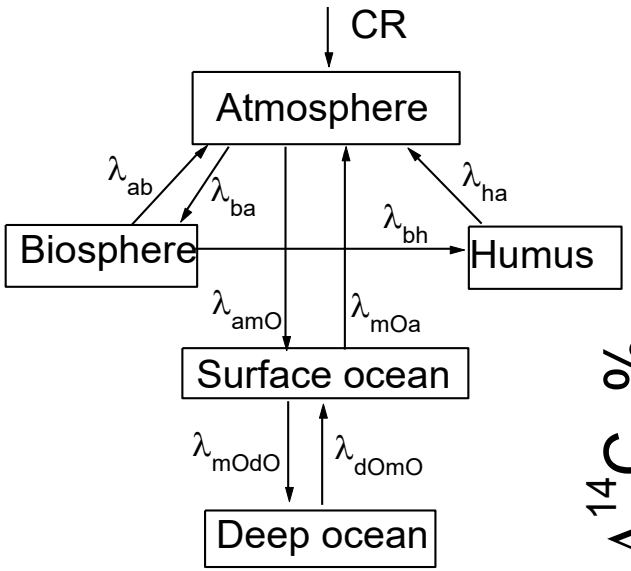


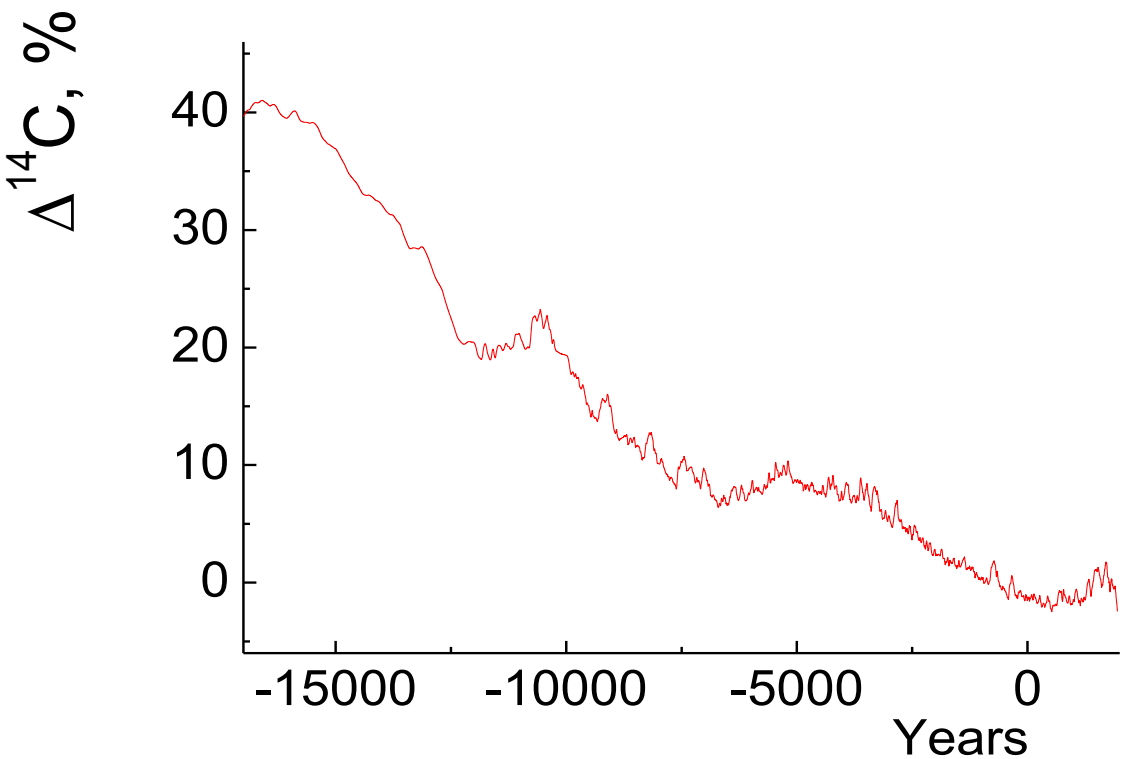
Изменение глобальной температуры (*Shakun J.D. et al* , 2012; *Marcott S.A. et al , 2013;* Marcott and Shakun, 2015)



Изменени содержания CO_2 в атмосфере Земли (Monnin E., et al., 2004)

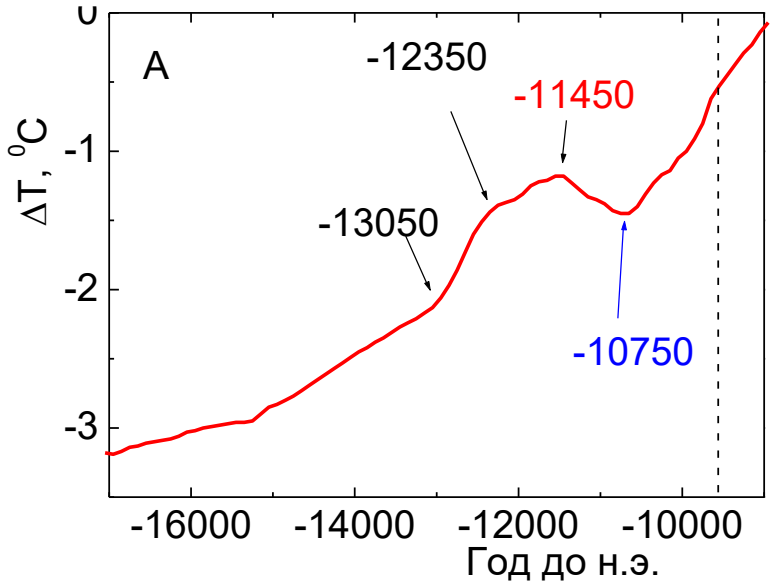
Изменение содержания изотопа ^{14}C в земной атмосфере



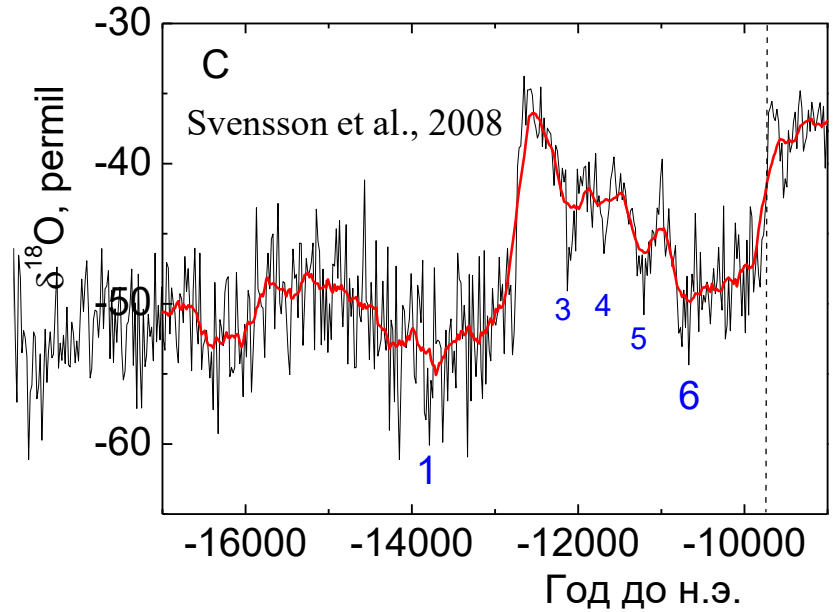


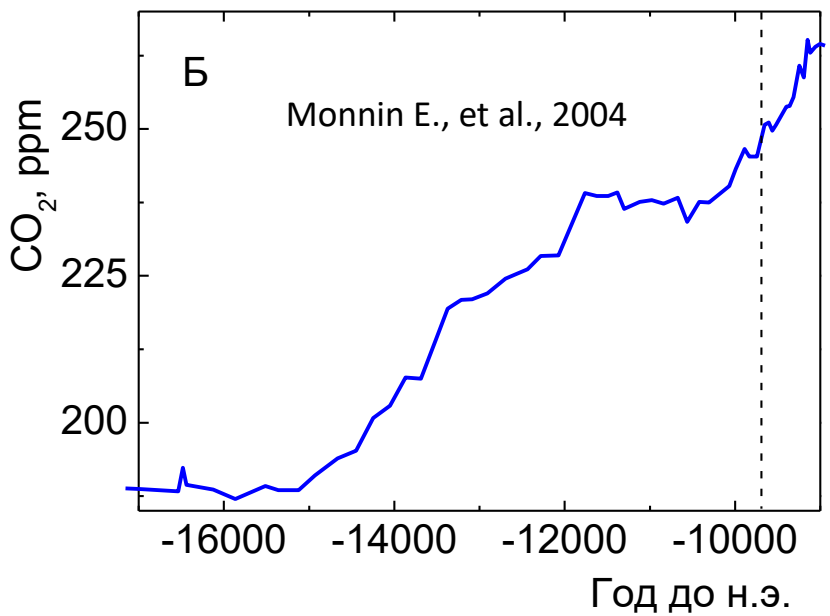
IntCal13 [Reimer P.J. et al.,2013].

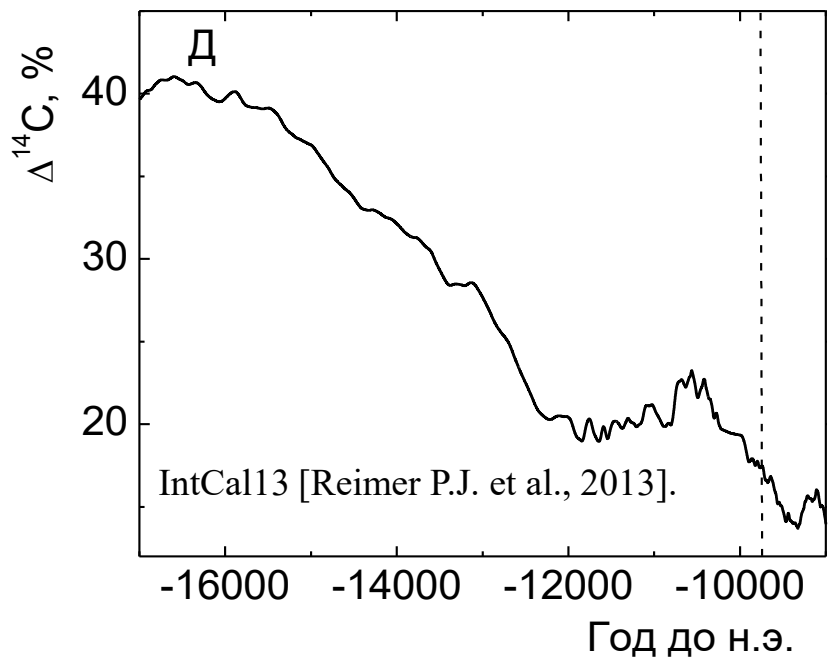
Окончание ЛП и переход к Голоцену



Shakun J.D. et al , 2012; Marcott and Shakun, 2015

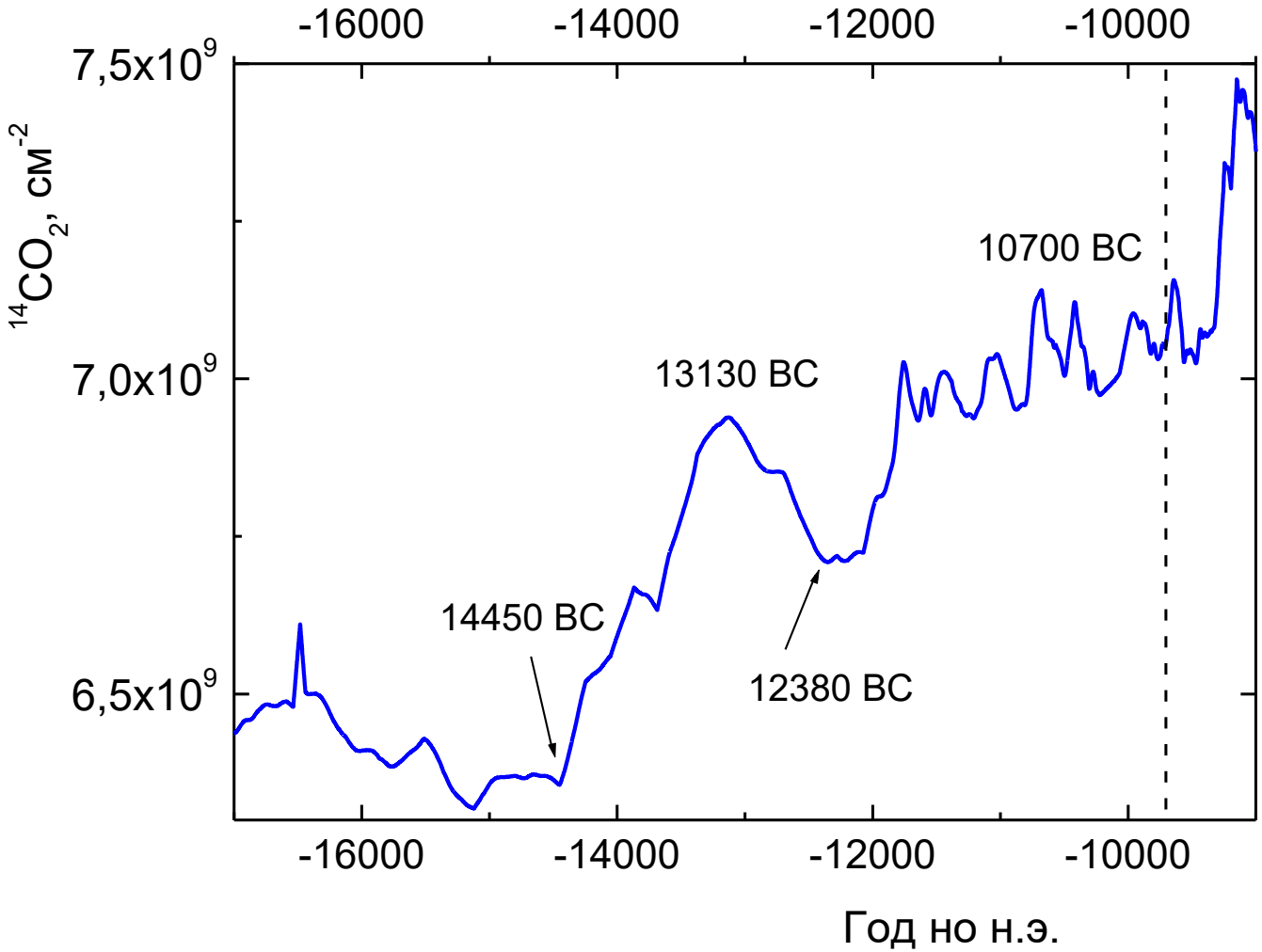


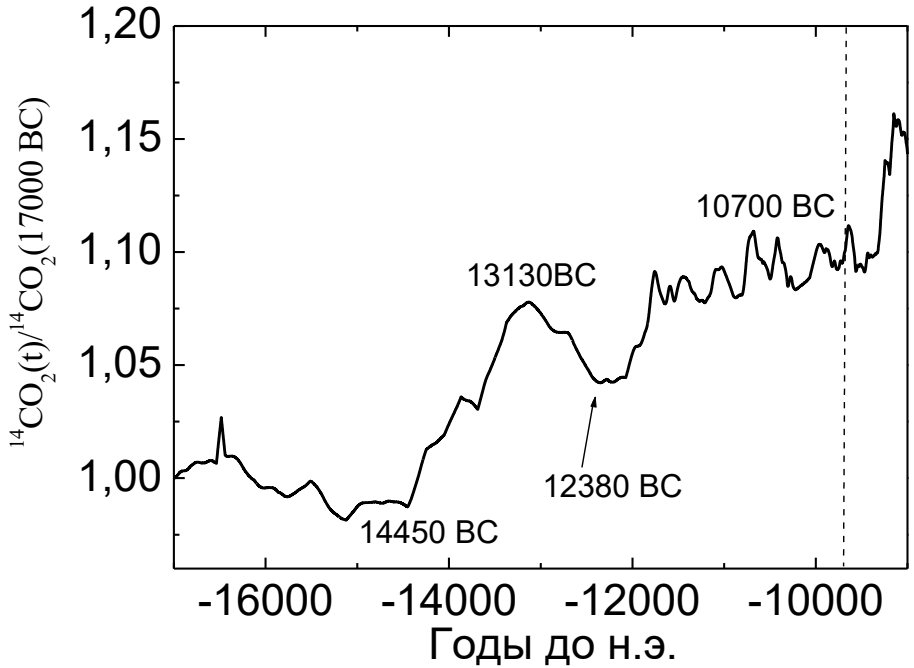


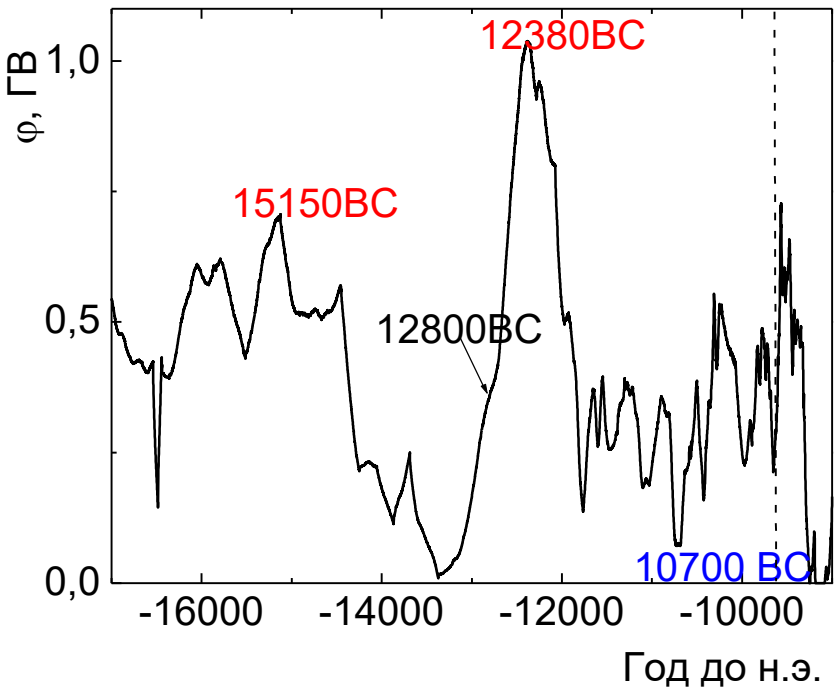


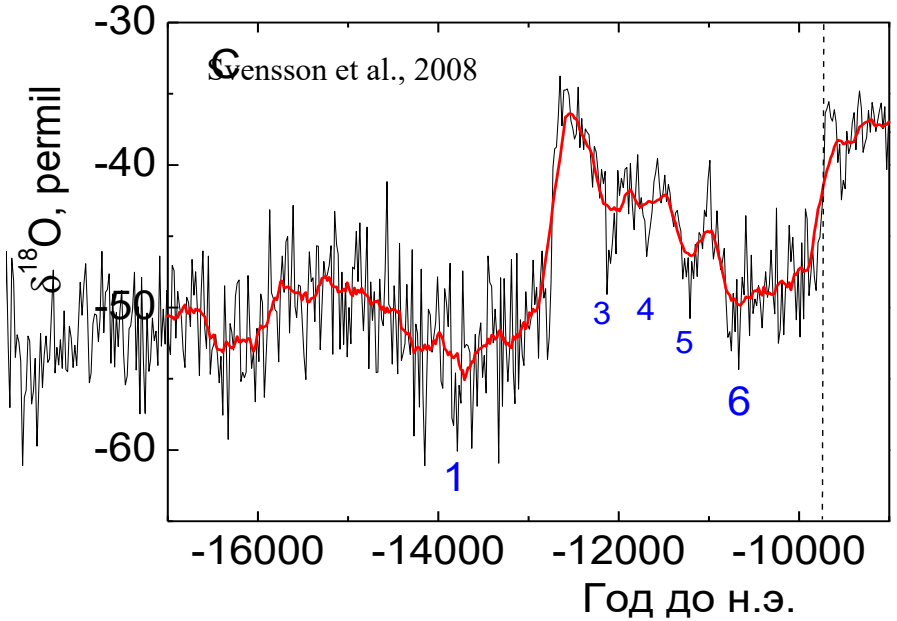
$$\Delta\,^{14}C(t) = \frac{^{14}C_a(t)/^{12}C_a(t) - (^{14}C/^{12}C)_{ст}}{(^{14}C/^{12}C)_{ст}}$$

$^{14}C_a$ и $^{12}C_a$ концентрации изотопов ^{14}C и ^{12}C в атмосфере Земли.



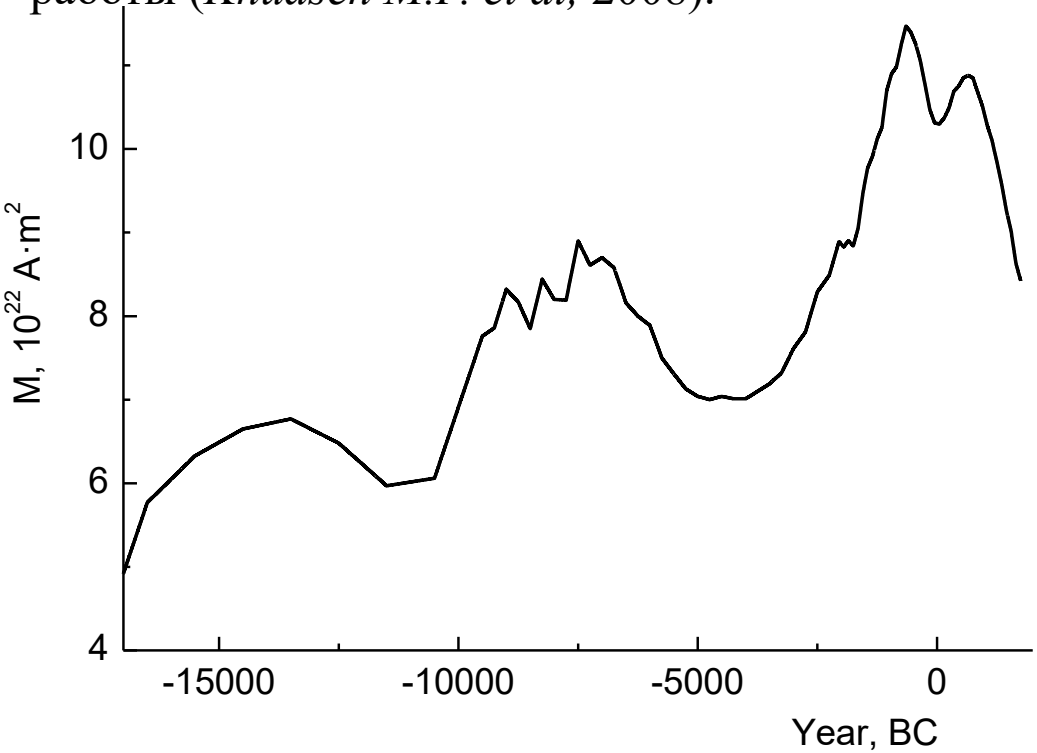

1,20
1,15
1,10
1,05
1,00
$^{14}CO_2(t)/^{14}CO_2(17000\ BC)$
10700 BC
13130BC
12380 BC
14450 BC
-16000
-14000
-12000
-10000
Годы до н.э.


φ, ГВ
1,0
0,5
0,0
12380BC
15150BC
12800BC
10700 BC
-16000
-14000
-12000
-10000
Год до н.э.


-30
-40
-50
-60
$\delta^{18}O$, permil
Svensson et al., 2008
1
3
4
5
6
-16000
-14000
-12000
-10000
Год до н.э.

1) Метод расчета гелиосферного модуляционного потенциала φ(t) (ГМП) при известной скорости генерации изотопа ^{14}C *Q(t)* в атмосфере подробно изложен в работах (Kovaltsov et al, 2012; Poluianov et al.,2016).

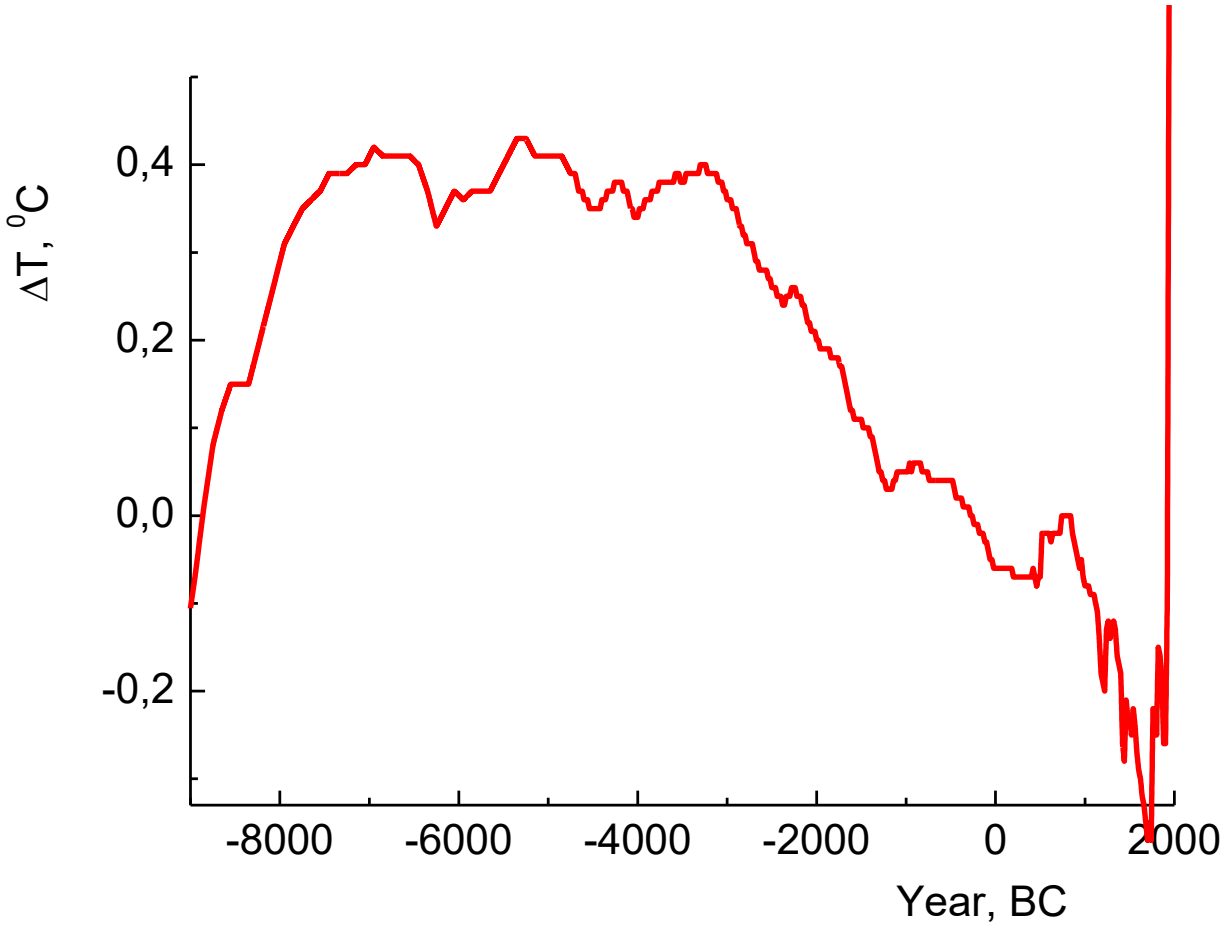
При этом нами использовались значения для магнитного момента *M(t)* взяты из работы (*Knudsen M.F. et al,* 2008).



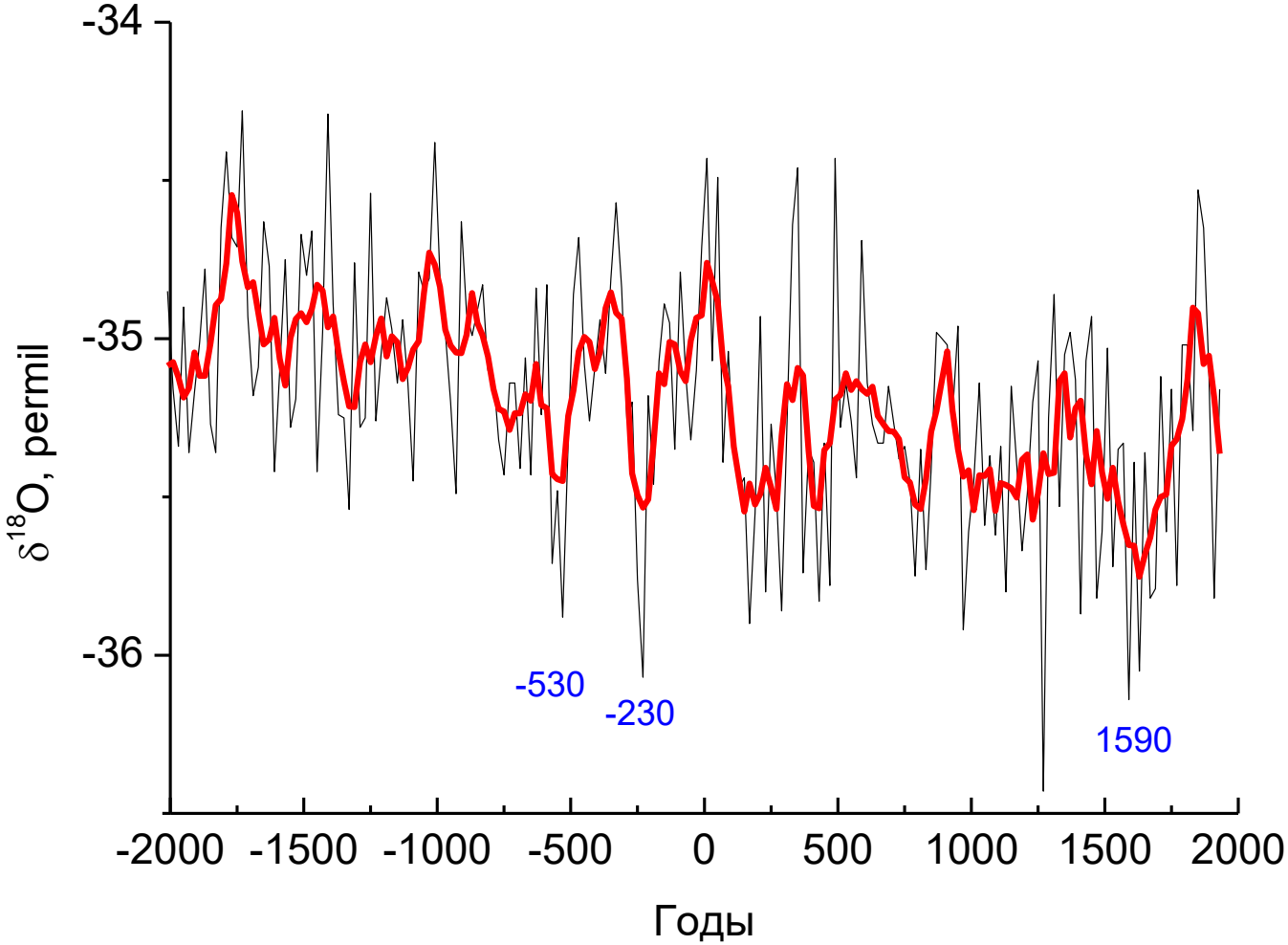
Knudsen M.F. et al. Earth Planet. Sci. Lett., 2008, V272, P. 219

2) Расчеты скорости образования изотопа ^{14}C в атмосфере производятся на основе 5-ти резервуарной модели (например Дроман, 1978). При этом нами учитываются изменения скорости обмена изотопом ^{14}C между океаном и атмосферой, а также между атмосферой и биосферой (Дергачев, Остряков, 1978; Kudriavtsev et al, 2014, 2016, 2018, 2019; КудрявцевИ.В. и Дергачев В.А. 2016,

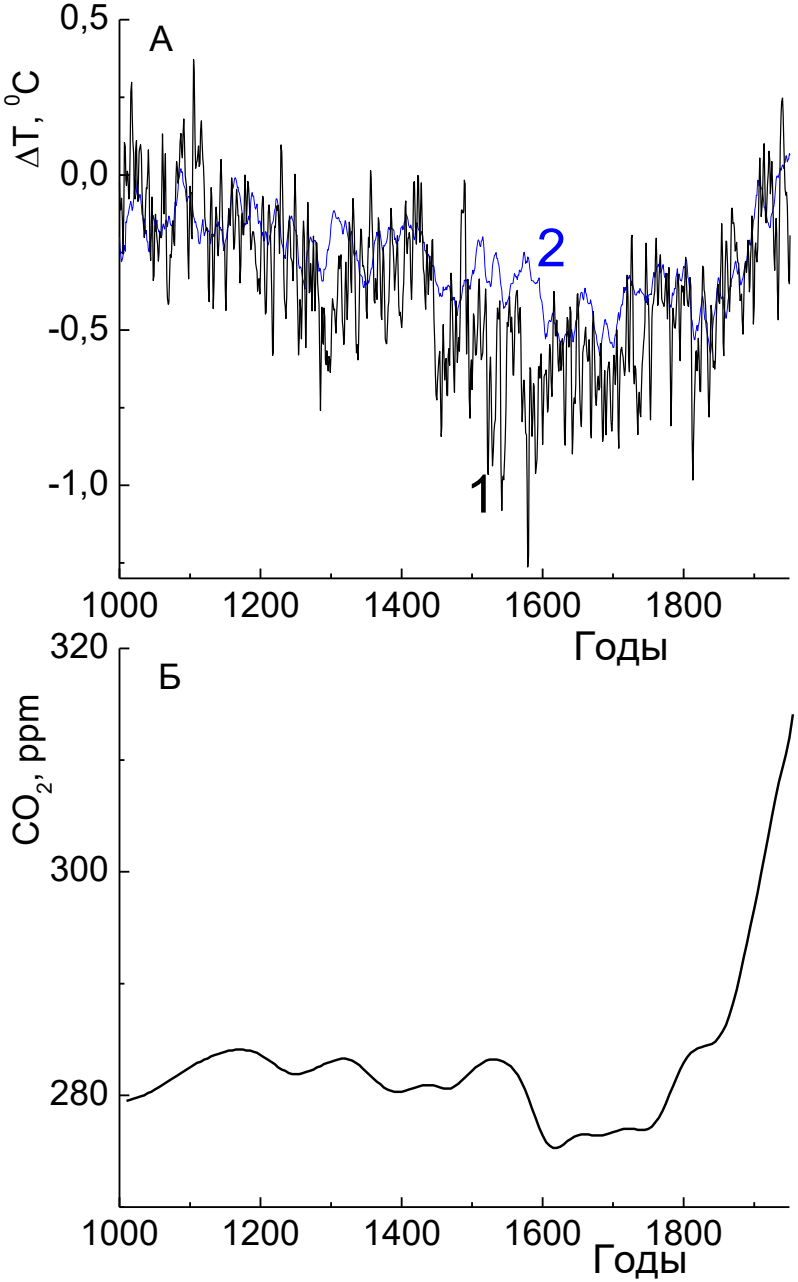
II. Голоцен



Изменение глобальной температуры (*Shakun J.D. et al* , 2012; *Marcott S.A. et al , 2013;* Marcott and Shakun, 2015))

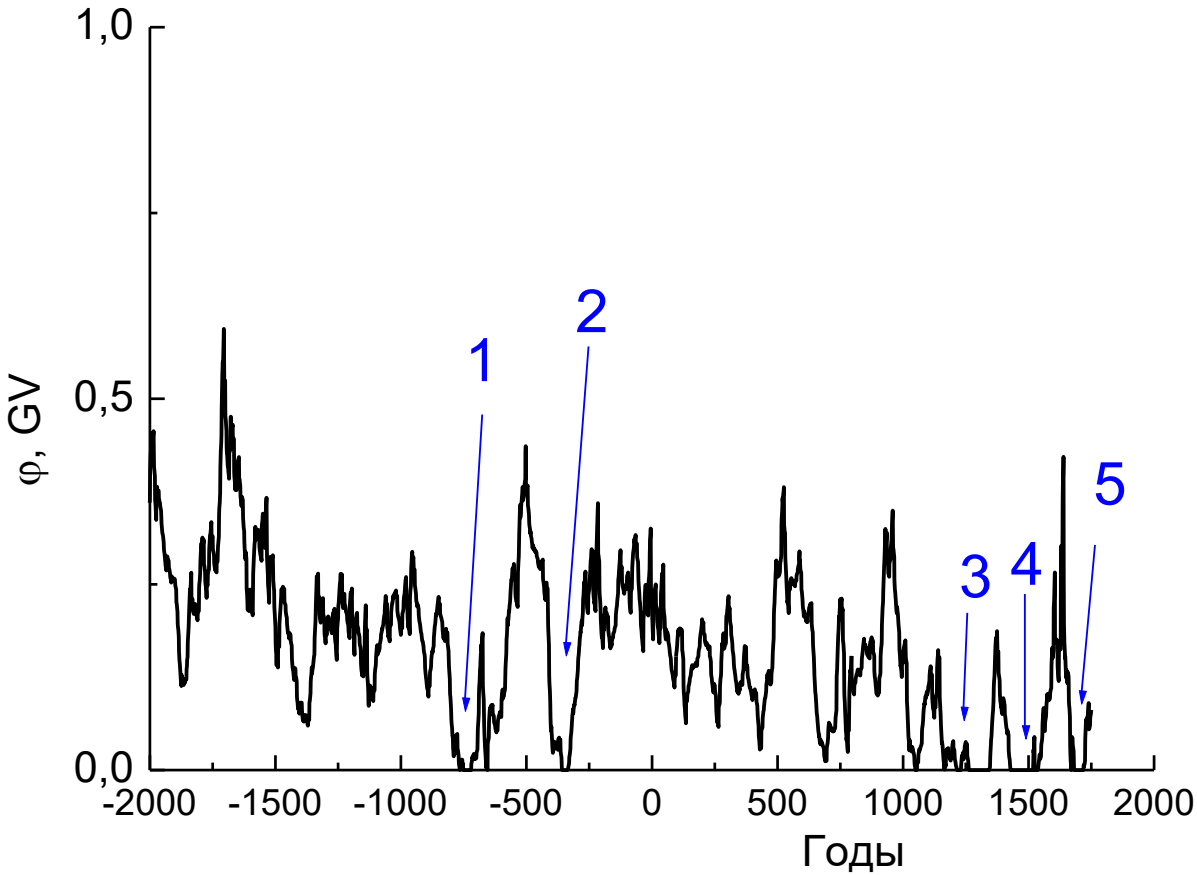


Измерения содержания изотопа ^{18}O в леднике Гренландии (Svensson et al., 2008). Красной линией показано усредненные значения за 100 лет.



А, кривые 1, 2 - аномалии глобальной температуры согласно работам (Moberg et al., 2005) и (Crowley and Lowery, 2000), соответственно;

Б – изменение концентрации CO_2 в земной атмосфере, начиная с 1010 года (Etheridge et al., 1998).


1,0
0,5
0,0
φ, GV
-2000
-1500
-1000
-500
0
500
1000
1500
2000
Годы
1
2
3
4
5

Основные результаты:

1) Реконструкция ГМП на основе радиоуглеродных данных показывает, что Солнечная Активность (СА) была чрезвычайно высокой около 12400 гг. до н.э. Это указывает на то, что Майендорфское потепление на Земле в ≈ (12500–11850) гг. до н.э. могло быть результатом высокой СА;

2) На реконструкциях ГМП выделяются периоды чрезвычайно низкой СА. В первую очередь необходимо отметить минимумы СА около 10700 г. до н.э. и около 13370 г. до н.э.. Это указывает на то, что Древнейший и Поздний Дриас могли быть результатом низкой СА. Выделяются и другие минимумы СА.

3) Похолодания первого тысячелетия до нашей эры могли быть результатом минимумов СА около 700 и 350 гг. до н.э. подобно тому, как Малый Ледниковый период мог быть следствием минимумов СА Вольфа, Шперера, Маундера.

Литература

- Дорман Л.И. в Трудах шестого всесоюзного совещания по проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод». Тбилиси 13-15 октября 1976г. Тбилиси, 1978. с 49
- Дергачев В.А., Остряков В.М., Трудах шестого всесоюзного совещания по проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод». Тбилиси 13-15 октября 1976г.Тбилиси, 1978. с 177
- Кудрявцев И.В. и др., Труды всероссийской ежегодной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика 2015, 4-9 октября 2015г., ГАО РАН, с.235
- Кудрявцев И.В., Дергачев В.А., Наговицын Ю.А., Геомагнетизм и Аэрономия, Т.65(4), С.538. 2025
- Reimer P.J. et al.,2009 //Radiocarbon, 2009, vol. 51, p. 1111
- Reimer P.J. et al // Radiocarbon, V. 55(4). P. 1869. 2013.
- Marcott S.A. et al // Science, V. 339, P. 1198. 2013
- Marcott S.A. and Shakun J.D. // Pages Magazine. V. 23(1). P. 28. 2015.
- -Shakun J.D. et al // Nature, V. 484. P. 49. 2012.
- Monnin E. et al //Science. V. 291. P. 112. 2001.
- - Kudriavtsev I.V. et al // Geohronometria, V. 41(3). P. 216. 2014.
- Kudryavtsev I.V. et al // Geomag. and Aeronomy, V. 56. No. 7. P. 858. 2016.
- - Кудрявцев И.В., Дергачев В.А.// Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца - «Солнечная и солнечно-земная физика – 2016», 10-14 октября 2016г., ГАО РАН, С.-Петербург, P. 179. - Kovaltsov et al // Earth Planet. Sci. Lett., 2012, vol. 337–338, pp. 114–120.
- - Poluianov S.V. et al.// J. Geophys. Res.: Atmos.,2016, vol. 121, pp. 8125.
- - Knudsen M.F. et al // Earth Planet. Sci. Lett. V. 272, P. 319. 2008.
- - Finkel R C and Nishiizumi K J.// Geophys. Res. V.**102,** p. 26699
- Svensson A.,et al., //Clim. Past, 2008, vol. 4, pp. 47–57
- Kudryavtsev I.V. et al// Geomag. and Aeronomy, V. 58. No. 7. P. 925. 2018.
- Kudryavtsev I.V. and Dergachev V.A. // Geomag. and Aeronomy, V. 59. P. 1099. 2019.
- - Kudyavtsev I.V. et al // Geomag. and Aeronomy. V. 56. P. 998. 2016.