

О первой регистрации солнечных нейтрино SNO цикла детектором Борексино

Безруков Л., Заварзина В., Карпиков И, Курлович А,
Межох А., Силаева С., Синев В.

ИЯИ РАН, Москва

Zoom конференция ВККЛ-2020, 29 сентября – 2 октября 2020

Prediction 2015, 2020: Borexino will observe
6 ÷ 9 cpd/100tons as CNO- ν events.
Expected from CNO- ν in SSM is 4.9 cpd/100tons

Geoneutrino and Hydridic Earth model. Version 2. [Leonid Bezrukov](#). INR Preprint:
1378/2014, January 2014, Moscow. [arXiv:1308.4163v2](#) [astro-ph.EP]

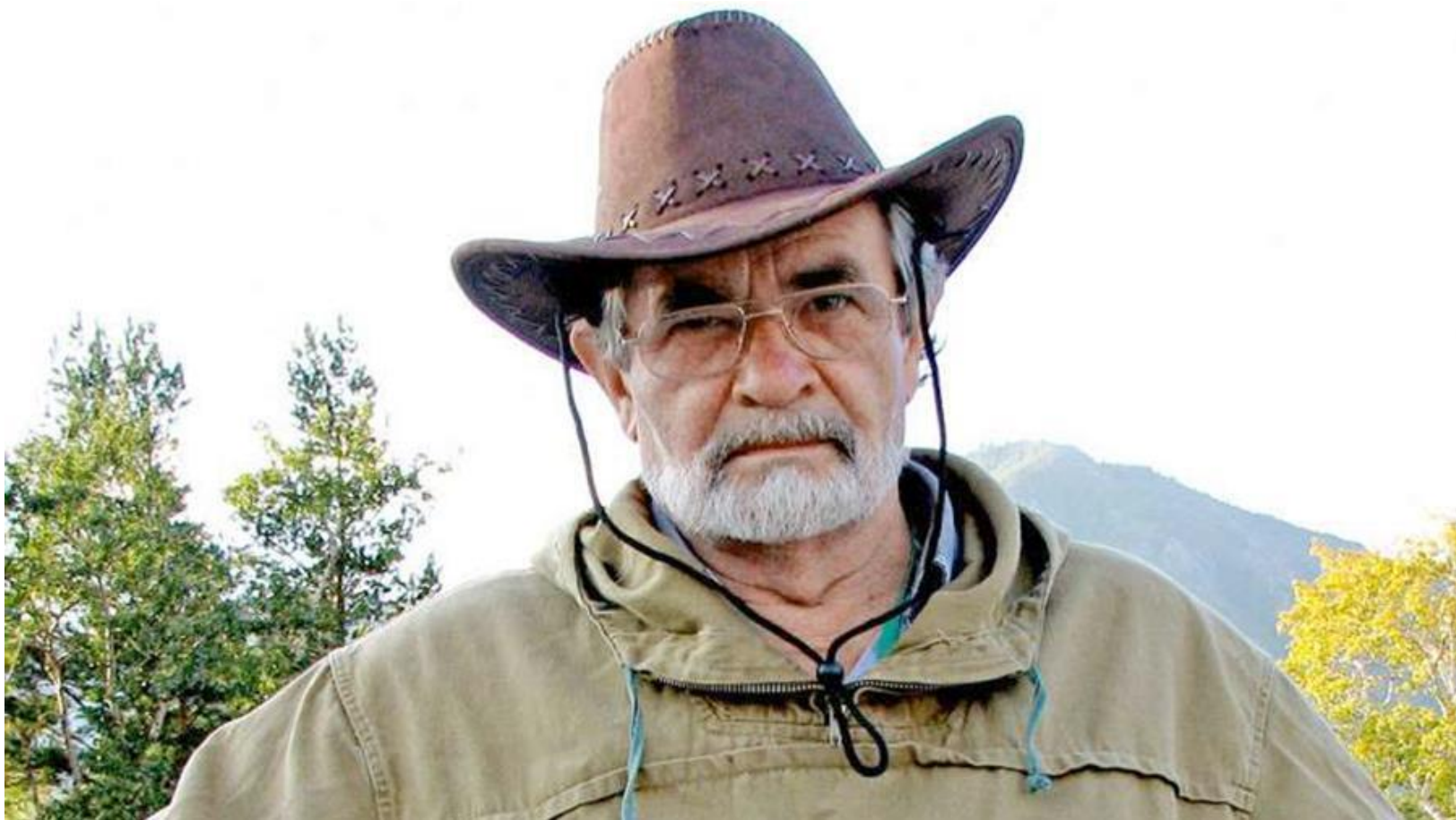
V.V.Sinev, L.B.Bezrukov, E.A.Litvinovich, I.N.Machulin, M.D.Skorokhvatov, S.V.Sukhotin.
Looking for Antineutrino Flux from ^{40}K with Large Liquid Scintillator Detector, Physics of
Particles and Nuclei.46 (2015) 186, doi:10.1134/S1063779615020173;
arXiv:1405.3140 [physics.ins-det].

L.B.Bezrukov, I.S.Karpikov, A.S.Kurlovich, A.K.Mezhokh, S.V.Silaeva, V.V.Sinev, V.P.Zavarzina,
On the contribution of the ^{40}K geo-antineutrino to single Borexino events. (2020)
arXiv:2004.02533v2 [hep-ex]

Владимир Николаевич Ларин

– создатель модели

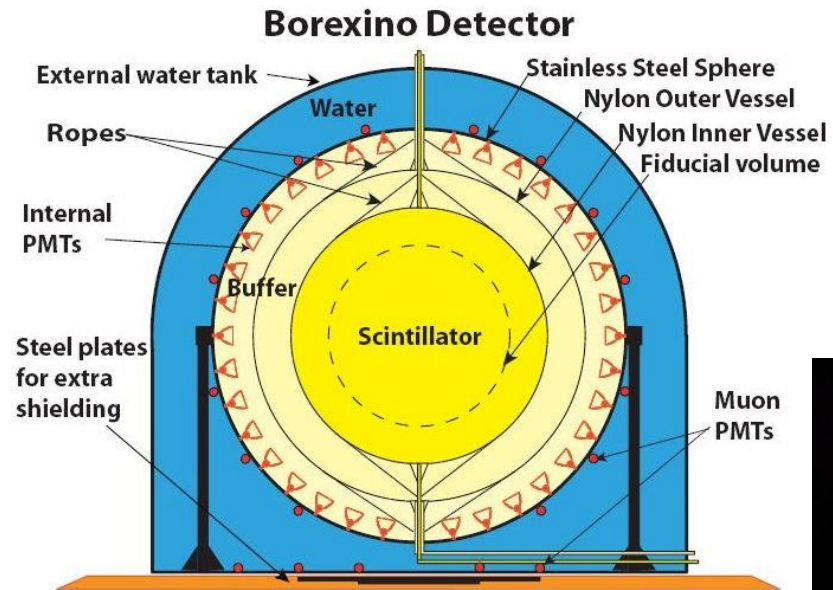
«Изначально богатая водородом Земля» или «Гидридная модель Земли» (HE)



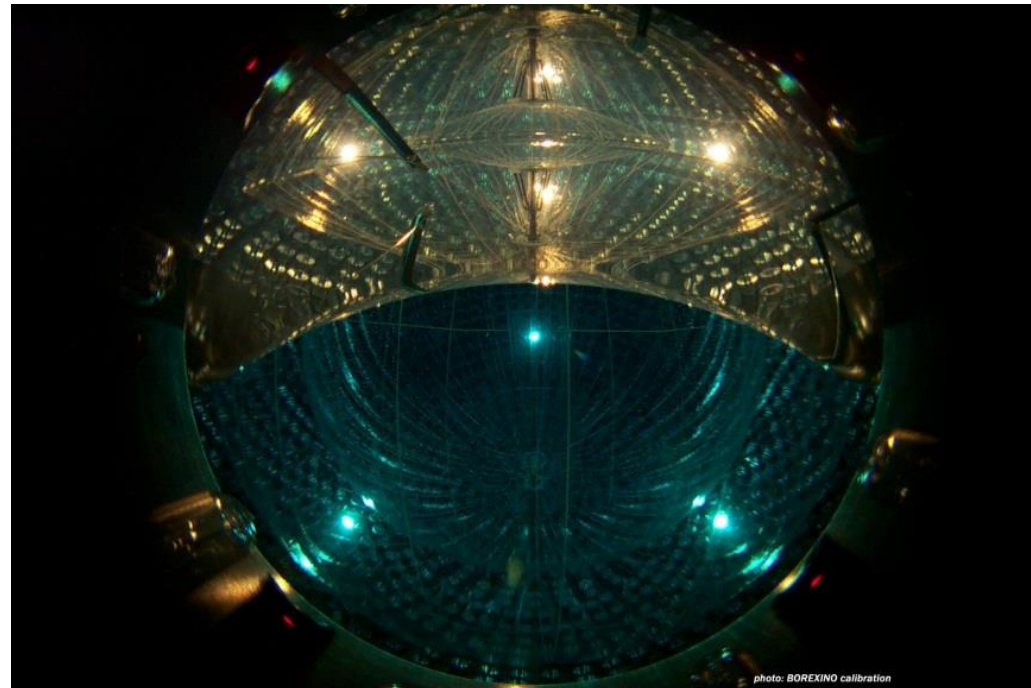
Он выступал в ИЯИ РАН.

Он завещал нам борьбу
за правильную модель
Земли.

Borexino detector

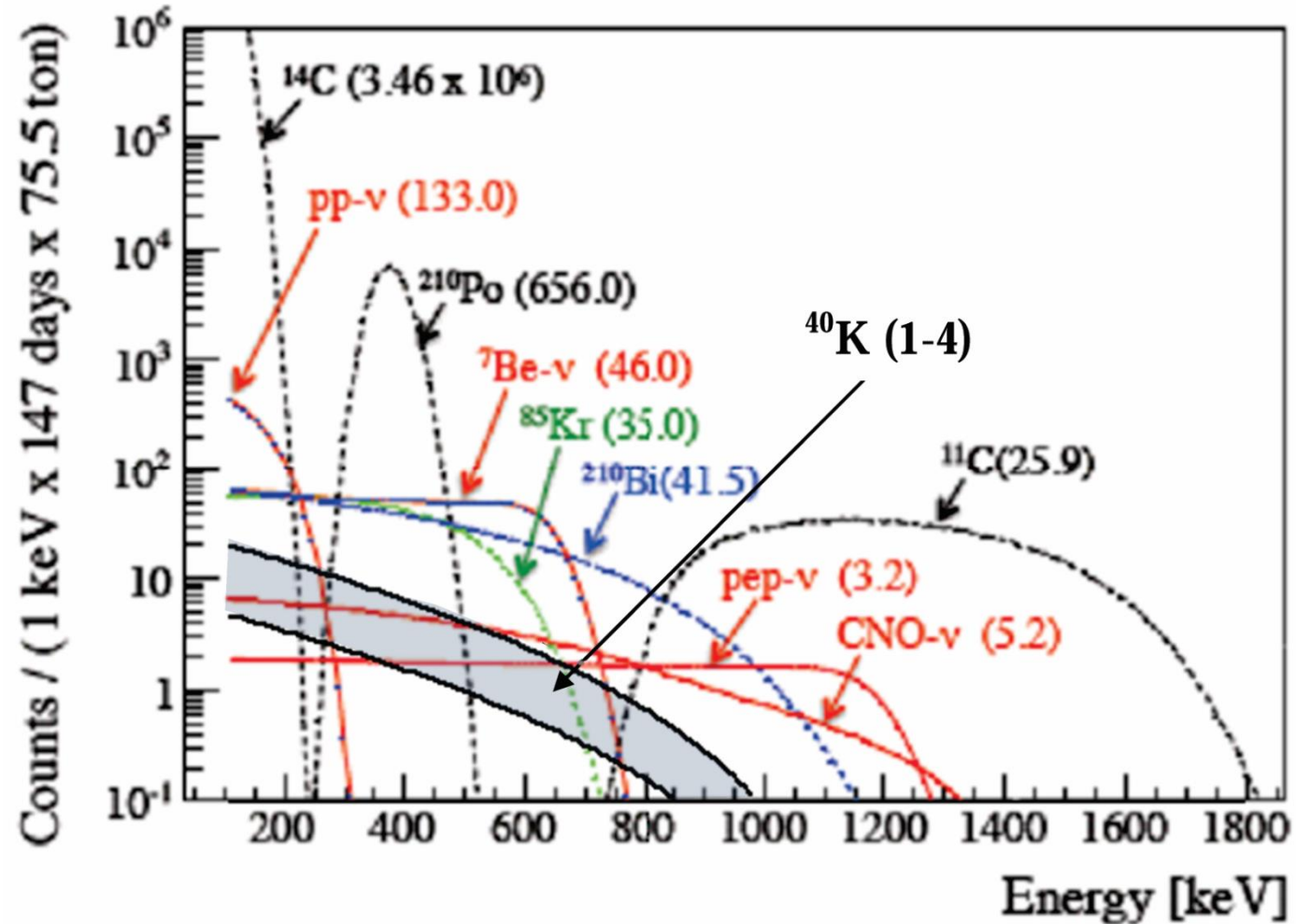


100 t fiducial volume.
Total target mass 300 t.
 $R \sim 4$ events/year



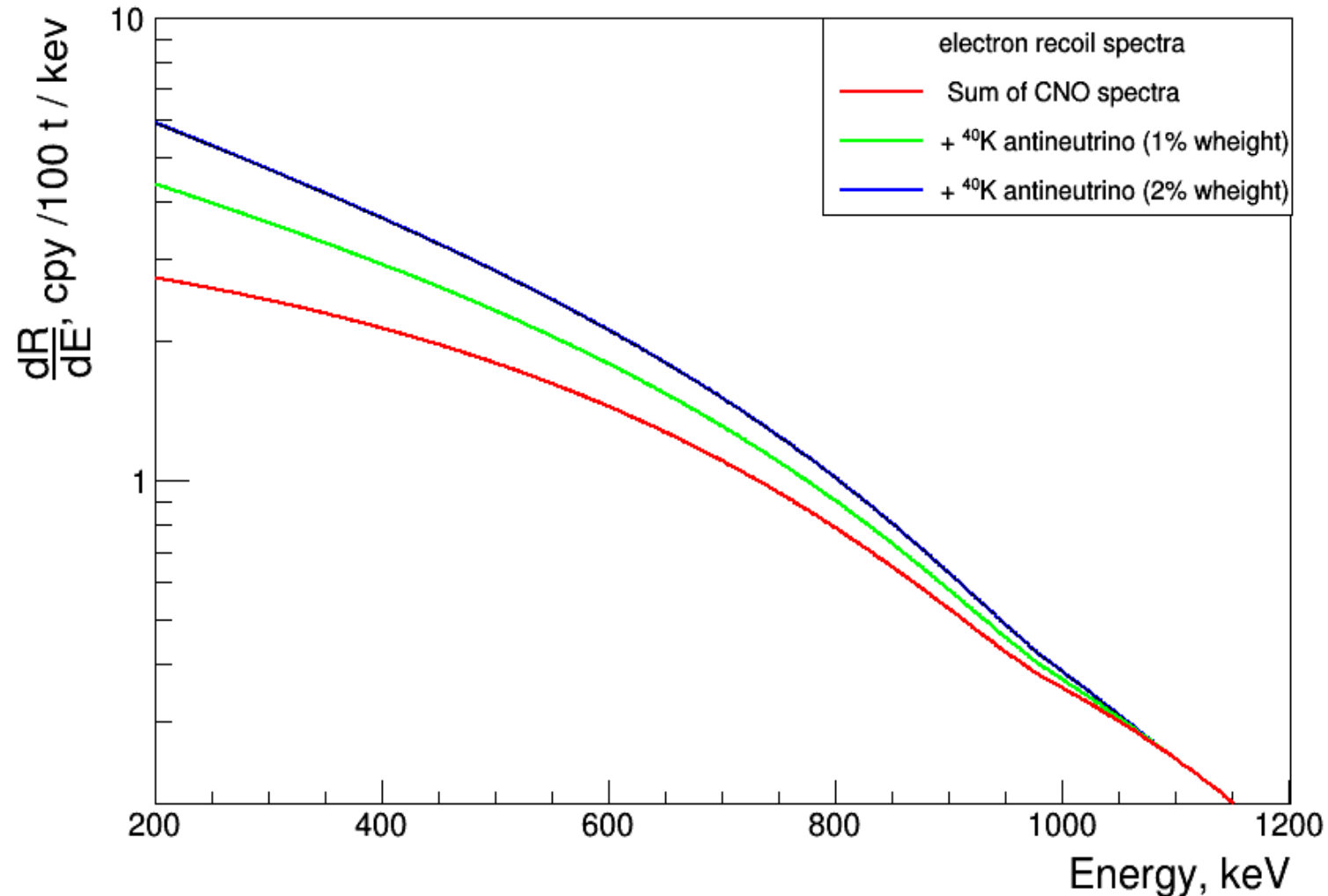
Recoil electron spectrum $R'(E)$ from ^{40}K in BOREXINO.

$$\nu_{\rho} + e \rightarrow \nu_{\rho} + e$$



В скобках – количество событий от источника в день в 100 тоннах.

Prediction: Differential energy spectra of counting rate of recoil electrons from neutrino (antineutrino) scattering on electrons $R'(E)$ in 100 tons of scintillator. From solar CNO - red curve. The sum from solar CNO neutrino and from ^{40}K geo-antineutrino for the concentration of potassium in the modern Earth from 1% to 2% of the Earth mass – green and blue curves. The oscillations were taken into account.



On first detection of solar CNO neutrinos.

[arXiv:2007.07371v2](https://arxiv.org/abs/2007.07371v2) [hep-ex physics.ins-det] On first detection of solar neutrinos from CNO cycle with Borexino. [L. B. Bezrukov](#), [I. S. Karpikov](#), [A. S. Kurlovich](#), [A. K. Mezhokh](#), [S. V. Silaeva](#), [V. V. Sinev](#), [V. P. Zavarzina](#)

Обозначения

- Дифференциальная скорость счёта

$$R'(E) = \frac{dR(E)}{dE}$$

- Интегральная скорость счёта

$$R = \int_0^{\infty} R'(E) dE$$

- Интервальная скорость счёта

$$R(E_{min} + E_{max}) = \int_{E_{min}}^{E_{max}} R'(E) dE$$

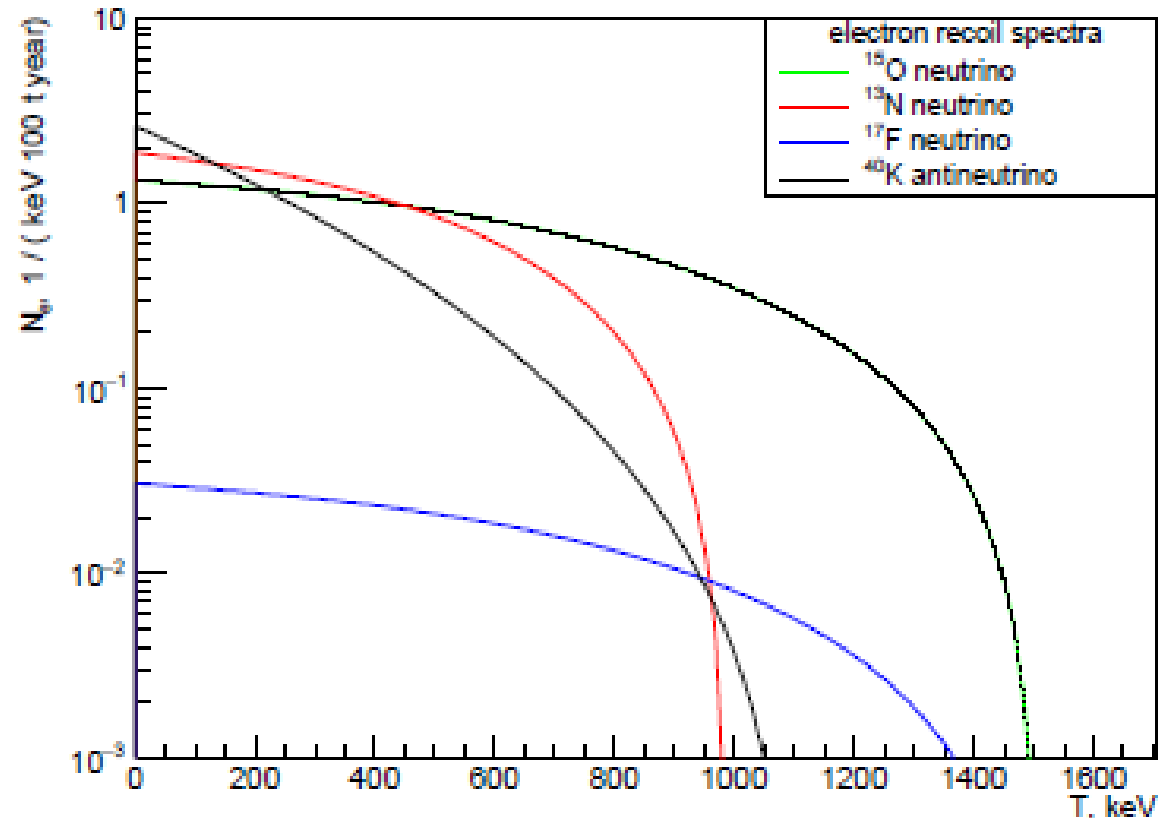
- Эффективная энергия

$$E_{eff} = \frac{\int_{E_{min}}^{E_{max}} E \cdot R'(E) dE}{\int_{E_{min}}^{E_{max}} R'(E) dE}$$

Ожидаемая скорость счёта от CNO событий

- SSM-HM, MSW-LMA

$$R_{CNO} = 4.92 \pm 0.78 \text{ cpd/100 tons} \quad (68\%CL),$$



Borexino Counting Analysis (CA) result

Used energy range: $\Delta E_{CA} = 0.74 \div 0.85$ MeV. $E_{eff} = 0.8$ MeV.

$R_{CA} (0.74 \div 0.85\text{MeV})$ – experimentally attributed as CNO event counting rate

$$R_{CA} \pm \sigma(R_{CA}) = \frac{R_{CA} (0.74 \div 0.85\text{MeV}) \pm \sigma_{CA}}{R_{CNO} (0.74 \div 0.85\text{MeV})} \cdot R_{CNO} = 5.6 \pm 1.6 \text{ cpd}/100 \text{ t}$$

$$R_{CA} (0.74 \div 0.85\text{MeV}) = \frac{R_{CA} R_{CNO} (0.74 \div 0.85\text{MeV})}{R_{CNO}}$$

$$\sigma_{CA} = \frac{\sigma(R_{CA}) R_{CNO} (0.74 \div 0.85\text{MeV})}{R_{CNO}}$$

Borexino Multivariable Fit (MF) result

Used energy range: $\Delta E_{MF} = 0.32 \div 2.64$ MeV. $E_{eff} = 0.56$ MeV.

R_{MF} (0.32 \div 2.64 MeV) – скорость счёта событий, отнесённых к CNO событиям в результате MF

$$R_{MF} \pm \sigma(R_{MF}) = \frac{R_{MF} (0.32 \div 2.64 \text{MeV}) \pm \sigma_{MF}}{R_{CNO} (0.32 \div 2.64 \text{MeV})} \cdot R_{CNO} = 7.2 - 1.7 + 3.0 \text{ cpd}/100 \text{ t}$$

$$R_{MF} (0.32 \div 2.64 \text{MeV}) = \frac{R_{MF} R_{CNO} (0.32 \div 2.64 \text{MeV})}{R_{CNO}}$$

$$\sigma_{MF} = \frac{\sigma(R_{MF}) R_{CNO} (0.32 \div 2.64 \text{MeV})}{R_{CNO}}$$

Выбор наиболее правдоподобной модели. χ тест.

$$\chi_i = \chi_{MF,i} + \chi_{CA,i}$$

$$= \frac{|R_{MF} (0.32 \div 2.64\text{MeV}) - R_{model,i} (0.32 \div 2.64\text{MeV})|}{\sigma_{MF}}$$

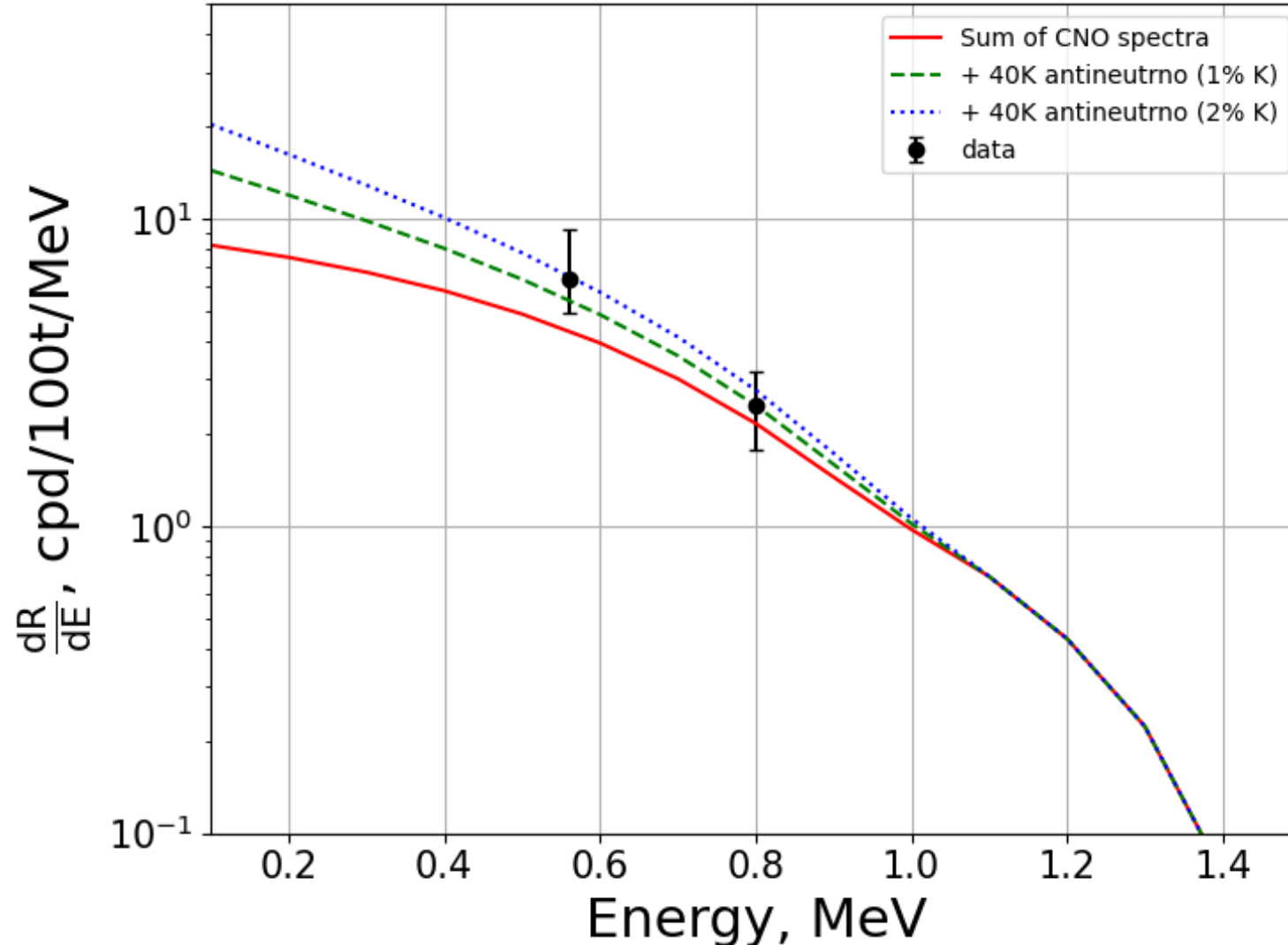
$$+ \frac{|R_{CA} (0.74 \div 0.85\text{MeV}) - R_{model,i} (0.74 \div 0.85\text{MeV})|}{\sigma_{CA}}$$

i	Модель	$\chi_{MF,i} + \chi_{CA,i} = \chi_i$
1	Энергетический спектр CNO, R = 4.9 cpd/100 t	1.33 + 0.44 = 1.77
2	Энергетический спектр CNO, R = 5.6 cpd/100 t	0.94 + 0.0 = 0.94
3	Энергетический спектр CNO, R = 7.2 cpd/100 t	0.0 + 1.0 = 1.0
4	Энергетический спектр CNO + 1%K, R = 7.05 cpd/100 t	0.51 + 0.0 = 0.51
5	Энергетический спектр CNO + 1.5%K, R = 8.1 cpd/100 t	0.11 + 0.22 = 0.33
6	Энергетический спектр CNO + 2%K, R = 9.2 cpd/100 t	0.13 + 0.43 = 0.56

Другое представление результатов,
используя понятие эффективной энергии

- $R'_{CA}(0.8 \text{ MeV}) \pm \sigma(R'_{CA}) = \frac{R_{CA} \pm \sigma(R_{CA})}{R_{CNO}} R'_{CNO}(0.8 \text{ MeV})$
- $R'_{MF}(0.56 \text{ MeV}) \pm \sigma(R'_{MF}) = \frac{R_{MF} \pm \sigma(R_{MF})}{R_{CNO}} R'_{CNO}(0.56 \text{ MeV})$

Энергетический спектр электронов отдачи при рассеянии нейтрино (или антинейтрино) на электронах сцинтиллятора $R'(E)$ в детекторе Borexino. Красным – солнечные CNO нейтрино, зелёным и синим – CNO нейтрино + ^{40}K гео-антинейтрино. Точки – результат эксперимента.



Результат нашего анализа полученной скорости счёта CNO подобных событий в детекторе BOREXINO

Наиболее правдоподобной моделью является наличие дополнительных событий к событиям от взаимодействия CNO нейтрино.

Источником этих событий являются гео-антинейтрино от распада ^{40}K . Наиболее вероятное содержание калия в Земле составило 1,5% от массы Земли.

Такую концентрацию калия в Земле предсказывает модель «Богатая водородом Земля». Заметим, что в общепринятой модели Земли (Силикатная Земля, BSE) в коре Земли содержится 1,5% калия от массы коры.

Conclusion.

- We propose the most probable interpretation of CNO Borexino results as the existence of new source of single events with more soft energy spectrum comparing CNO energy spectrum.
- We propose to consider the scattering of ^{40}K geo-antineutrinos by electrons as new source of single Borexino events predicted by Hydridic Earth model.
- We propose to include the scattering of ^{40}K geo-antineutrinos by electrons in the analysis of single event energy spectrum of Borexino detector with the intensity of ^{40}K geo-antineutrinos flux as a free parameter.

Связь потоков гео-антинейтрино с внутренним теплом Земли.

- ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K decays in the Earth body are the source of heat and geoneutrinos.
- $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51,7 \text{ MeV} (47,7)$
- $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42,7 \text{ MeV} (40,4)$
- $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \tilde{\nu}_e + 1.31 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,893$
 $\rightarrow ^{40}\text{Ar} + \gamma + \nu_e + 1.51 \text{ MeV} \quad \text{prob.} 0,1066$

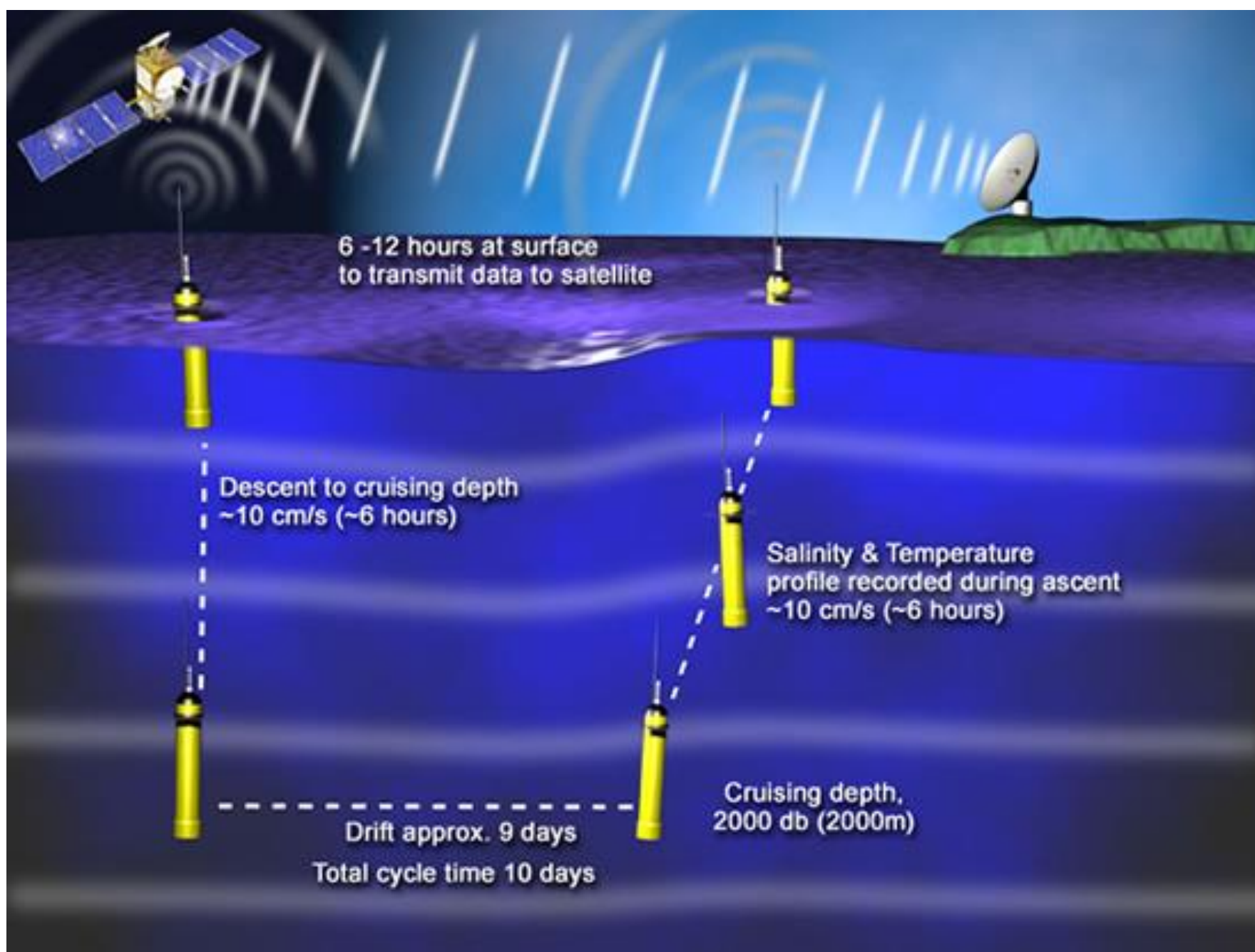
HE модель: $H_U + H_{\text{Th}} \approx 40 \text{ TW}$, $1\% \div 1.5\% \rightarrow H_K = 177 \div 265 \text{ TW}$.

BSE модель: $H_U + H_{\text{Th}} \approx 20 \text{ TW}$, $H_K \approx 4 \text{ TW}$.

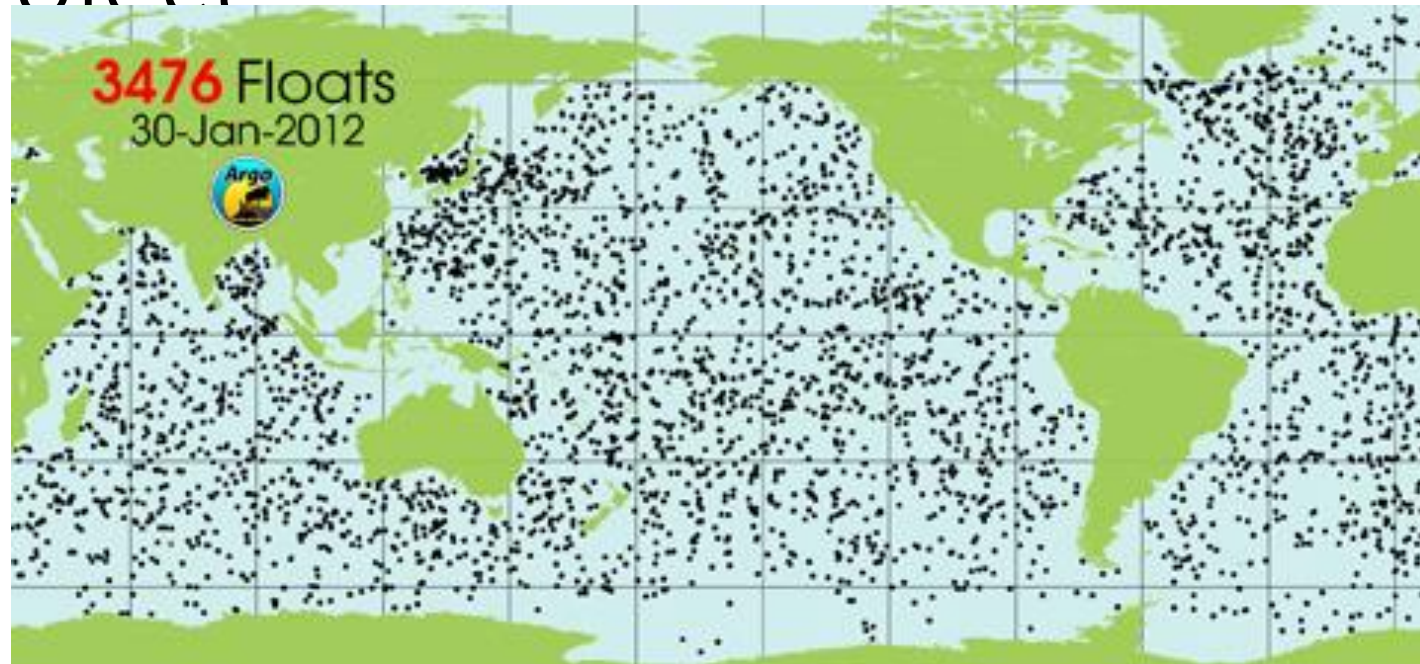
В гео-науку внедрён результат усреднения измерения потока внутреннего тепла Земли: $47 \pm 2 \text{ TW}$.

ARGO PROJECT: Global array of free-drifting profiling floats that will measure the temperature of the upper 2000 m of the ocean in real-time





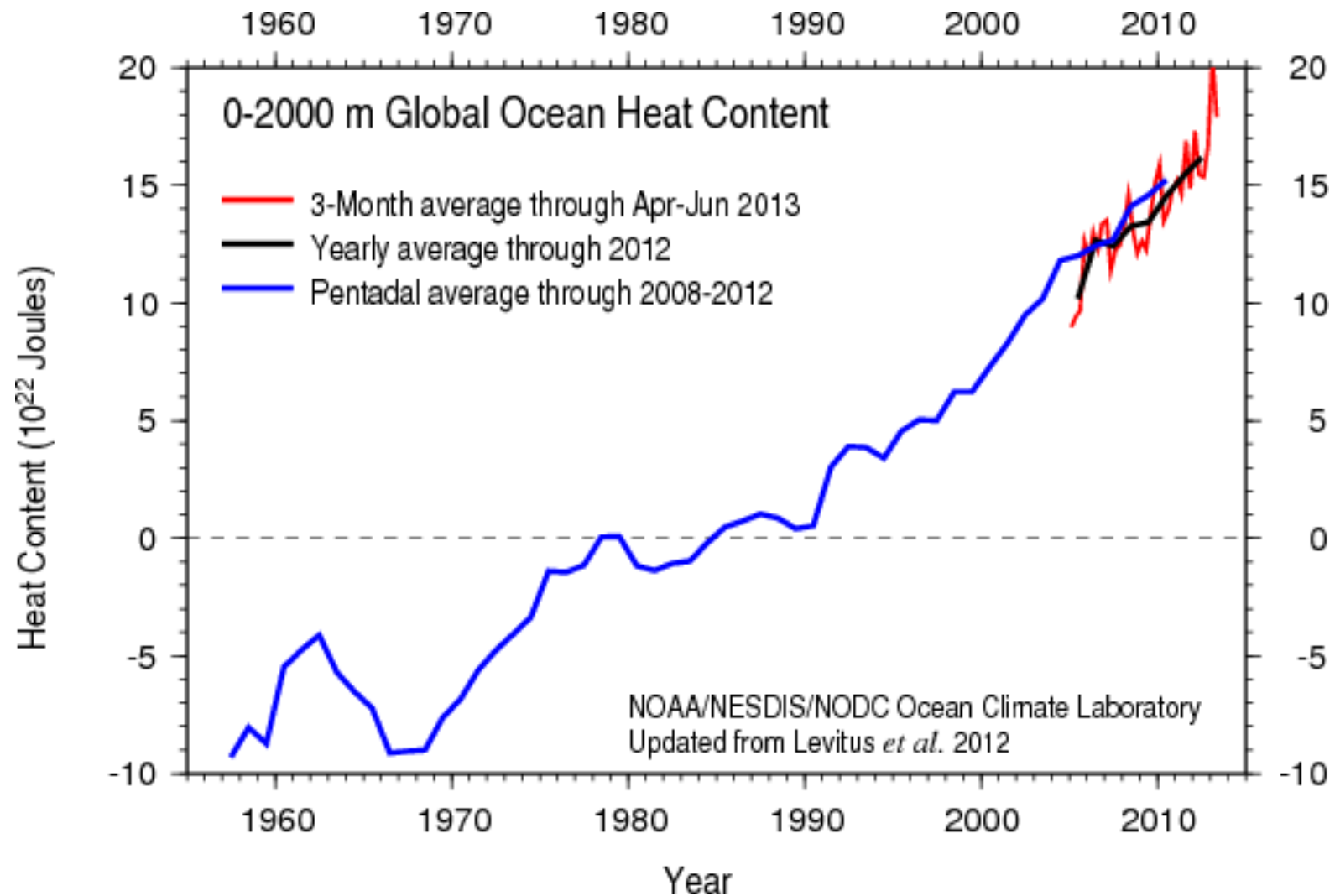
Argo Project



Positions of the floats that have delivered data within the last 30 days : 3476 Floats

$$H = \rho c_p \int_{h_2}^{h_1} T(z) dz$$

ρ - water density, c_p - sea water specific heat capacity,
 h_2 - bottom depth, h_1 - top depth, $T(z)$ - temperature profile.



Earth's energy imbalance

Atmos. Chem. Phys., 11, 13421-13449, 2011

www.atmos-chem-phys.net/11/13421/2011/

- **J. Hansen^{1,2}, M. Sato^{1,2}, P. Kharecha^{1,2}, and K. von Schuckmann³**

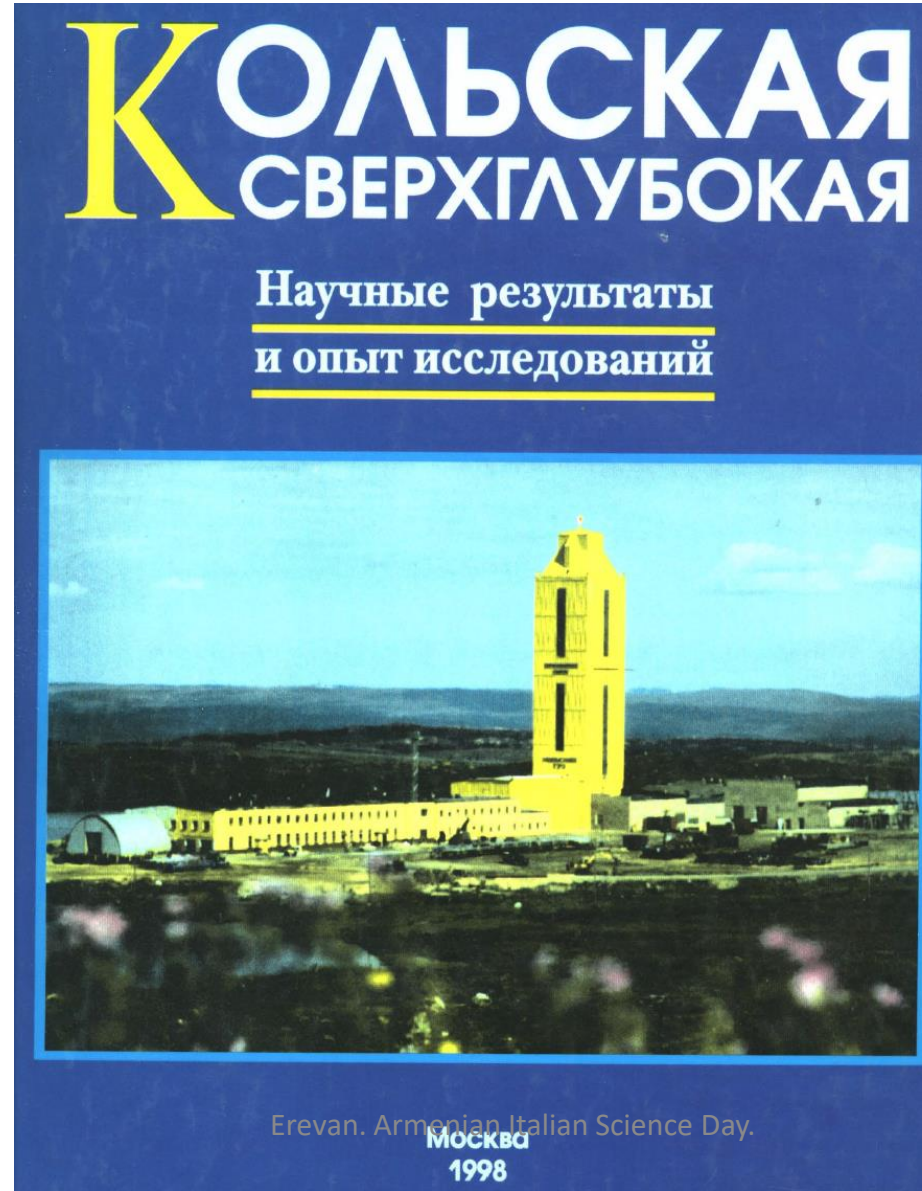
¹NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, NY 10025, USA

²Columbia University Earth Institute, New York, NY 10027, USA

³Centre National de la Recherche Scientifique, LOCEAN Paris, hosted by Ifremer, Brest, France

- Improving observations of ocean heat content show that Earth is absorbing more energy from the Sun than it is radiating to space as heat, even during the recent solar minimum. The inferred planetary energy imbalance is $0.58 \pm 0.15 \text{ W m}^{-2}$ during the 6-yr period 2005–2010
- $H_{\text{Earth}} = 0,58 \text{ W m}^{-2} \cdot 5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 = 3 \cdot 10^{14} \text{ W} = 300 \pm 76 \text{ TW}$

Kola (Russia) Superdeep Borehole



BSE & HE models

1. Мы научились отвечать на все критические вопросы в отношении HE модели.
2. Мы нашли явление – земная кора заряжена положительно, которое предсказано HE моделью, но не предсказывается BSE моделью.
3. Мы обнаружили это явление.

В настоящий момент мы уверены в справедливости HE модели.

Дополнительные Ссылки на наши работы по геонейтрино и тепловому потоку из Земли.

- [Study of Earth's Heat Flux by Means of Geoneutrino Detection](#).
[I.R. Barabanov](#), [L.B. Bezrukov](#), [V.P. Zavarzina](#) et al. Phys.Atom.Nucl. 82 (2019) no.1, 8-12
DOI: [10.1134/S1063778819010034](#)
- Geo-Neutrinos and the Earth's Internal Heat Flux. Bezrukov, L.B., Kurlovich, A.S., Lubsandorzhev, B.K. et al. Phys. Part. Nuclei (2018) 49: 674. <https://doi.org/10.1134/S1063779618040135> *Original Russian Text © L.B. Bezrukov, A.S. Kurlovich, B.K. Lubsandorzhev et al. Fizika Elementarnykh Chastits i Atomnogo Yadra, 2018, Vol. 49, No. 4.*
- L. B. Bezrukov, A. S. Kurlovich, B. K. Lubsandorzhev et al. Geo-neutrino, Earth heat flux, Earth electricity. EPJ Web of Conferences 191, 03005 (2018). *QUARKS-2018*
- [How Geoneutrinos can help in understanding of the Earth heat flux](#)
[L.B. Bezrukov](#), [A.S. Kurlovich](#), [B.K. Lubsandorzhev](#) et al. J.Phys.Conf.Ser. 934 (2017) no.1, 012011.
DOI: [10.1088/1742-6596/934/1/012011](#). Conference: [C17-10-02.2 Proceedings](#)