Новое видение проблемы теплового потока Земли.

Л.Безруков, В.Заварзина, А.Курлович, Б.Лубсандоржиев, А.Межох, В.Синёв
ИЯИ РАН

В.Моргалюк
ИНЭОС РАН

Доклад на семинаре ОЭФ ИЯИ РАН, 12 мая 2016

Intrinsic Earth heat + Geoneutrinos

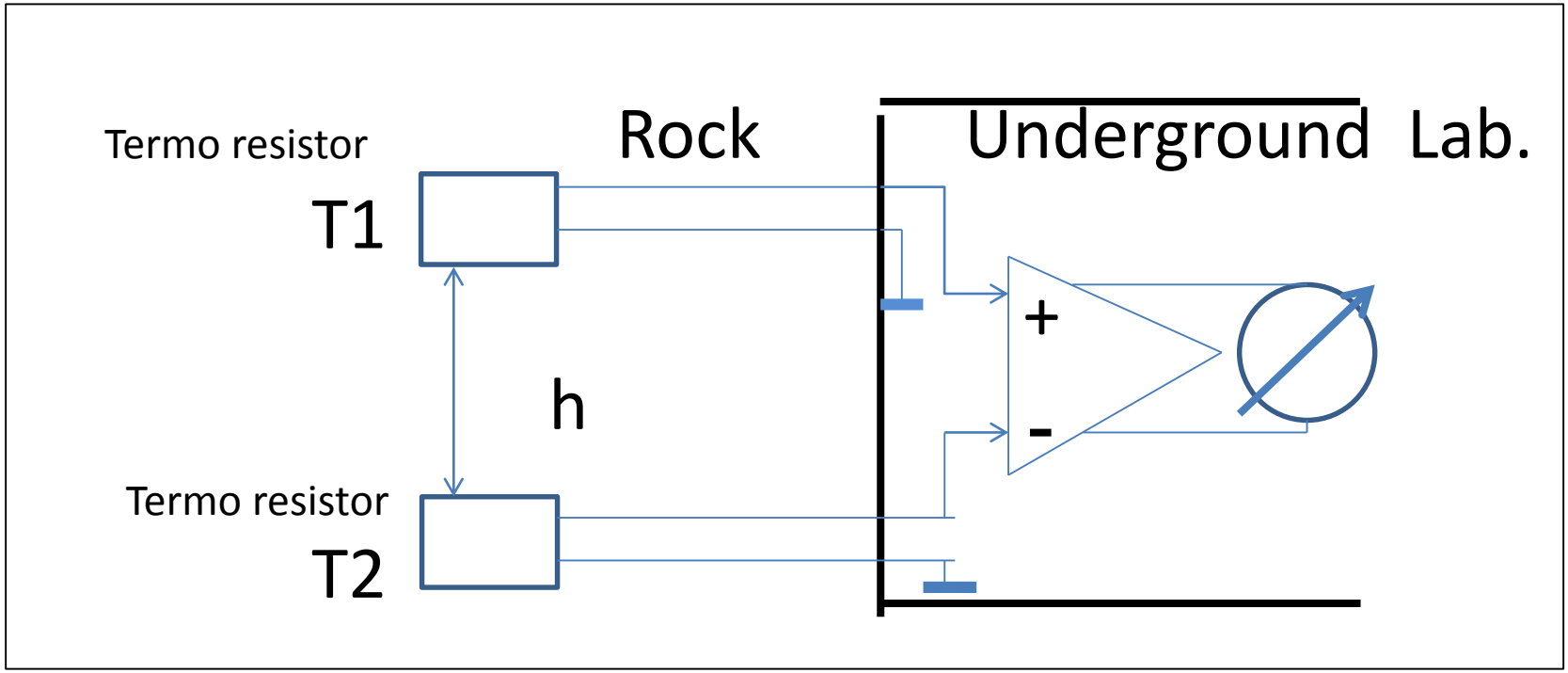
- ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K decays in the Earth body are the source of heat and geoneutrinos.

- $^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51{,}7$ MeV (47,7)
- $^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42{,}8$ MeV(40,4)
- $^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + e + \tilde{\nu}_e + 1.32$ MeV(0,598)prob.0,89

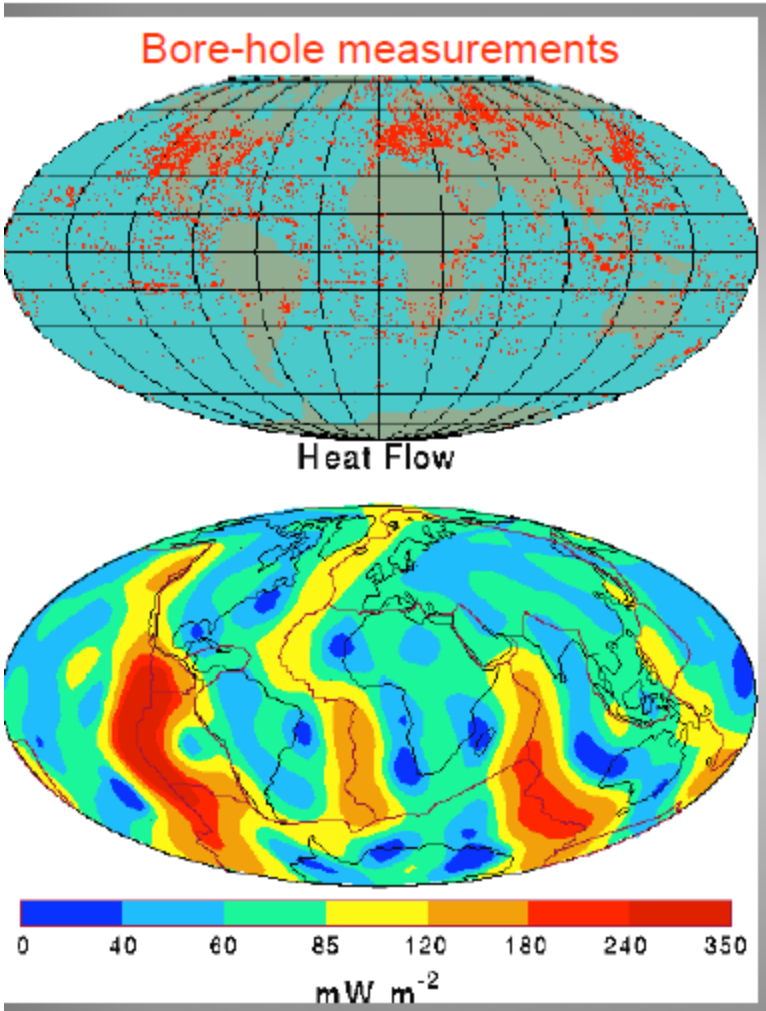
  $\rightarrow {}^{40}Ar + \Upsilon + \nu_e + 1.5$ Mev (1.46) prob.0,1066

  H_{earth} = (BSE model) = 20 TW

Conductive Heat Flux: $F = æ\Delta T/h$



Surface heat flux



Global Heat Flow Data (Pollack *et al.*)

- Conductive heat flow from bore-hole temperature gradient;
- **Total surface heat flux:**
  31 ± 1 TW (Hofmeister&Criss 2005)
  46 ± 3 TW (Jaupart et all 2007)
  47 ± 2 TW (Davis&Davies 2010)

(same data, different analysis)

SYSTEMATIC ERRORS

Different assumptions concerning the role of fluids in the zones of mid ocean ridges.

The way of heat transfer in HE model

- Силан - SiH_4 - газ от -112 до 450 °C

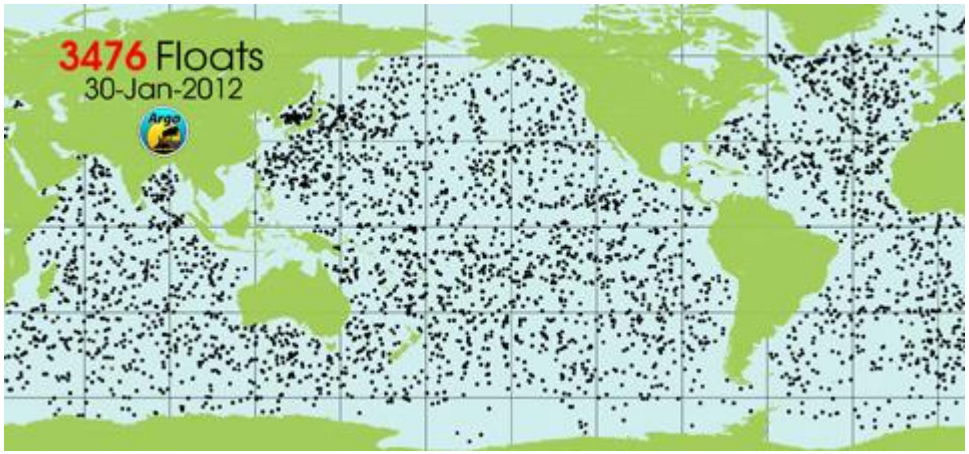
$Mg_2Si + 4H^+ = 2Mg^{2+} + SiH_4 \uparrow - Q$

$SiH_4 + 2H_2O = SiO_2 + 4H_2 \uparrow + Q$

Силан слабо растворим в воде и реакция разложения при нормальных условиях идёт медленно – 20% в сутки от исходного количества SiH_4.

Примерно 90% избыточного тепла Земля накапливает в океанах. Потому именно океанические исследования являются решающими для уточнения моделей грядущих перемен климата (фото Argo Project).

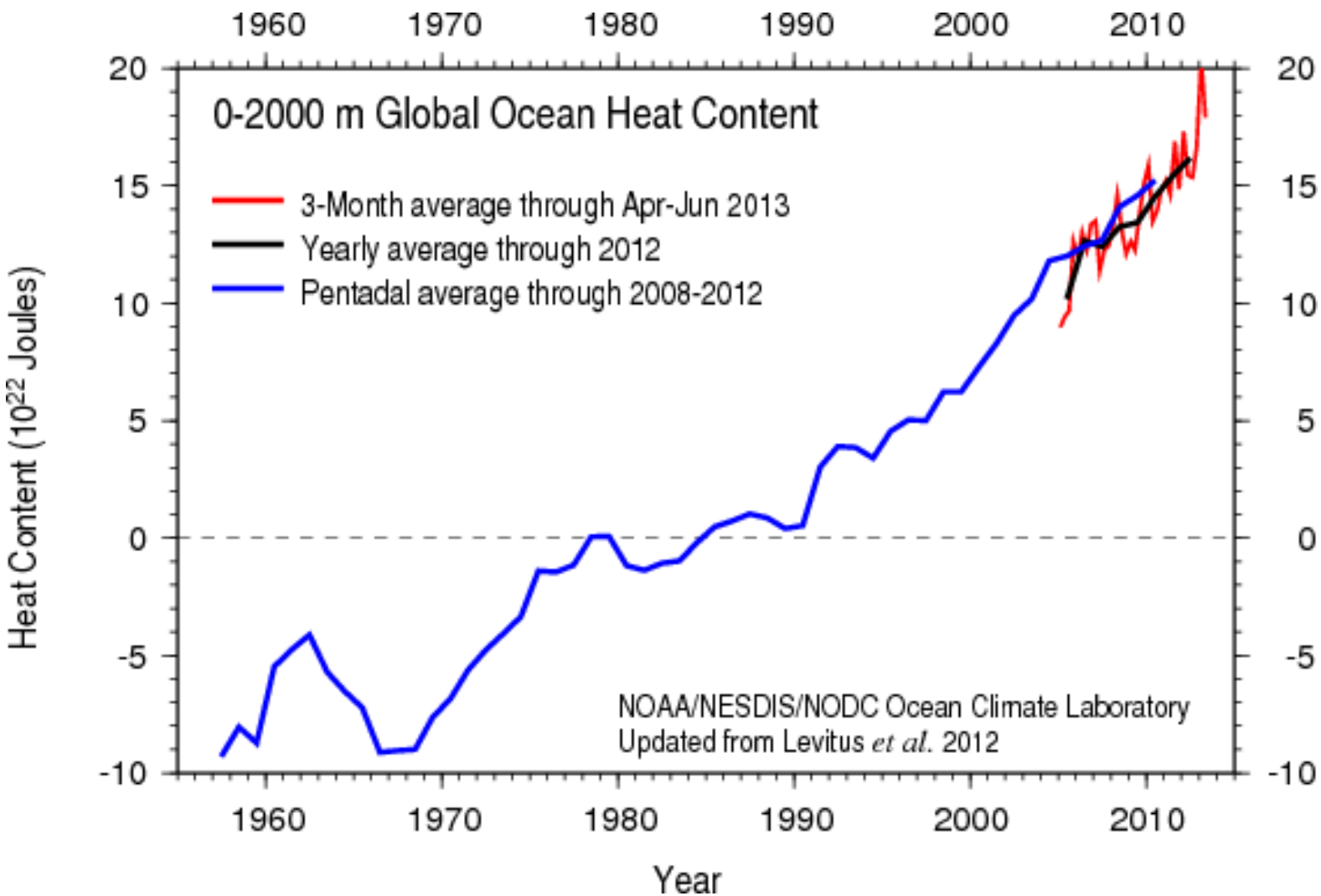
Argo Project

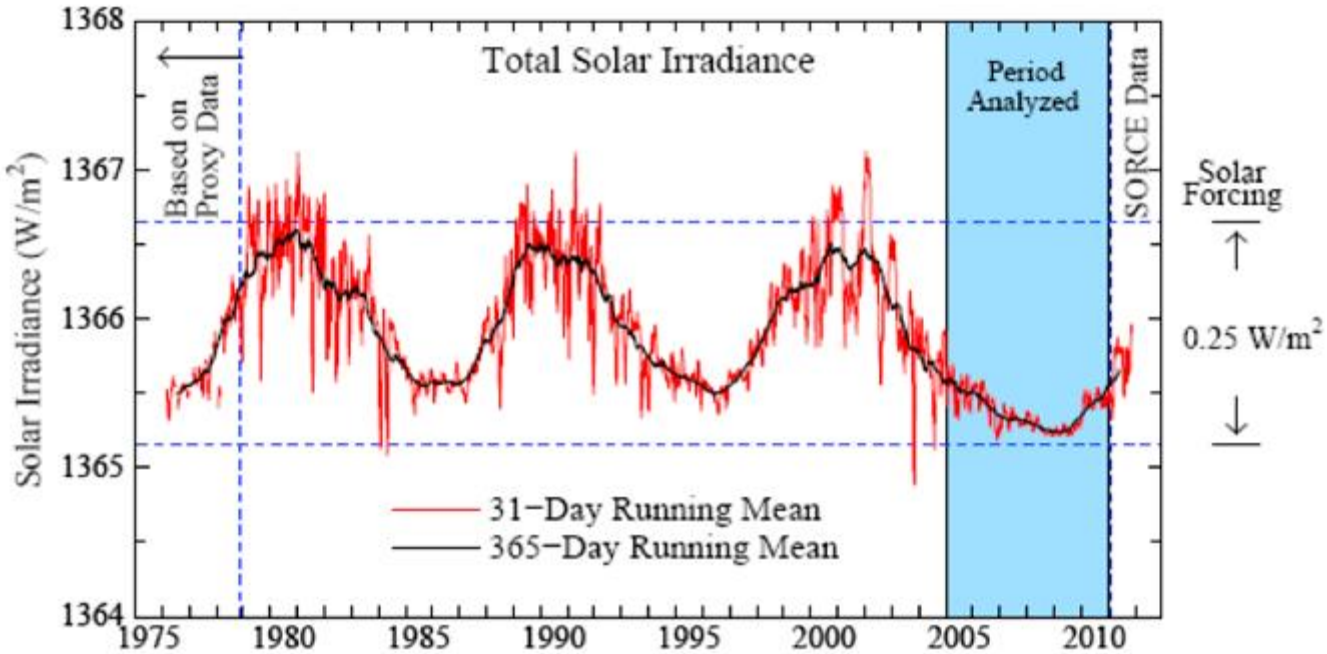


Глобальный охват сети буйков проекта Argo. На данный момент в Мировом океане плавает 3476 аппаратов этой системы мониторинга. Один из таких буёв был показан на предыдущем снимке .

$$H = \rho c_p \int_{h2}^{h1} T(z)dz$$

ρ - water density, Cp- sea water specific heat capacity, h2 - bottom depth, h1 - top depth, T(z)- temperature profile.





- ***A graph of the sun's total solar irradiance shows that in recent years irradiance dipped to the lowest levels recorded during the satellite era. The resulting reduction in the amount of solar energy available to affect Earth's climate was about .25 watts per square meter, less than half of Earth's total energy imbalance.***

Earth's energy imbalance

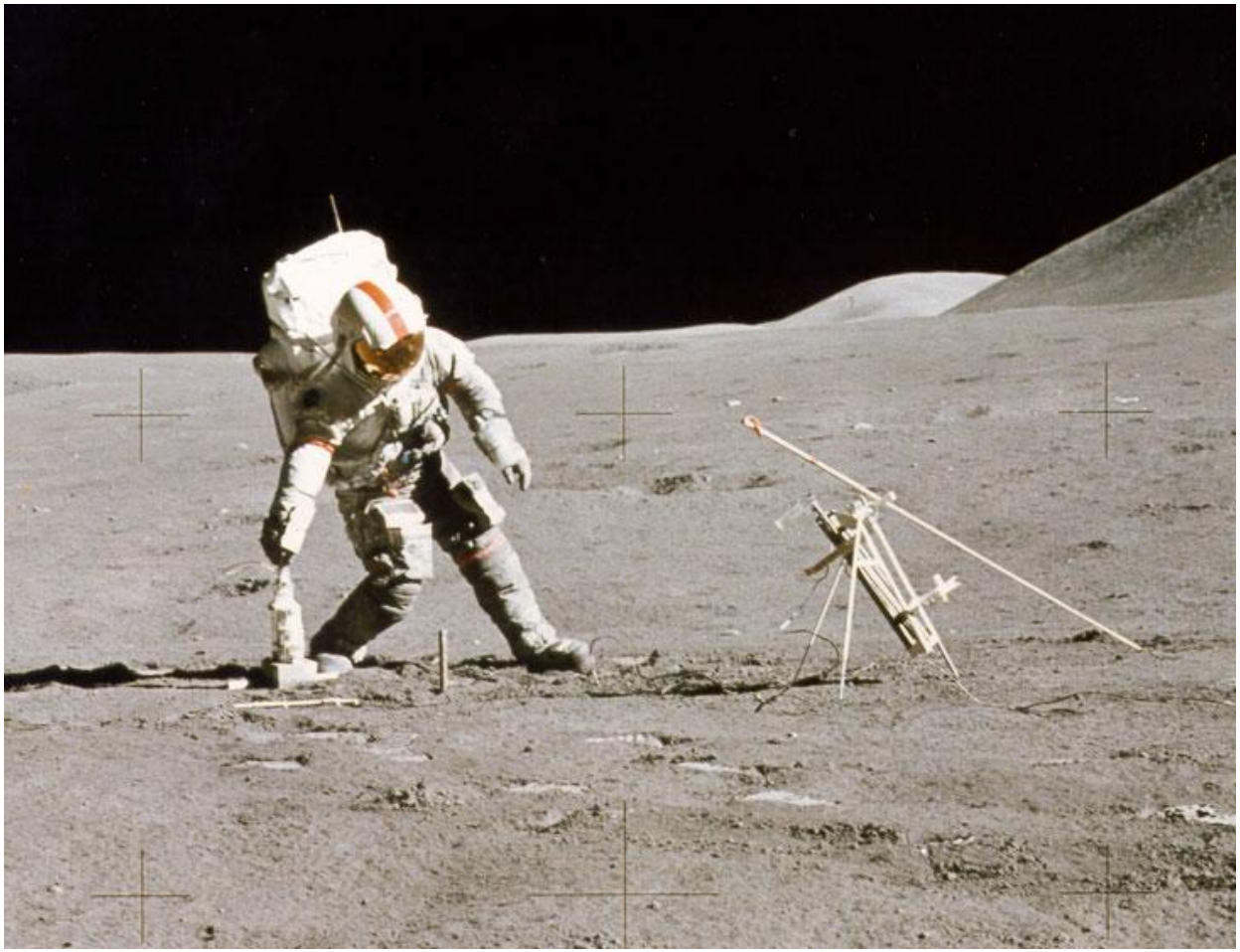
Atmos. Chem. Phys., 11, 13421-13449, 2011
www.atmos-chem-phys.net/11/13421/2011/

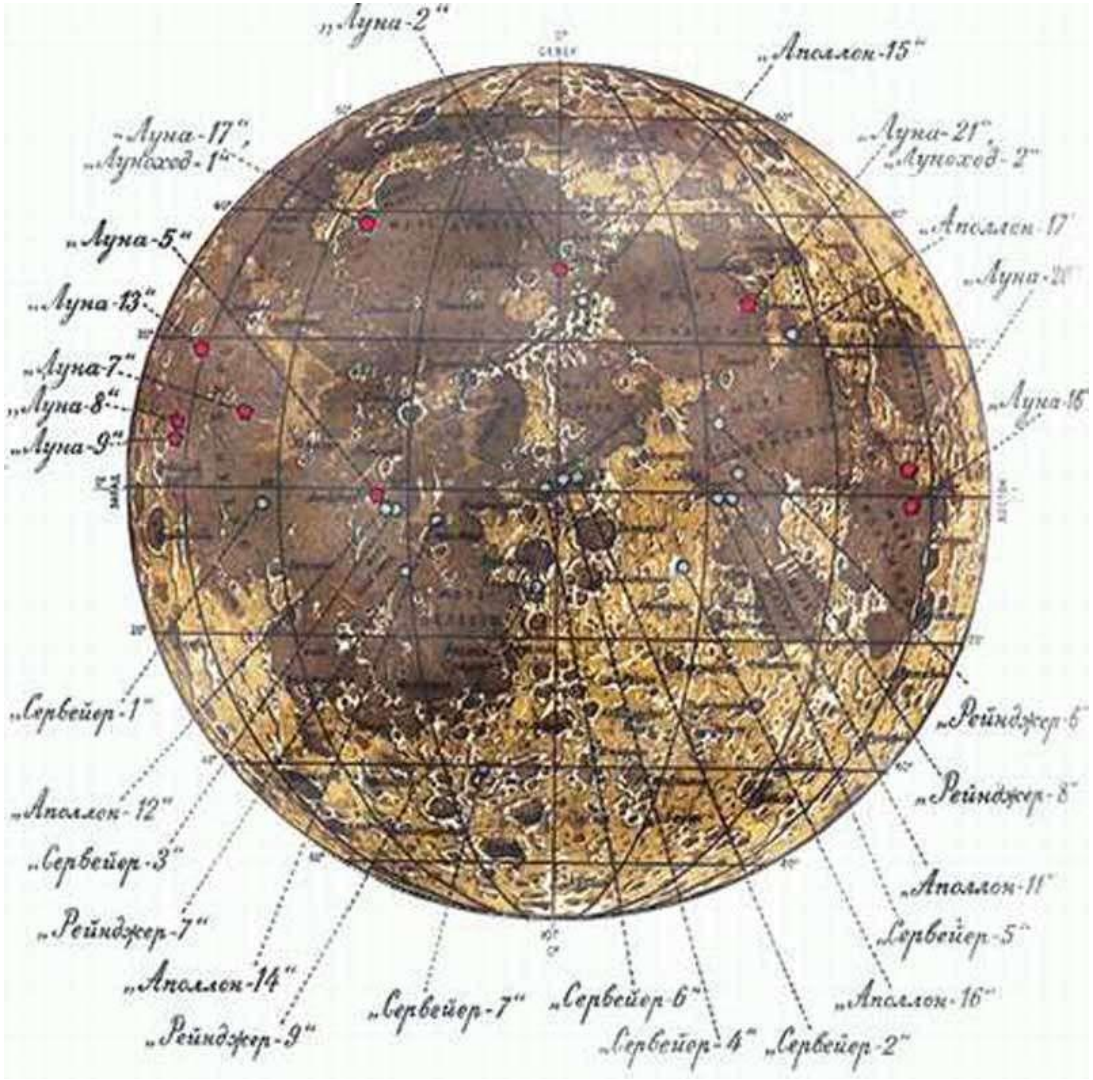
- **J. Hansen[1,2], M. Sato[1,2], P. Kharecha[1,2], and K. von Schuckmann[3]**
  [1]NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, NY 10025, USA
  [2]Columbia University Earth Institute, New York, NY 10027, USA
  [3]Centre National de la Recherche Scientifique, LOCEAN Paris, hosted by Ifremer, Brest, 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 ± 0.15 W m^{-2} during the 6-yr period 2005–2010
- $H_{Earth} = 0{,}58 \text{ W m}^{-2} \cdot 5{,}1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 = 3 \cdot 10^{14} \text{ W} = 300 \pm 76 \text{ TW}$

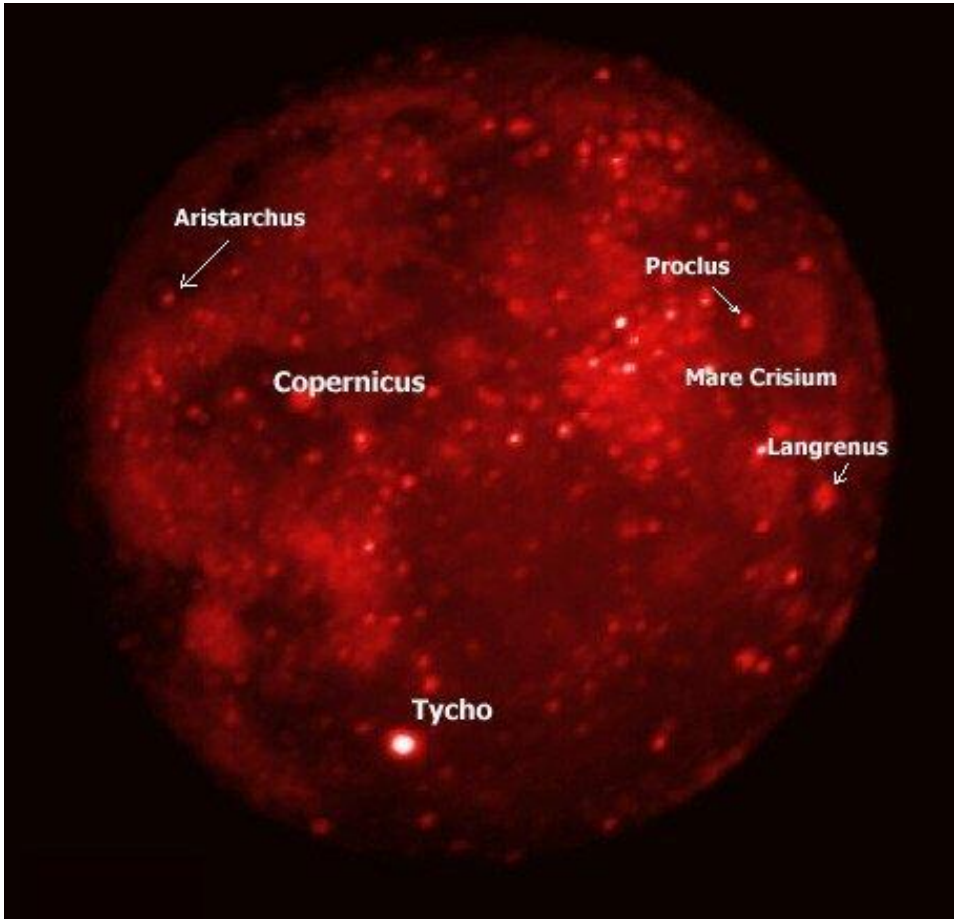
При условии, что элементный состав Луны и Земли одинаков, тепловой поток на Земле:

$$H_{Earth} = H_{Moon} \cdot M_{Earth} / M_{Moon}$$

Photo of the Apollo 15 CDR setting up a deep drill. Drilling and extraction on the moon was very difficult and must have caused significant heating. Unless dark drill segments were immediately placed in the shade they would have been substantially heated. NASA photo AS15-87-11847.



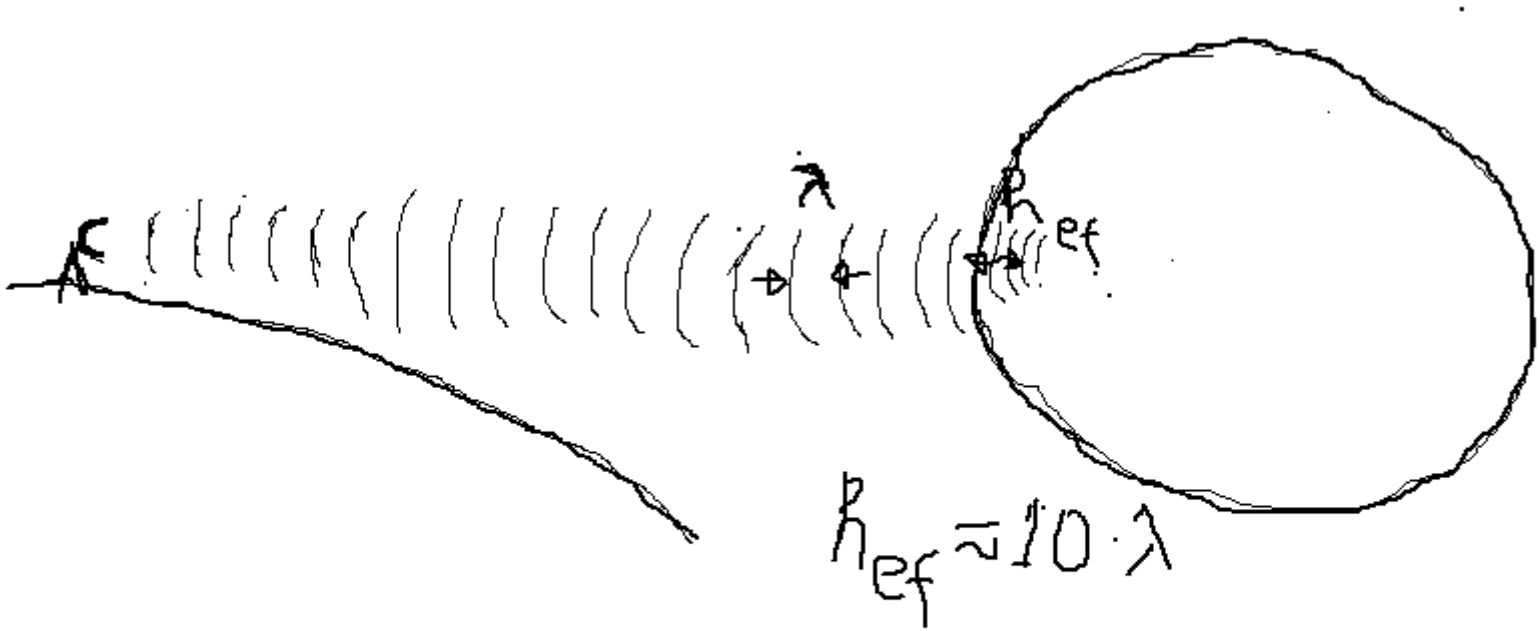

„Луна-2"
„Аполлон-15"
„Луна-17",
„Луноход-1"
„Луна-21",
„Луноход-2"
„Луна-5"
„Аполлон-17"
„Луна-13"
„Луна-7"
„Луна-8"
„Луна-9"
„Луна-15"
„Сервейер-1"
„Рейнджер-6"
„Аполлон-12"
„Рейнджер-8"
„Сервейер-3"
„Аполлон-11"
„Рейнджер-7"
„Сервейер-5"
„Аполлон-14"
„Сервейер-7"
„Сервейер-6"
„Аполлон-16"
„Рейнджер-9"
„Сервейер-4"
„Сервейер-2"


Aristarchus
Proclus
Copernicus
Mare Crisium
Langrenus
Tycho

Apollo 15, Apollo 17

$$H_{Earth} = H_{Moon} \cdot M_{Earth} / M_{Moon} = 43 - 65 \text{ TW}$$

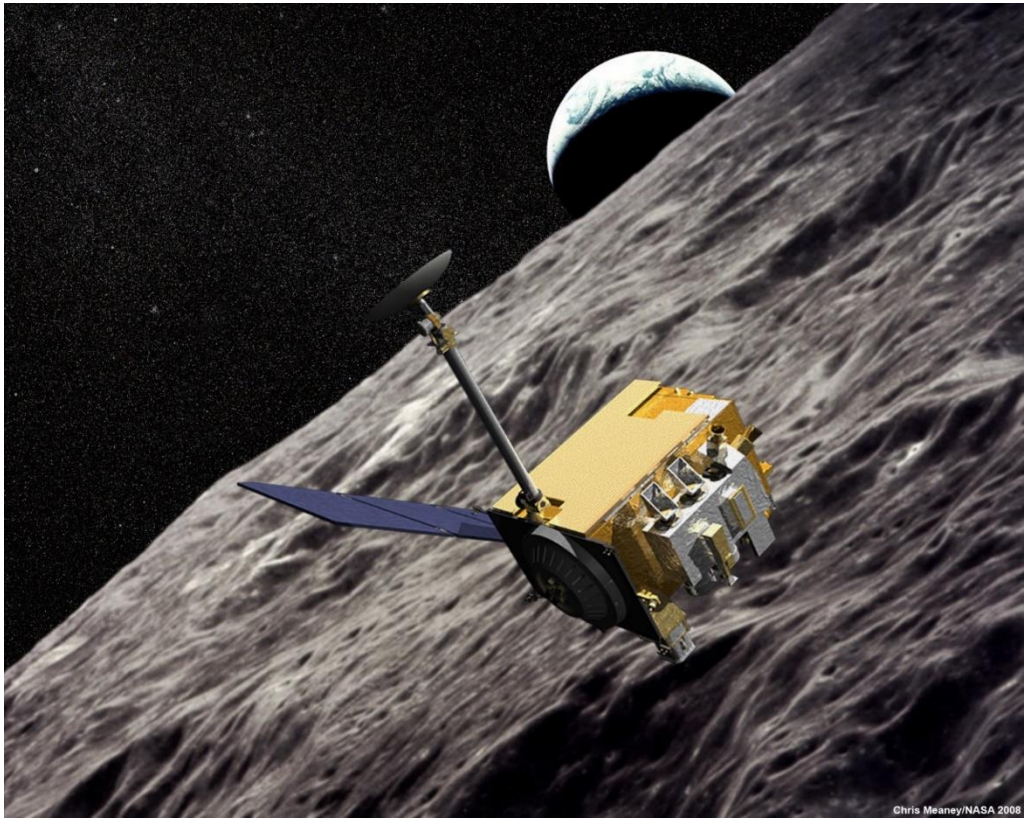
Эффективная глубина излучения радиоволны теплового спектра из реголита Луны



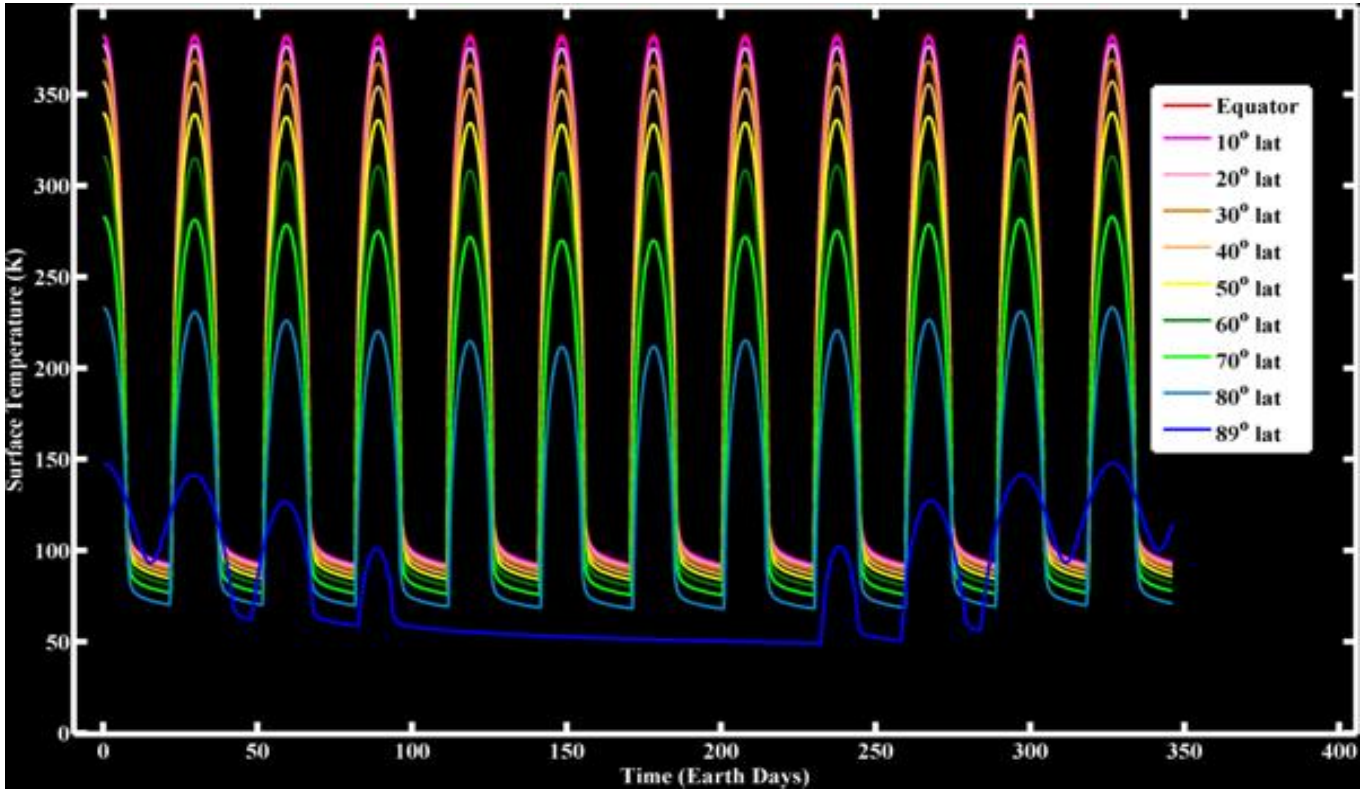
Krotikov V.D., Troitskyi V.S. Radio emission and nature of the Moon. Soviet Phys. Uspekhi. 1964. V.6. pp841-871.

- $\lambda_1 = 10$ см, $\lambda_2 = 20$ см
- $H_{Earth} = H_{Moon} \cdot M_{Earth} / M_{Moon} = 170$ TW

Lunar Reconnaissance Orbiter. 2009

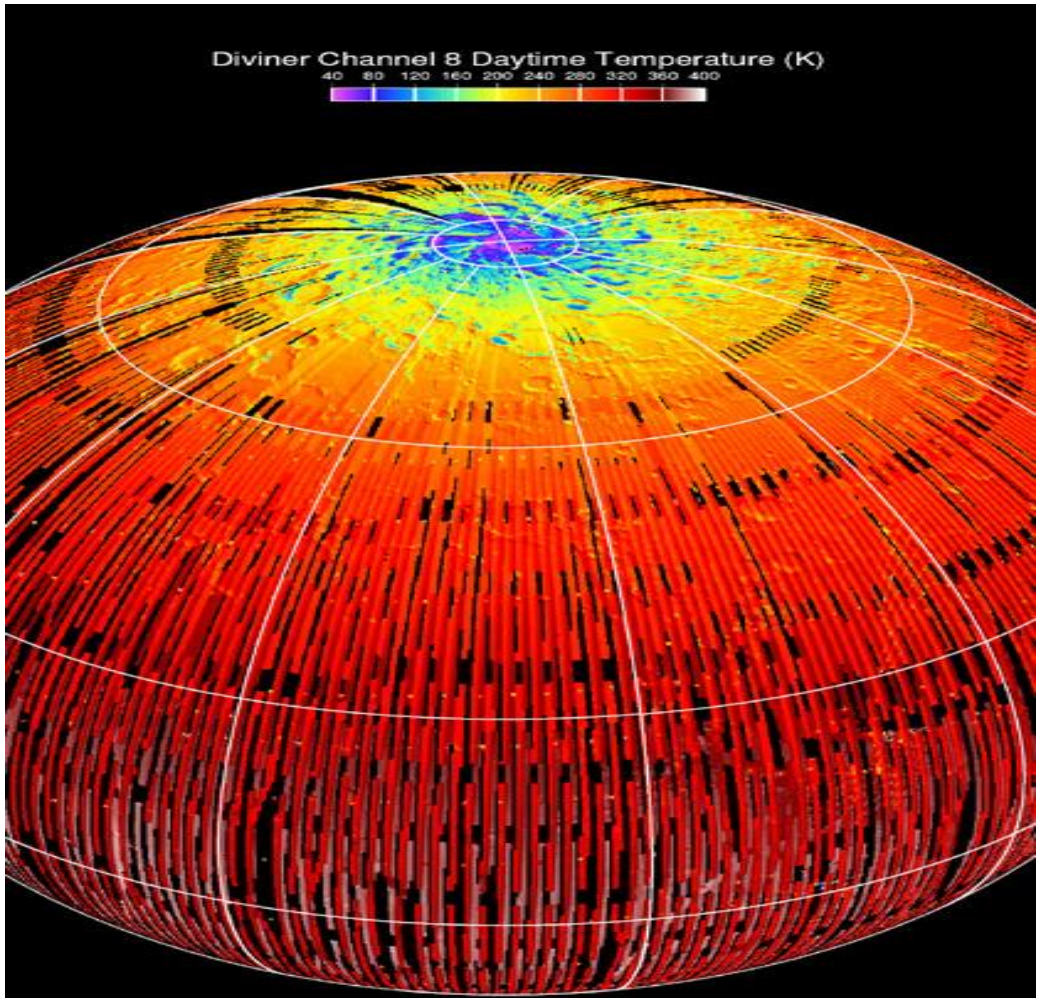


The Diviner Lunar Radiometer Experiment is one of seven instruments aboard NASA's Lunar Reconnaissance Orbiter, which launched on June 18 2009. It is the first instrument to create detailed day and night surface temperature maps of the Moon.

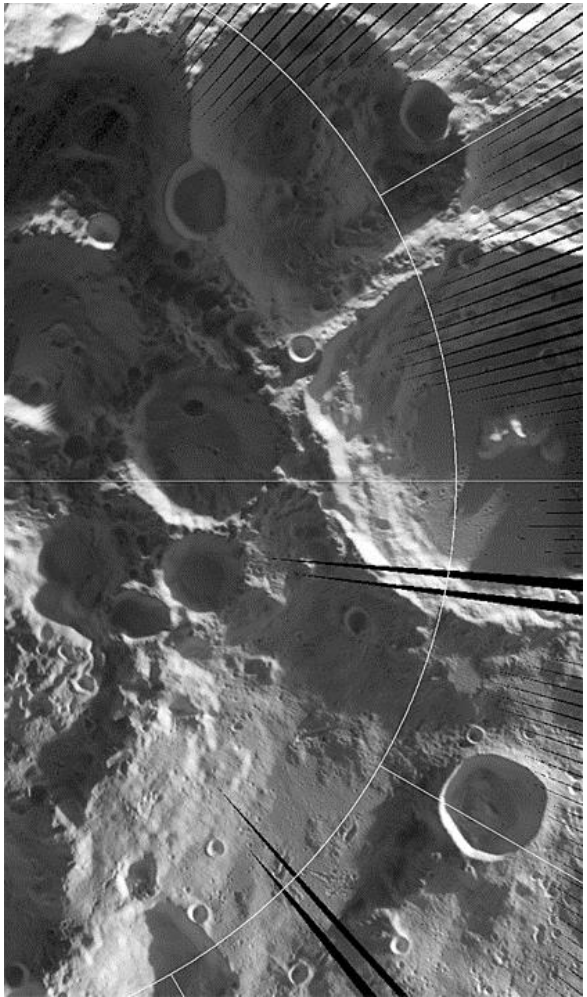


Diviner Daytime Temperature (K) on South Pole.

T_{min} = 40 K

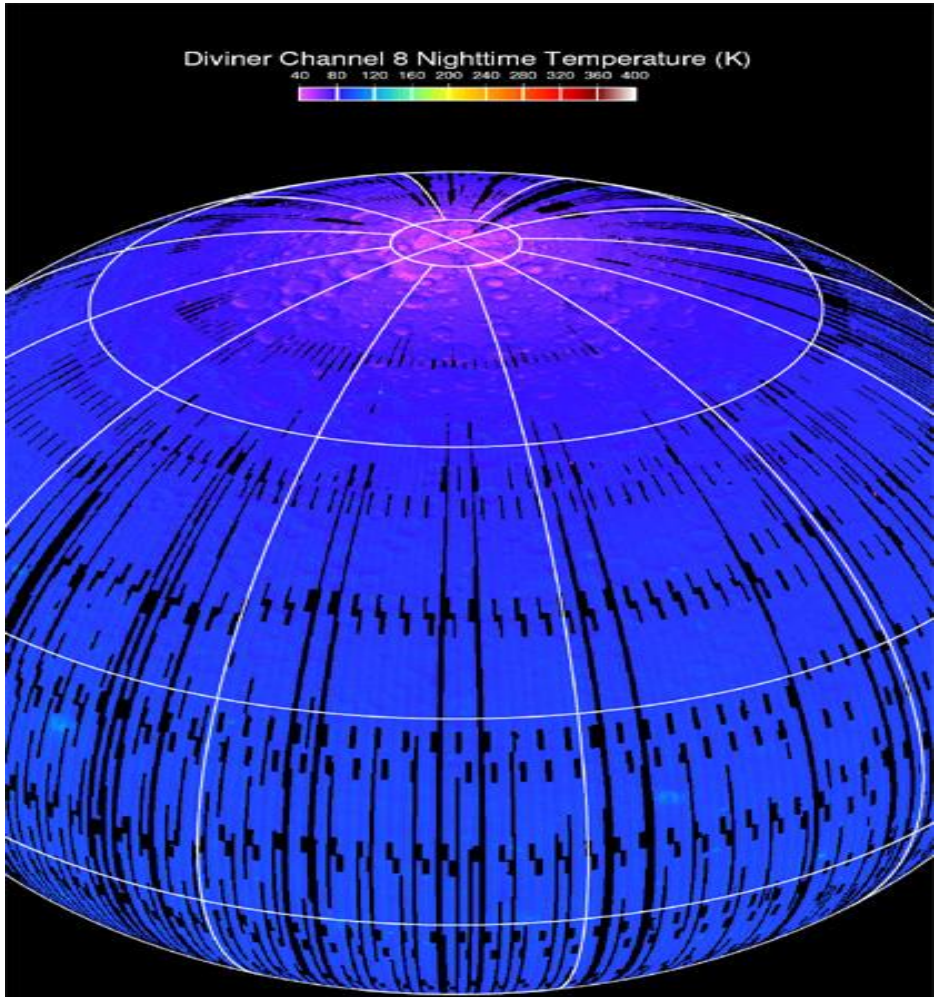


Diviner photo.
Permanent dark places in South Luna Pole.



Diviner Nighttime Temperature (K) on South Pole.

T_{min} = 40K



Equilibrium condition for the permanent dark places on Lunar surface

$$F_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

F_{rad} – radiogenic heat flux,

$\varepsilon = 0{,}95$ – emissivity of lunar surface,

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ - Stefan-Boltzmann constant.

$$F_{rad}\ (T=40K) = 0{,}138\ W \cdot m^{-2}$$

$$H_{Moon} = F_{rad}\ (T=40K) \cdot S_{Moon} = 5{,}2\ TW$$

$$H_{Earth} = H_{Moon} \cdot M_{Earth} / M_{Moon} = 420\ TW$$

Summary

Earth

- Bore-hole temperature gradient 47±2 TW
- ARGO Earth's energy imbalance 300±76 TW

Moon recalculated to Earth heat flux

- Apollo 15, 17 drilling 43-65 TW
- Russian radio emission exp. 170 TW
- LRO temperature map 420 TW

We consider the value of 300 TW as the most favorable to explain the all experimental data.

300 ± 76 TW

Intrinsic Earth heat + Geoneutrinos

- ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K decays in the Earth body are the source of heat and geoneutrinos.

- $^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb + 8\alpha + 6e + 6\tilde{\nu}_e + 51{,}7$ MeV (47,7)
- $^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb + 6\alpha + 4e + 4\tilde{\nu}_e + 42{,}8$ MeV(40,4)
- $^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + e + \tilde{\nu}_e + 1.32$ MeV(0,598)prob.0,89

  $\rightarrow {}^{40}Ar + \Upsilon + \nu_e + 1.5$ Mev (1.46) prob.0,1066

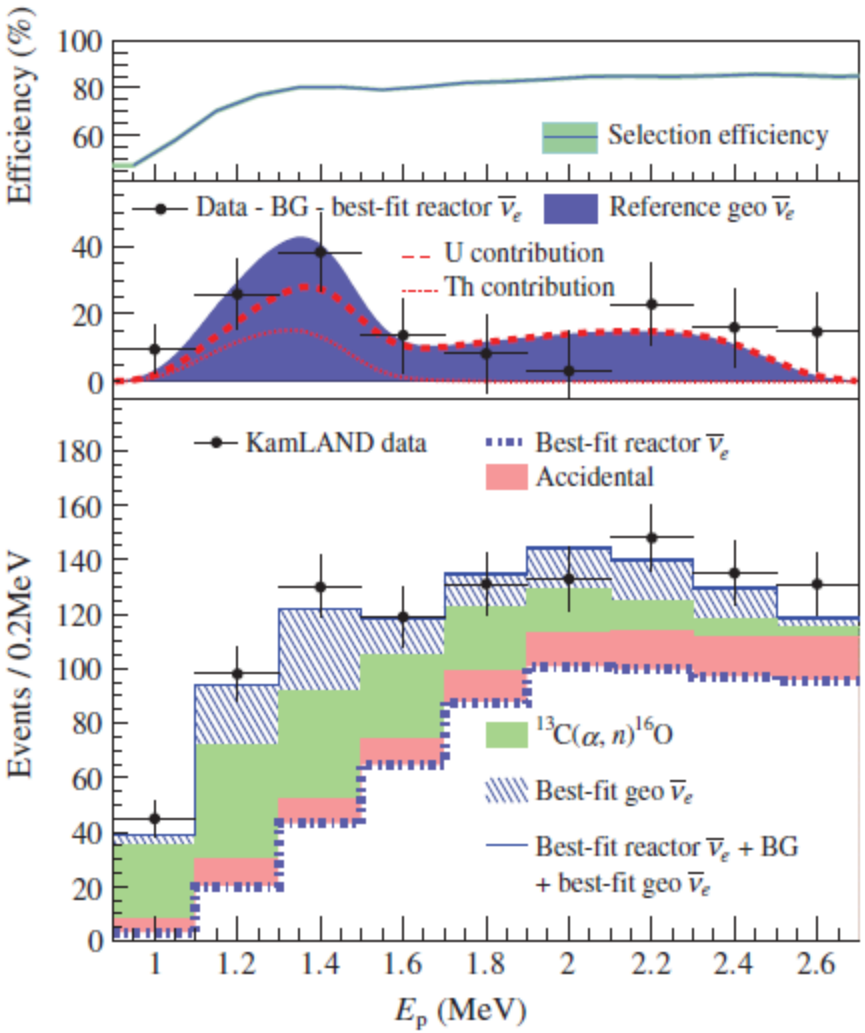
First measurements of geoneutrino from ^{238}U and ^{232}Th

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

- **Borexino detector**
- **Kamland detector**

- **Sudbury detector – will be in operation in near future.**

KamLAND



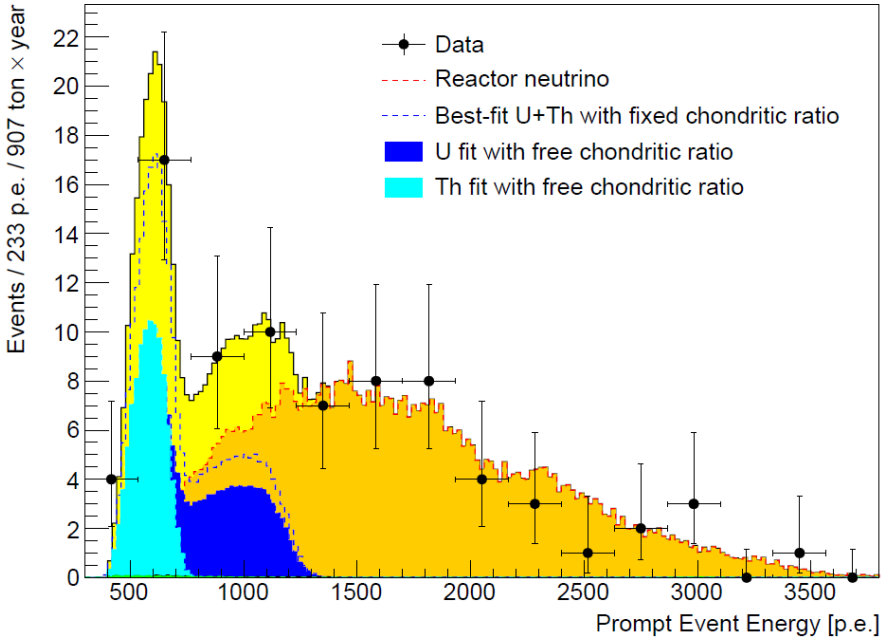
A. Gando et al. Phys. Rev. D 88, 033001 (2013).

T_{meas} = 2991 days (8.2 years)
N_p = (5.98±0.13)×10^{31} protons on target
Exposure (4.9±0.1) ×10^{32} proton years

116 $^{+28}_{-27}$ geo-nu events

23.67 TNU

Borexino

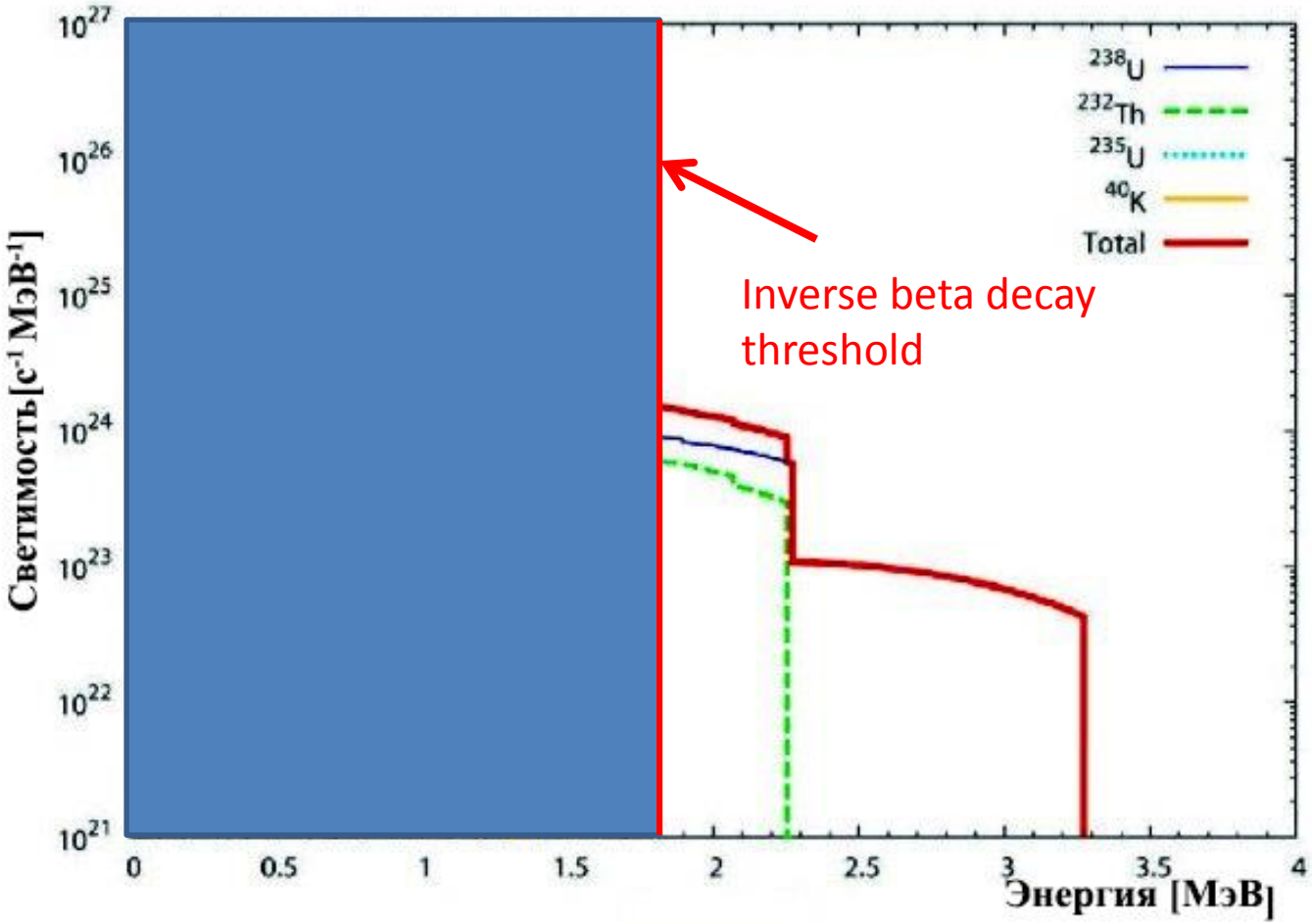


M. Agostini et al. Phys. Rev. D 92, 031101 (2015).

T_{meas} = 2056 days (5.6 years)
N_p = (0.977±0.05)×10^{31} protons on target
Exposure (5.5±0.3) ×10^{31} proton years
$23.7^{+6.5(st)+0.8}_{-5.7(st)-0.6}$ geo-nu events

43.5 TNU

Geoneutrinos energy spectra



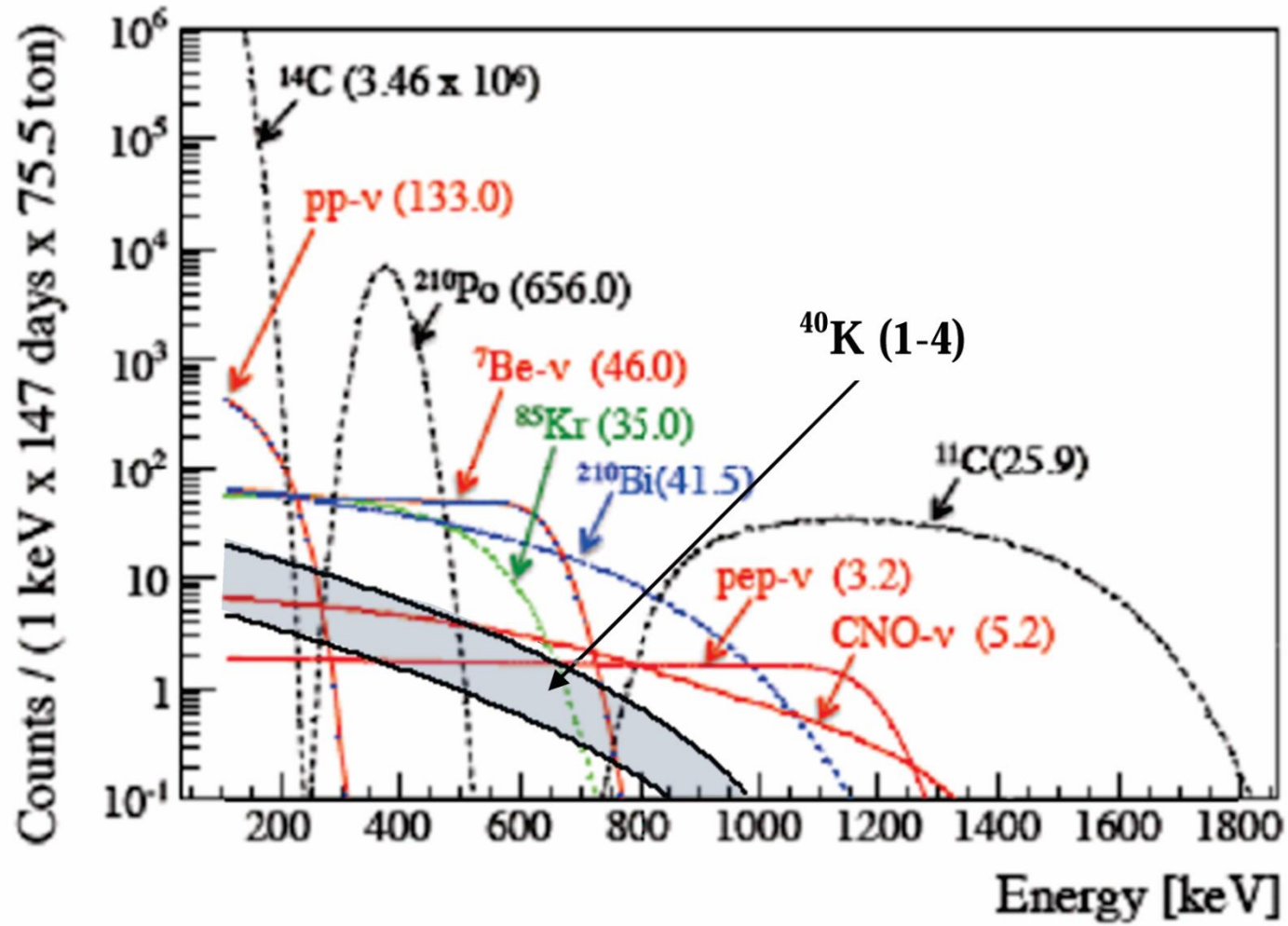
Looking for antineutrino flux from 40K with large liquid scintillator detector Looking for antineutrino flux from 40K with large liquid scintillator detector

V.V. Sinev, L.B. Bezrukov (Moscow, INR), E.A. Litvinovich, I.N. Machulin, M.D. Skorokhvatov (Kurchatov Inst., Moscow & Moscow Phys. Eng. Inst.), S.V. Sukhotin (Kurchatov Inst., Moscow).

May 13, 2014. 4 pp.
Published in **Phys.Part.Nucl. 46 (2015) 2, 186-189**

Conference: C14-01-26 Proceedings, Valday
e-Print: **arXiv:1405.3140 [physics.ins-det]**

Recoil electrons spectrum from ^{40}K in BOREXINO $\nu_e + e \rightarrow \nu_e + e$



Conclusion

- Измеренный поток геонейтрино от ^{238}U and ^{232}Th несколько больше ожидаемого из BSE model.
- Данные BOREXINO позволяют допустить долю K в массе Земли до 4%.
- 2% K от массы Земли дают H = 400 TW, таким образом данные по геонейтрино не противоречат тепловому потоку 300±76 TW при условии большого количества ^{40}K в Земле.

Can we find the Earth model which can help to understand such huge value as

300 TW

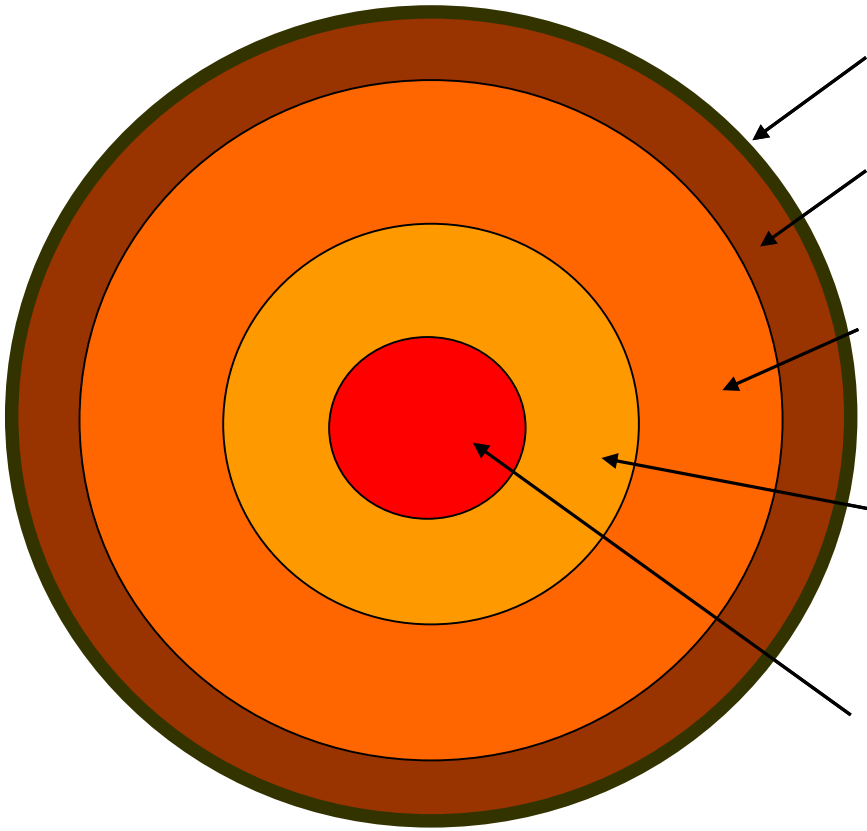
and

the values of measured geoneutrino fluxes simultaneously?

We found:

Hydridc Earth or Primordial Hydrogen rich planet (HE)

Earth structure



Crust: 7-10 km at ocean bottom and 30-60 km at continents, ρ=~3-3.5 g/cm^3

Upper mantle: ~660-670 km, ρ=~3.5-4 g/cm^3

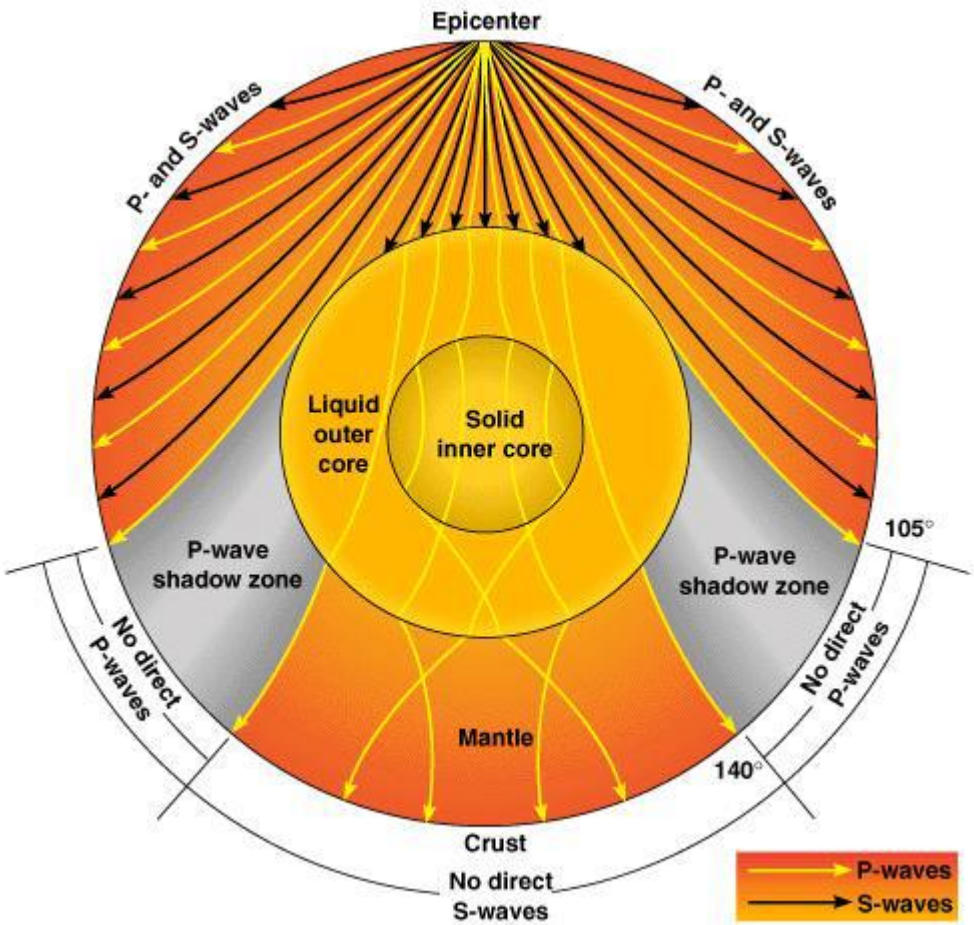
Lower mantle: ~2900 km, ρ=~5 g/cm^3

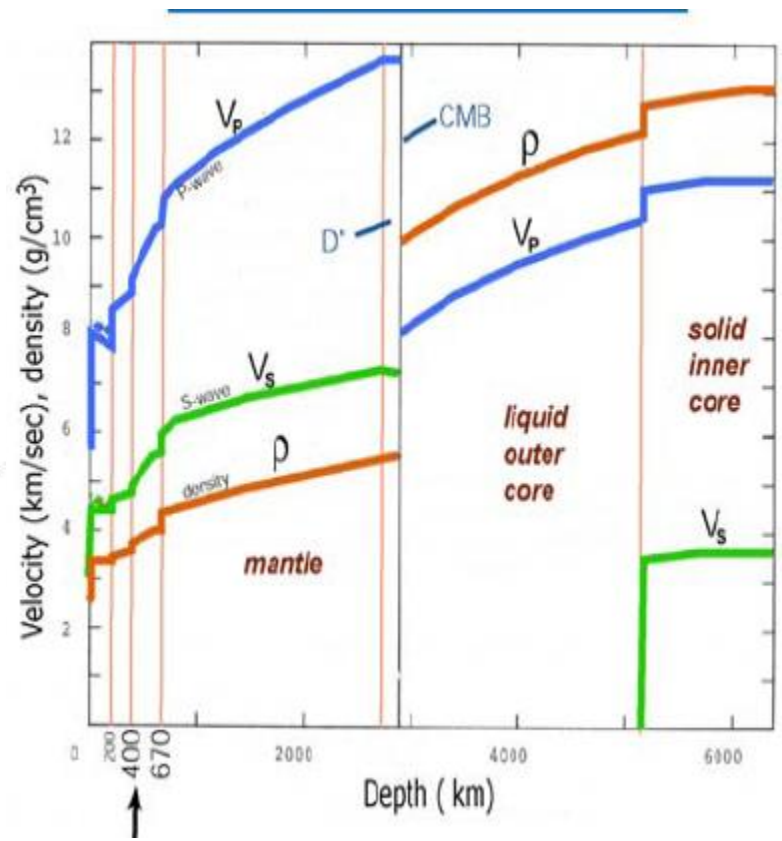
Outer core, ~5140 km, ρ=~10-11 g/cm^3

Inner core, ~6371 km, ρ=~12-13 g/cm^3, t = 6000° C

At site http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/ data for 2° x 2° were available. (Now 1°x1°)

Seismology





P – primary, longitudinal waves

S – secondary, transverse/shear waves

Bulk Silicate Earth (BSE)

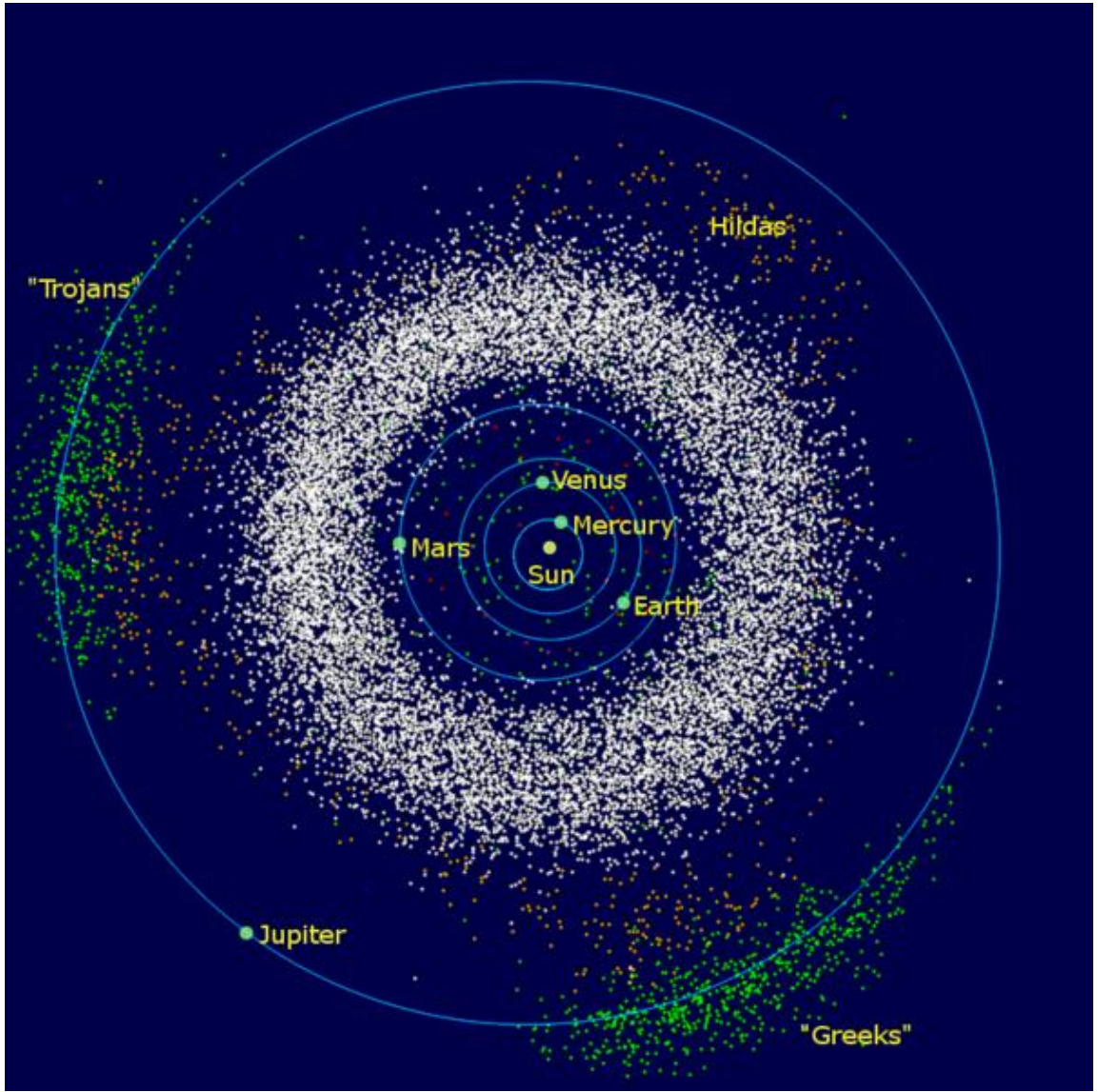
Basic idea:

Earth chemical composition ≡ meteorite chemical composition ≡ Asteroid Belt (AB) chemical composition

Bulk Silicate Earth (BSE)

- **There are no any U, Th, K in Lower mantle and Core**
- **Mantle → oxides**
- **Core → Fe**
- **BSE introduced the problem: The calculated radiogenic heat 20 TW is not enough to explain the experimentally measured one 47 TW**

The asteroid belt (shown in white) is located between the orbits of Mars and Jupiter.



Hydridic Earth (HE) model
(primordially Hydrogen-Rich Planet)

was born 40 years ago and does not killed up to now

- Basic idea:

Planet chemical composition depends on distance from the Sun.

Earth chemical composition ≠ Asteroid Belt (AB) chemical composition.

Hydridic Earth
Гидридная Земля

Hydrid Earth model can explain the hydrogen degassation of the Earth.

The Earth hydrogen degassation – the hydrogen starts from surface of the Earth core and goes to the cosmos space through the long chain of processes.

Металлогидридная теория строения Земли В. Н. Ларина позволила объяснить явление водородной дегазации Земли.

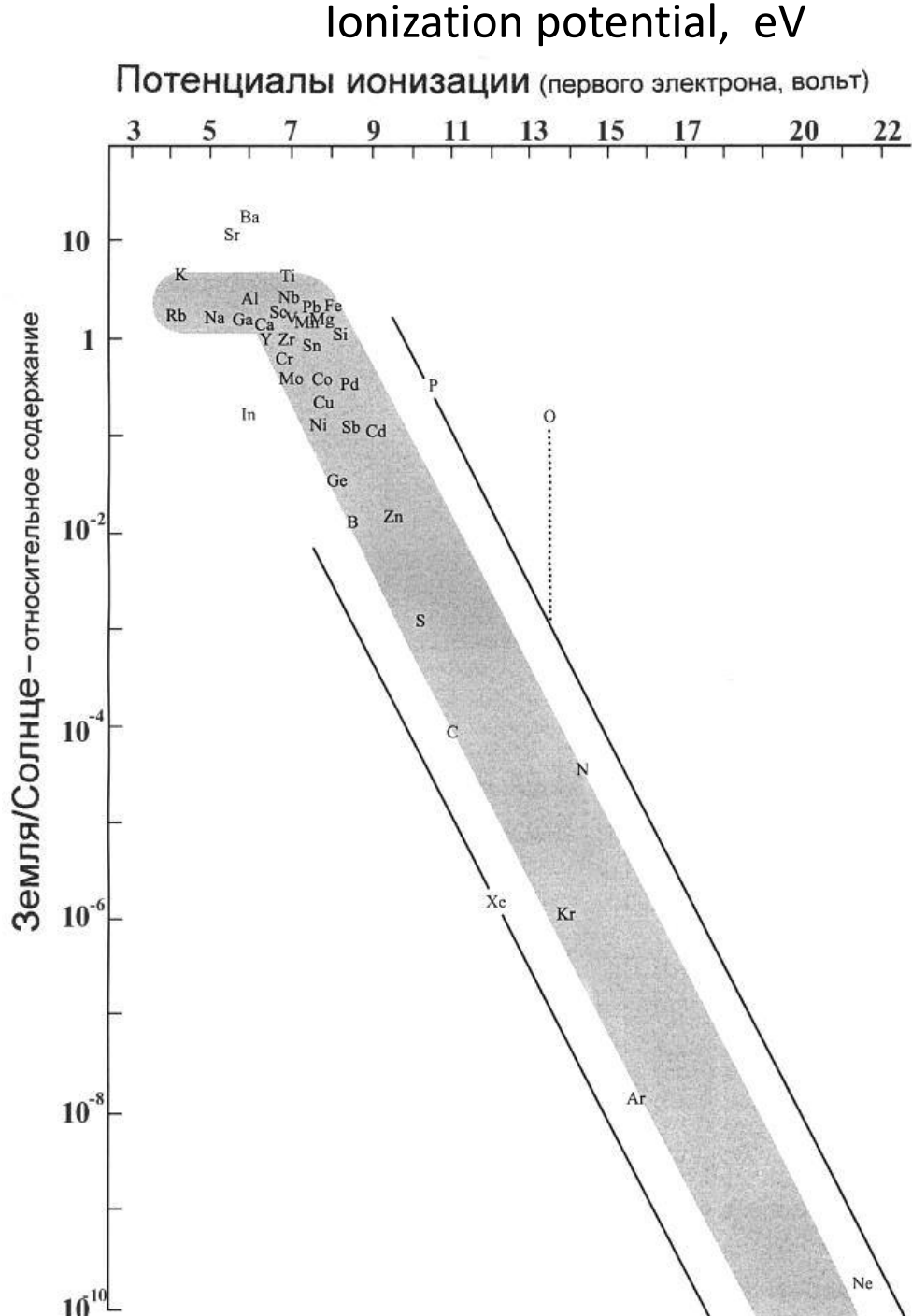
1. Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли (новая глобальная концепция). М., «Недра», 1975, 101 с., (АН СССР. Министерство геологии СССР. ИМГРЭ).

2. Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. 2-е изд., перераб. и доп.. - М., Недра. 1980, 216 с

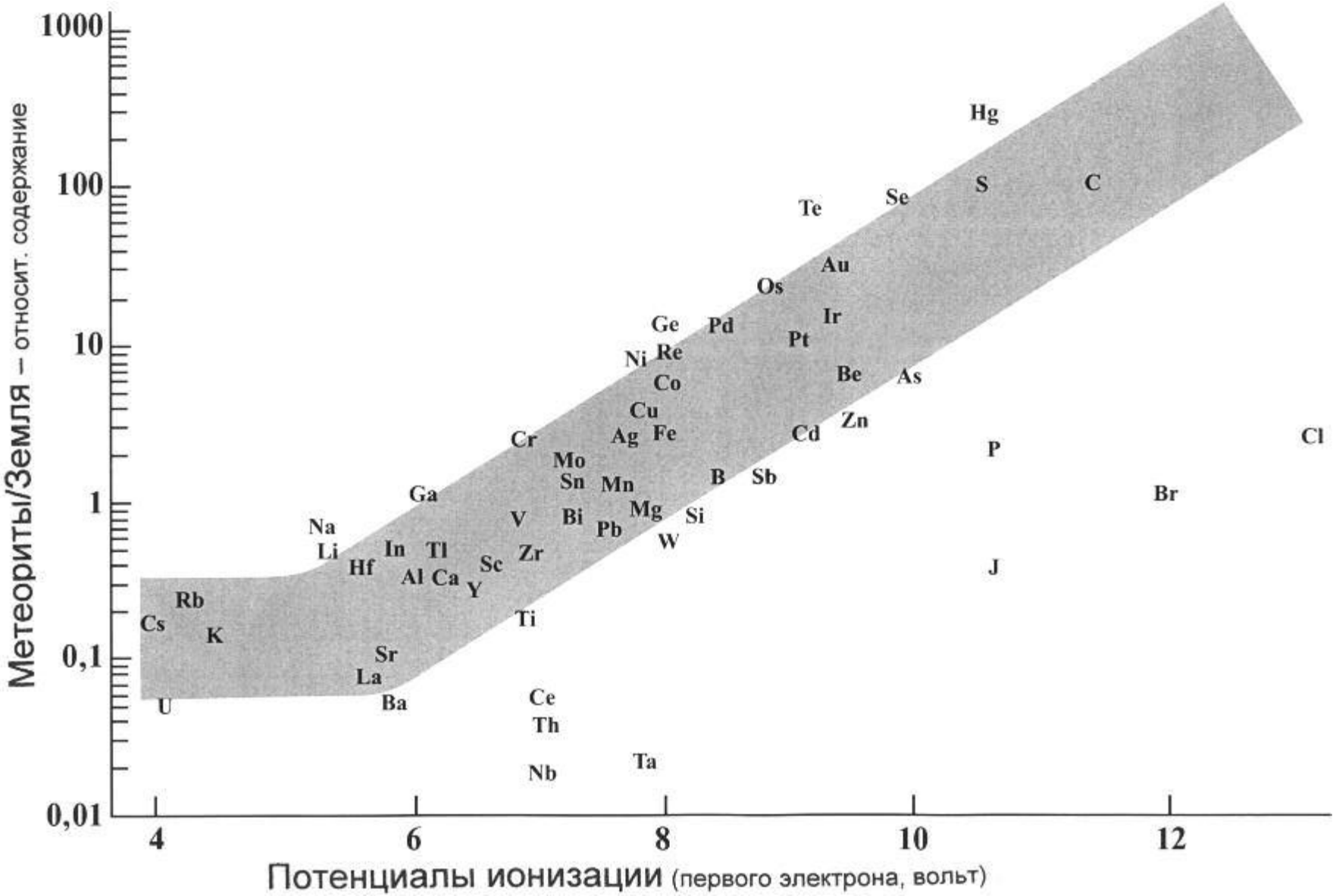
3. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М. «Агар» 2005, 248 с.

4. Larin,V. N., ed. C. Warren Hunt. Hydridic Earth: the New Geology of Our Primordially Hydrogen-Rich Planet. Polar Publishing, Calgary, Alberta, Canada, 1993.

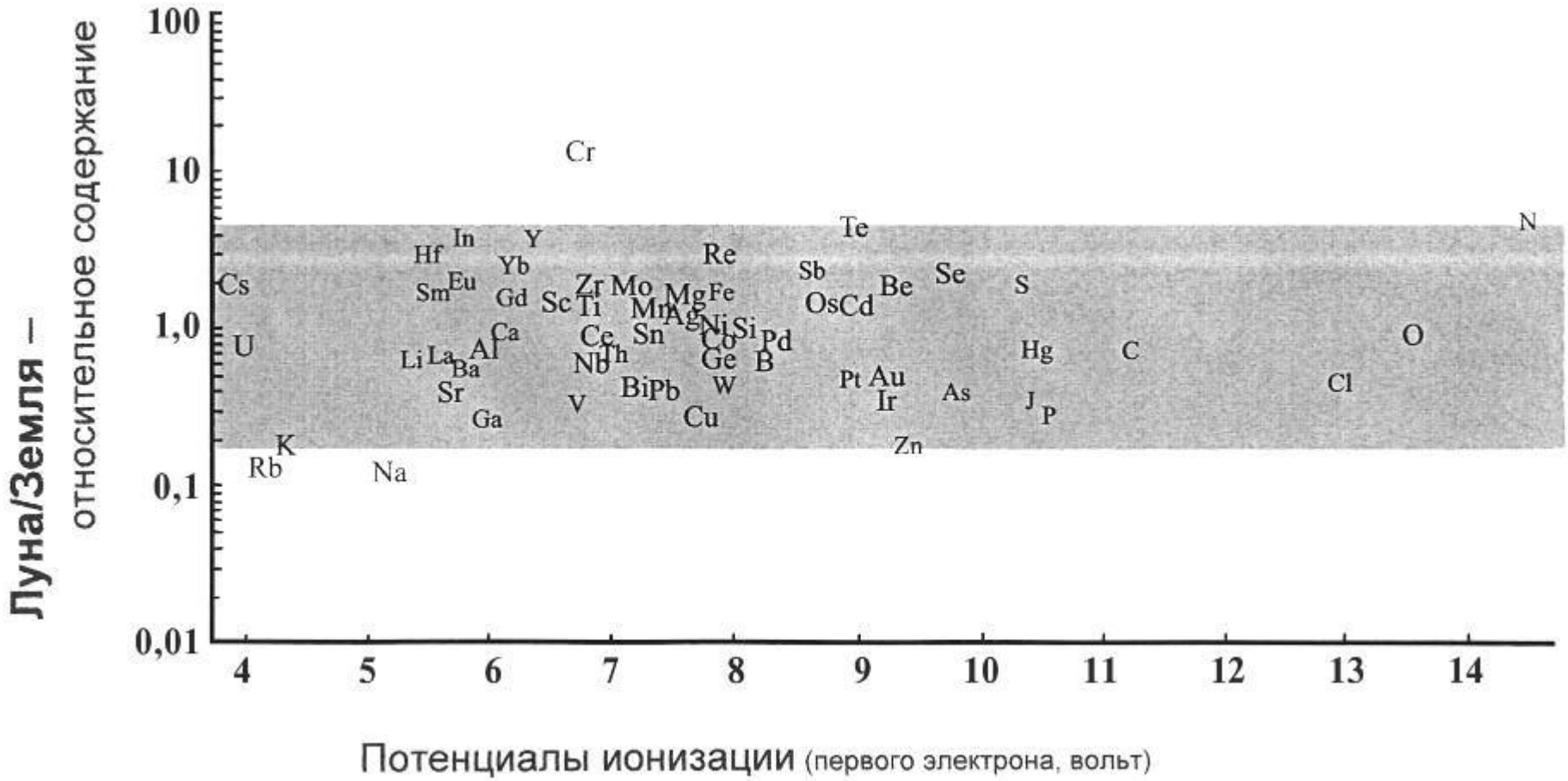
Ratio of Earth crust
chemical element abundances
to Sun
chemical element abundances
versus
first ionization potential
of these elements
(normalize to Si)



ratio of meteorite chemical element abundances to Earth crust chemical element abundances



Ratio Moon /Earth



Predicted overall initial composition of the Earth. Major elements are typed in bold (mass fraction larger than 0.1%).

Chemical differentiation of planets: a core issue. Herve Toulhoat, Valerie Beaumont, Viacheslav Zgonnik, Nikolay Larin, Vladimir N. Larin. Aug 2012. 15 pp. e-Print: arXiv:1208.2909 [astro-ph.EP]

Element	wt %	mol %	Element	wt %	mol %	Element	wt %	mol %
H	**1.830E+01**	**87.43**	**Mg**	**1.389E+01**	**2.75**	Sc	3.601E-03	<0.01
He	1.856E-05	<0.01	**Al**	**8.769E+00**	**1.57**	**Ti**	**2.100E-01**	**0.02**
B	4.220E-05	<0.01	**Si**	**9.028E+00**	**1.55**	V	2.329E-02	<0.01
C	**7.550E-01**	**0.30**	P	5.715E-03	<0.01	**Cr**	**1.046E+00**	**0.10**
N	5.562E-03	<0.01	**S**	**3.793E-01**	**0.06**	**Mn**	**4.518E-01**	**0**.04
O	**1.391E-01**	**0.04**	Cl	4.210E-04	<0.01	**Fe**	**1.942E+01**	**1.67**
F	1.260E-07	<0.01	Ar	1.883E-04	<0.01	Co	6.153E-02	0.01
Ne	2.675E-06	<0.01	**K**	**3.760E+00**	**0.46**	**Ni**	**1.627E+00**	**0.13**
Na	**1.341E+01**	**2.81**	**Ca**	**8.792E+00**	**1.06**			
					Balance		1,00E+02	100

Geochemical model of primordial Earth (following to Vladimir Larin)

Geosphere	Depth range, km	Composition
External core	0 - 100	$MgH_{0,1}$; $SiH_{0,1}$; $FeH_{0,1}$ +MgH_n; SiH_n; FeH_n (n = 10)
Core	100 - 3730	MgH_n; SiH_n; FeH_n (n = 10)

Geochemical model of modern Earth (following to Vladimir Larin)

Geosphere	Depth range, km	Composition
Lithosphere	0 - 150	CaO;MgO; Al_2O_3; SiO_2;Na_2O; Fe_2O_3;H_2O
Asthenosphere	150	Thin layer of Metalsphere with high hydrogen concentration
Metalsphere	150 - 2900	Mg_2Si : Si : FeSi = 6 : 3 : 1
External core	2900 - 5000	$MgH_{0,1}$; $SiH_{0,1}$; $FeH_{0,1}$ +MgH_n; SiH_n; FeH_n (n = 10)
Inernal core	5000 - 6371	MgH_n; SiH_n; FeH_n (n = 10)

Hydridic Earth (HE)

- **There are U, Th, K in Lower mantle and Core**
- **Mantle → metallic**
- **Core → FeH_{10} + MgH_{10} + NaH_{10} + …**
- **HE model introduced the opposite problem: The calculated radiogenic heat 650 TW is larger than the experimentally measured one 47 TW.**
  HE model can propose the explanation.

Leonid Bezrukov. Geoneutrino and Hydridic Earth model.

Preprint INR 1378/2014. arXiv:1308.4163

Может ли НЕ модель объяснить другие необычные результаты или дать необычные предсказания?

Атмосферное электричество.

Согласно теории Ч. Вильсона, Земля и ионосфера играют роль обкладок конденсатора, заряжаемого грозовыми облаками. Возникающая между обкладками разность потенциалов приводит к появлению электрического поля атмосферы.

Вопросы.

- Где расположен ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ заряд земного электрического конденсатора?
- Как объяснить унитарную вариацию электрического поля хорошей погоды?
- Почему во время землетрясения увеличивается атмосферное электрическое поле и происходит высыпание высокоэнергичных электронов?
- Есть ли связь между электрическим и магнитным полями Земли?
- Что такое теллурические токи?

АНОМАЛЬНАЯ СУТОЧНАЯ ВОЛНА «ПОЛЯ ХОРОШЕЙ ПОГОДЫ» В ГОРНОМ УЩЕЛЬЕ

Лидванский А.С., Хаердинов Н.С.

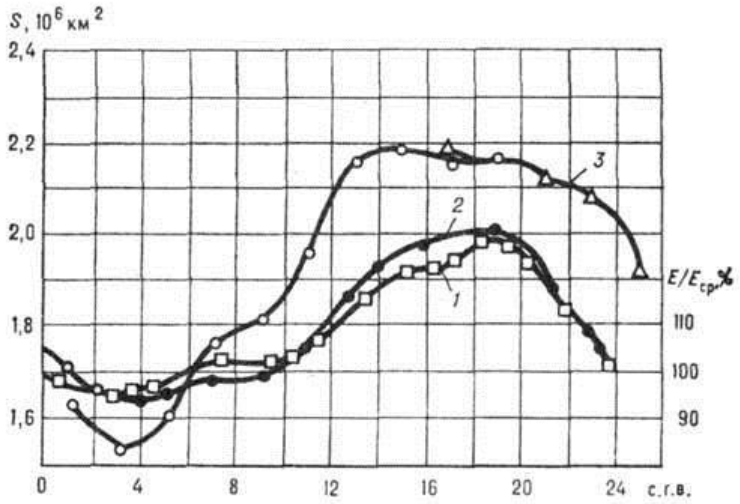
Институт ядерных исследований РАН, Москва

lidvansk@lebedev.ru

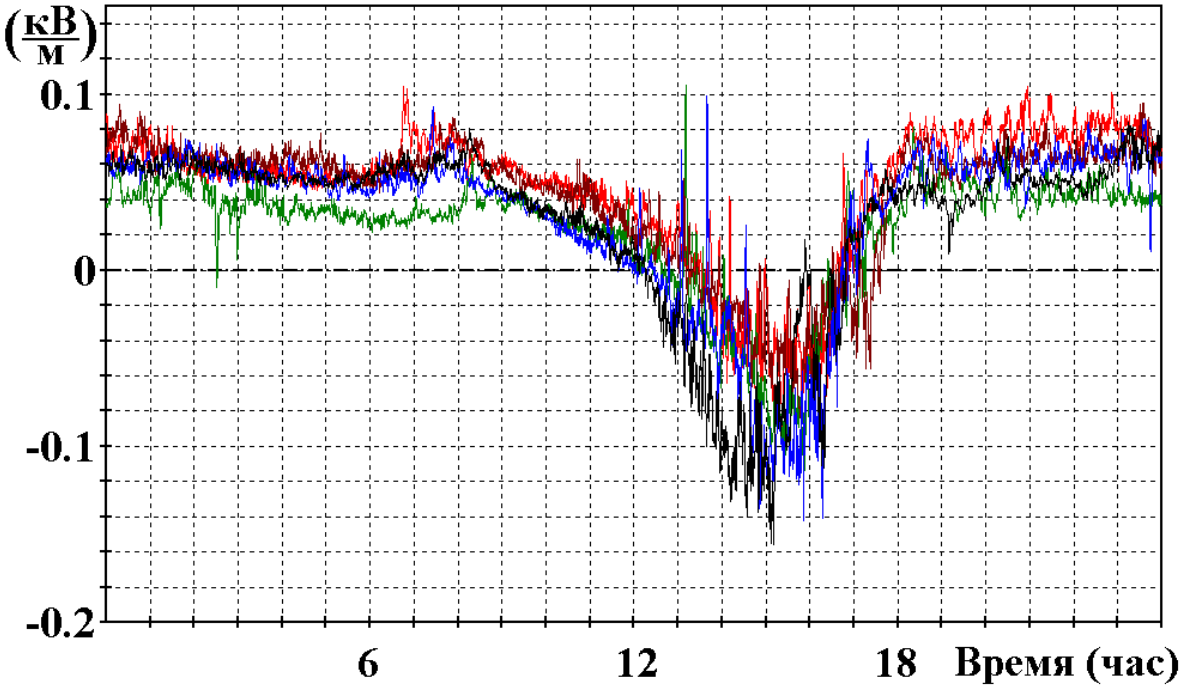
VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству, 24-28 сентября 2012 г., Санкт-Петербург, Сборник трудов, стр. 155-157

Суточный ход унитарной вариации напряженности по среднему Гринвическому времени (с. г. в.) электрического поля над океанами (*1*),
в полярных областях (*2*) и суточный ход площади, занятой грозами (*3)*.

Р.Фейнман и др. Фейнмановские лекции по физике. Т.5. Электричество и магнетизм.

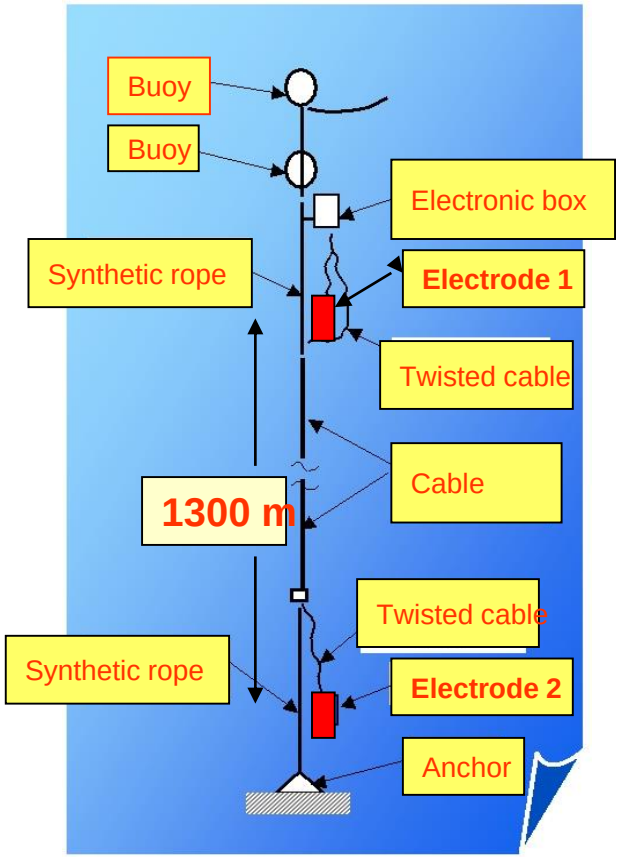


Приземное электрическое поле (БНО) хорошей погоды 19, 20, 21, 22, 23, 27 сентября 2007 года. Время местное. Усреднение 20 с.



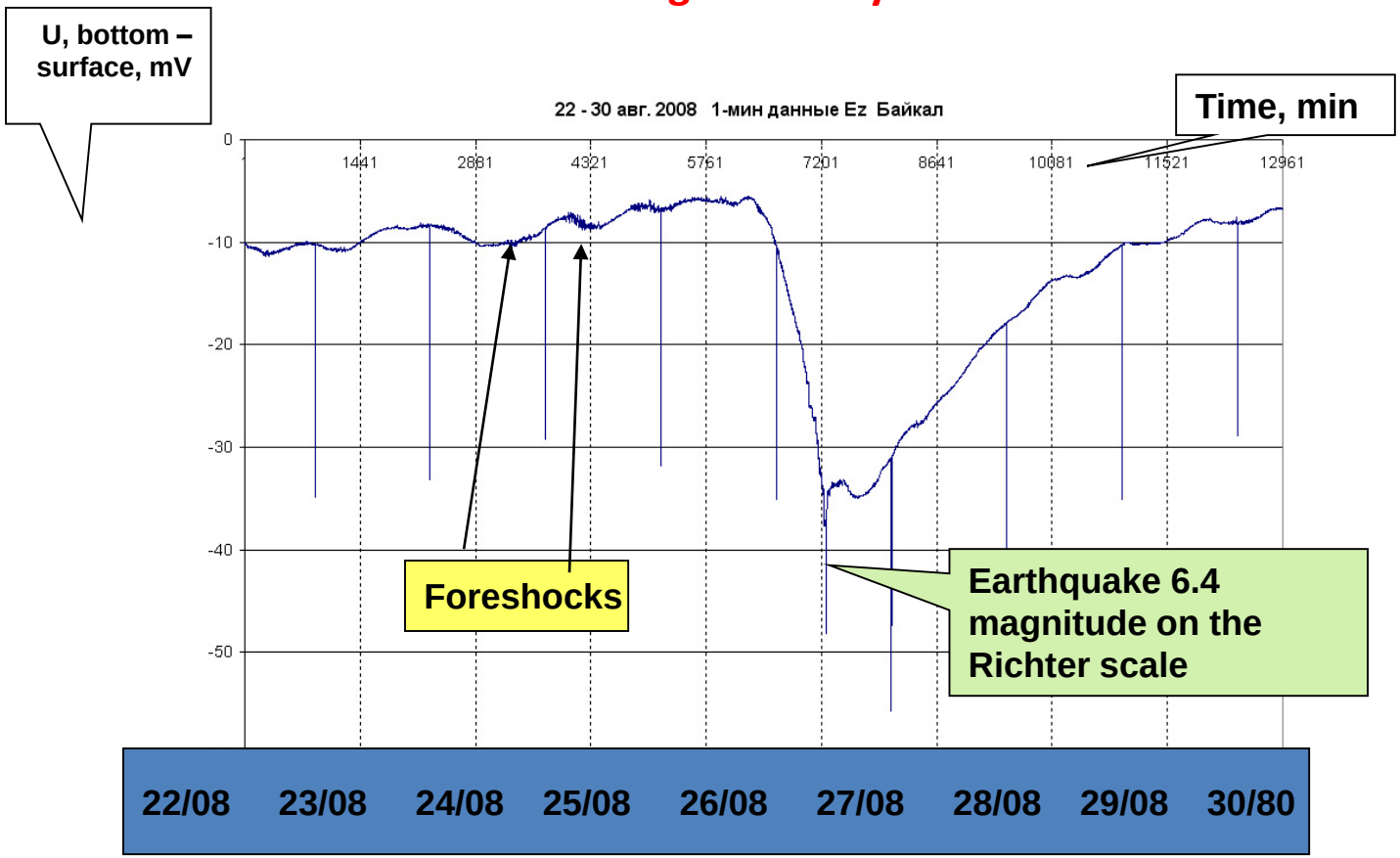
Байкальская экспедиция ИЯИ РАН

GEOPHISYCAL MOORING

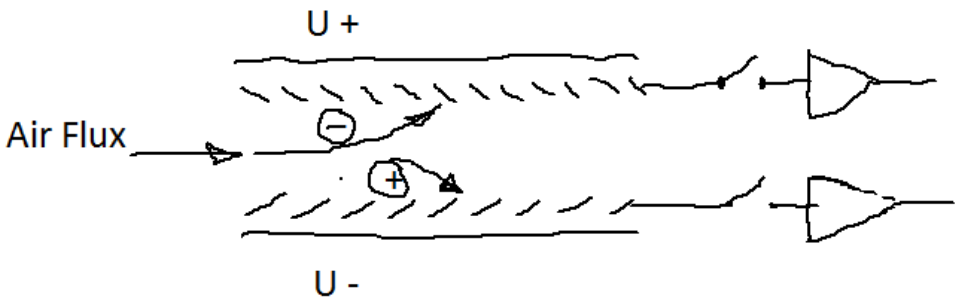


Surface – bottom electric potential difference

22 – 30 August 2008 year.



Счётчик аэроионов «Сапфир 3М»



В подземной лаб. в приямке

Аэроионы в подземных лабораториях.

- На БНО в непроветриваемых подземных лабораториях обнаружены положительные аэроионы с плотностью

  до 3 000 000 ионов/см^3

- В Москве в непроветриваемых подземных лабораториях обнаружены положительные аэроионы с плотностью

  до 10 000 000 ионов/см^3

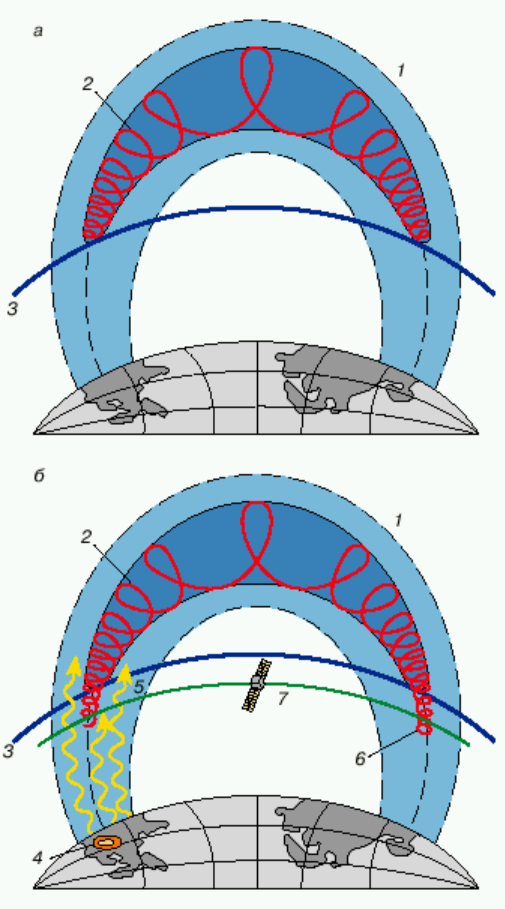


Рис. 5. а) - стационарная траектория заряженной частицы в радиационном поясе: 1 - геомагнитное поле, 2 - траектория частицы, 3 - нижняя граница радиационного пояса; б) - высыпания частиц из СЭМИ радиационного пояса после взаимодействия с ЭМИ сейсмического происхождения: 1 - геомагнитное поле, 2 - траектория частицы, 3 - нижняя граница радиационного пояса, 4 - очаг землетрясения, 5 - электромагнитное излучение, 6 - высыпающиеся частицы, 7 - траектория спутника.

Proceedings of ICRC 2011. Vol.11, 467-470

32ND INTERNATIONAL COSMIC RAY CONFERENCE, BEIJING 2011

Measurement of Low Energy Cosmic Radiation with the Water Cherenkov Detector Array of the Pierre Auger Observatory

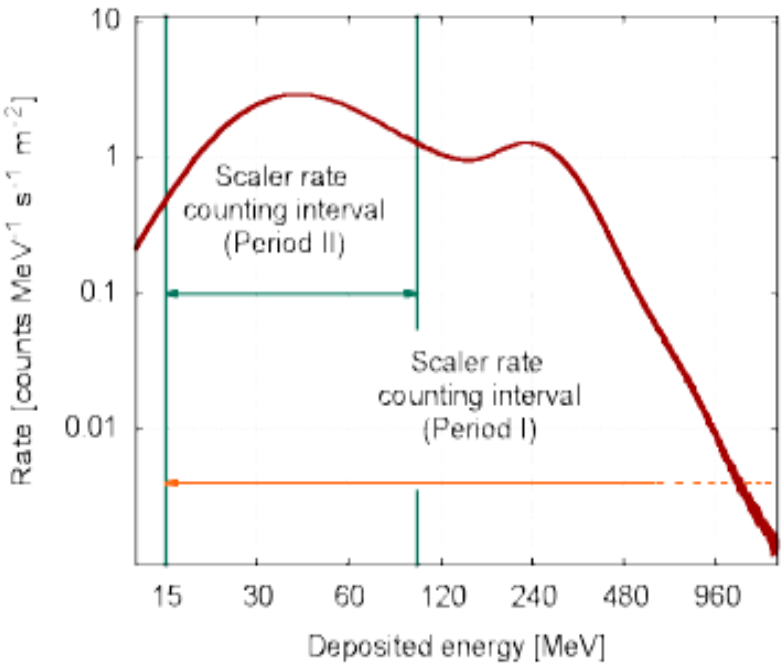
HERNÁN ASOREY[1] FOR THE PIERRE AUGER COLLABORATION[2]
[1]*Centro Atómico Bariloche (CNEA), U. N. de Cuyo and U. N. de Río Negro, Bariloche, Río Negro, Argentina*
[2]*Observatorio Pierre Auger, Av. San Martín Norte 304, 5613 Malargüe, Argentina*

The Surface Detector Array

One of the 1 660 water-Cherenkov detectors (WCD) of the Pierre Auger Observatory, located near Malargüe, Argentina (69.3° W, 35.3° S, 9.5 GV) at 1400 m a.s.l.

- 3 000 km^2 array
- 1 660 water-Cherenkov detectors (WCD) (16 600 m^2 of detection area)
- triangular grid with 1 500 m spacing
- Cherenkov detector:
  - 12 m^3 of high purity water
  - three 9" photomultipliers (PMT)
  - Detection of $e^{\pm}$ and γ: calorimetric
  - $\mu^{\pm}$ signals: proportional to track length.

Low energy cosmic ray measurements using individual detectors



Charge histogram of the signals of one PMT, with the corresponding counting intervals of the scaler mode:

- Period I (orange): $15 \leq (E_d/\text{MeV}) < \infty \rightarrow 380\,\text{m}^{-2}\,\text{s}^{-1}$
- Period II (green): $15 \leq (E_d/\text{MeV}) \leq 100 \rightarrow 200\,\text{m}^{-2}\,\text{s}^{-1}$

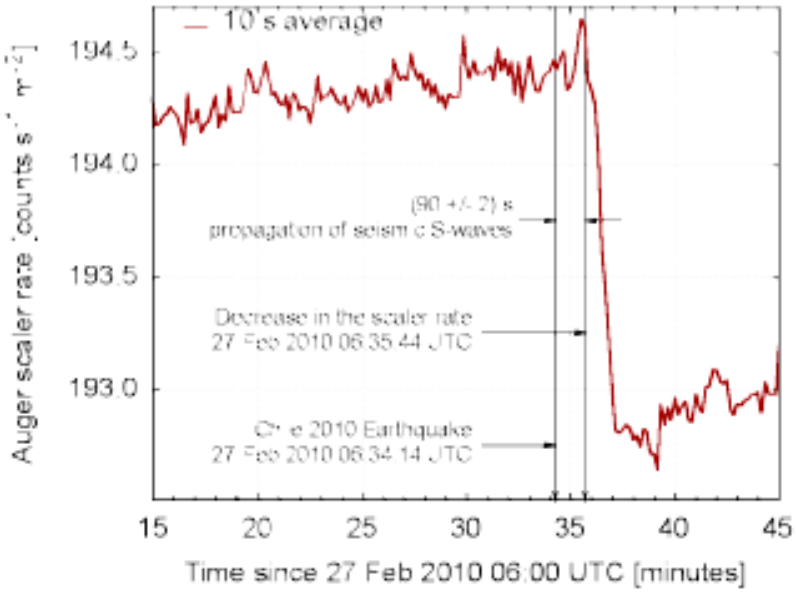
Scaler mode

- Counting event rate between two thresholds;
- period I: Mar to Sep 2005, period II: After Sep 2005.
- rate excess → search for astrophysical transients:
  - Gamma Ray Bursts
  - Forbush decreases
  - Soft Gamma Repeaters

Histogram mode

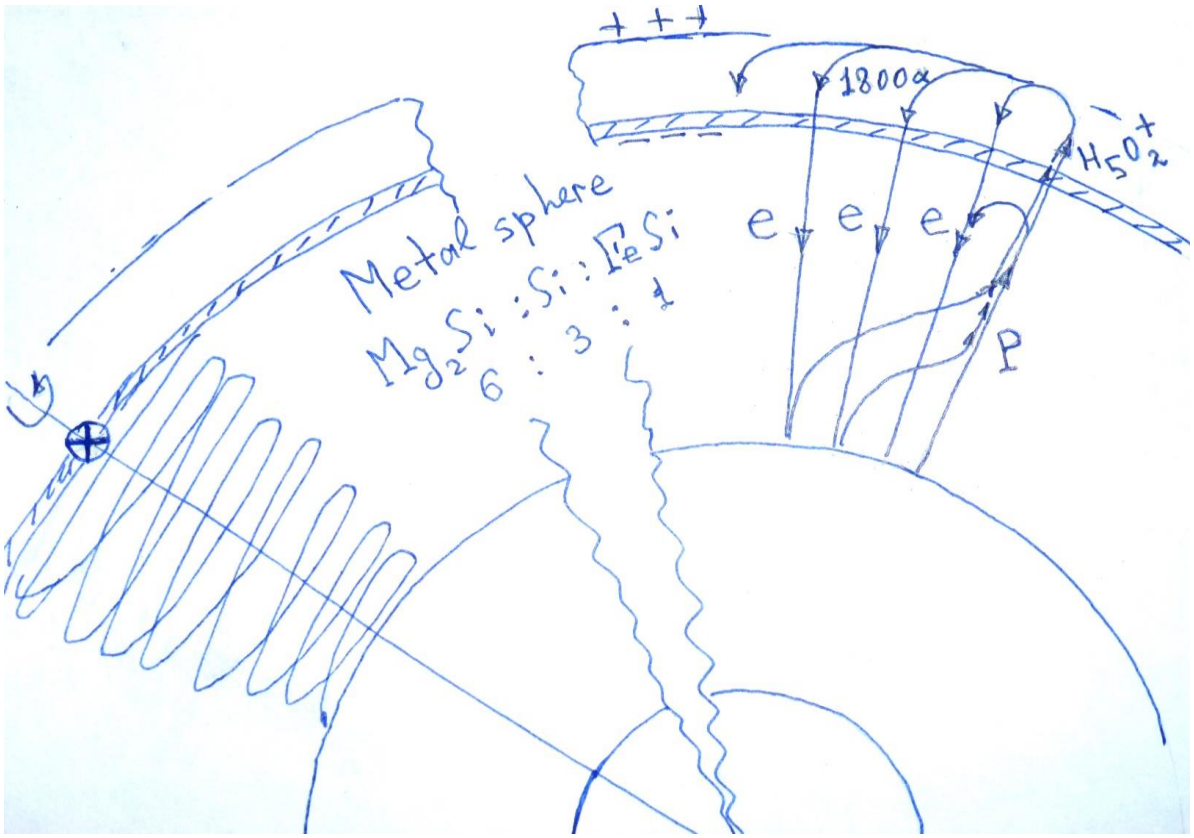
- Every WCD constantly records one-minute histograms of signals (amplitude and total charge).
- 2nd peak → (1.03 ± 0.02) of the energy deposited (E_d) by a vertical muon ($E_d \simeq 240$ MeV).
- ~ 10 one-minute histograms are registered at the central DAQ every minute.

Chile Feb 2010 earthquake



- Magnitude 8.8 on Richter scale
- epicentre at 300 km SW from array
- seismic S-waves propagation observed
- 24σ decrease, recovery time: 6 hours

Earth electrical currents in the HE model



Гидридная теория Электрического поля Земли

- ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ обкладка Земного конденсатора находится под корой Земли.
- Кора (океаны и озёра) Земли насыщены ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ ионами водорода (протонами).
- Газы, которые выделяются из коры Земли в атмосферу, ПОЛОЖИТЕЛЬНО заряжены. Особенно сильно они выделяются в сейсмически активных районах и могут участвовать в заряде Земного конденсатора.

Катионы гидроксония в атмосфере возникают из аэроионов как результат хим.реакций.

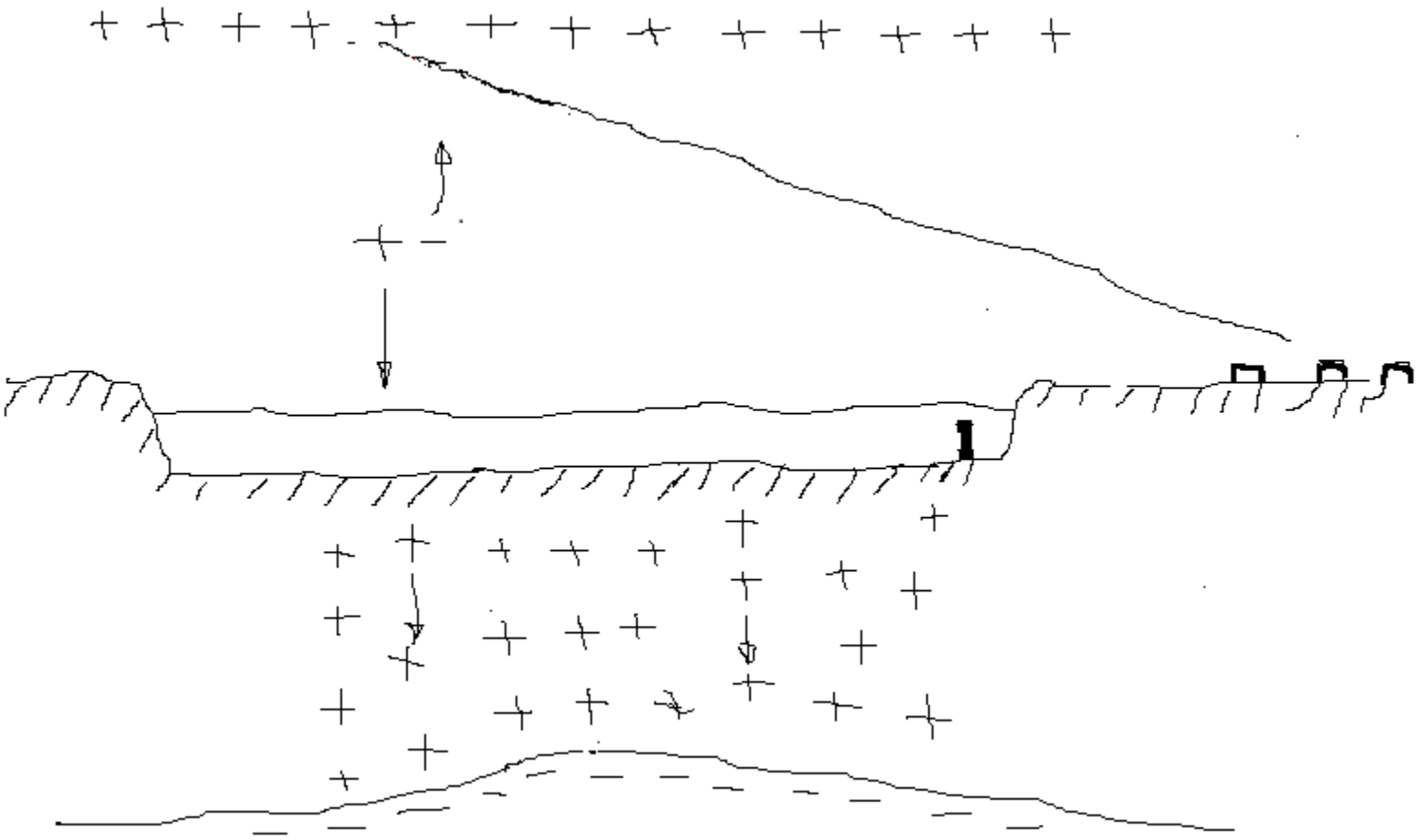
- аэроионы O_2^+ и NO^+ реагируют с атмосферной влагой, образуя вначале ассоциаты, что подтверждено масс-спетроскопией (на ракетах и в лабораторных экспериментах – этим занимается наука под названием аэрономия):
- $O_2^+ + (H_2O)_n \rightarrow O_2^+(H_2O)_n$
- $NO^+ + (H_2O)_n \rightarrow NO^+(H_2O)_n$
- Далее происходит реакция внутри ассоциатов:
- $O_2^+(H_2O)_n \rightarrow H_3O^+(OH^{\cdot})(H_2O)_{n-2} + O_2$
- $NO^+(H_2O)_n \rightarrow H_3O^+(H_2O)_{n-2} + HNO_2$

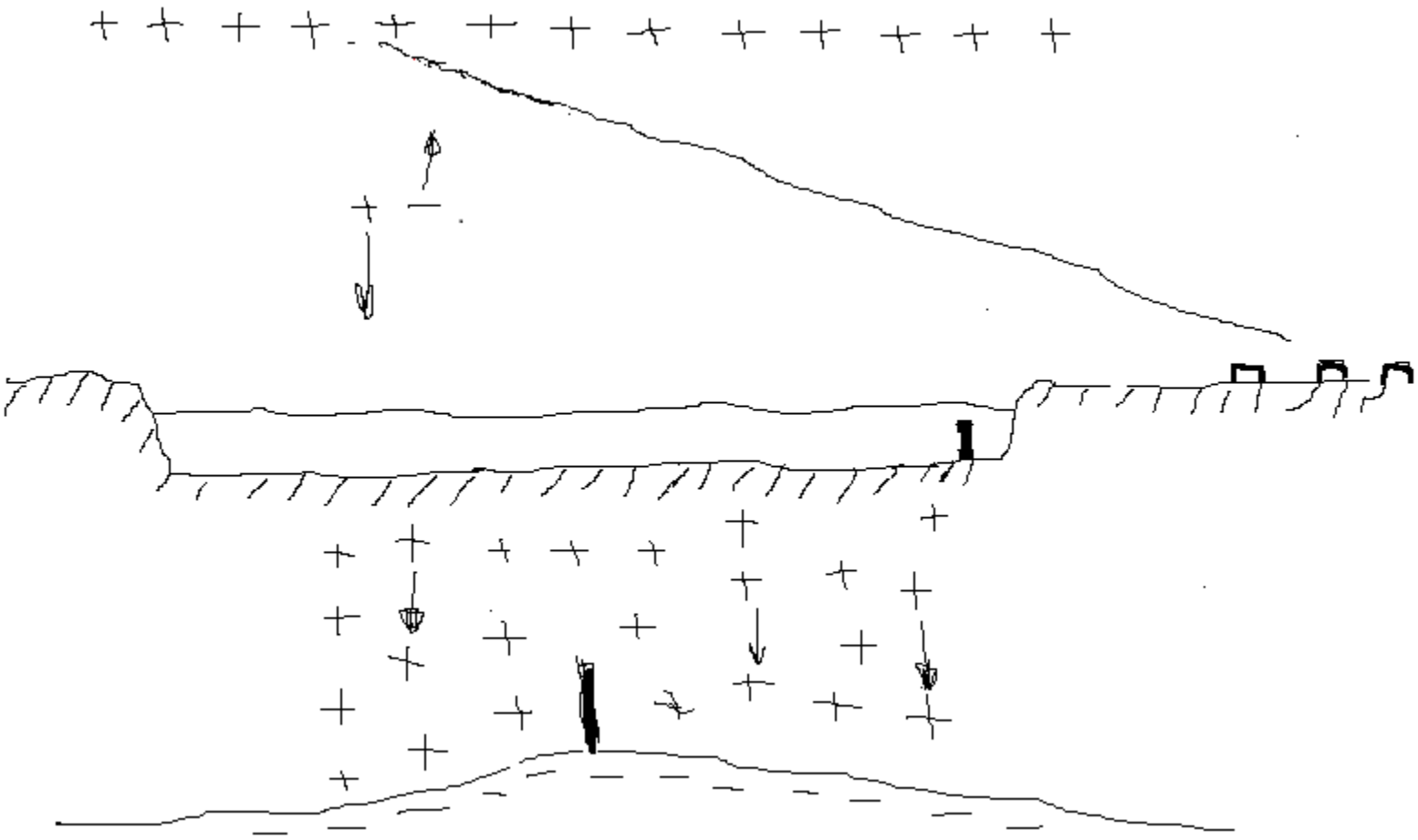
Mozumander, Y.Hatano Charged particles and photon interactions with matter, CRC Press 2003.

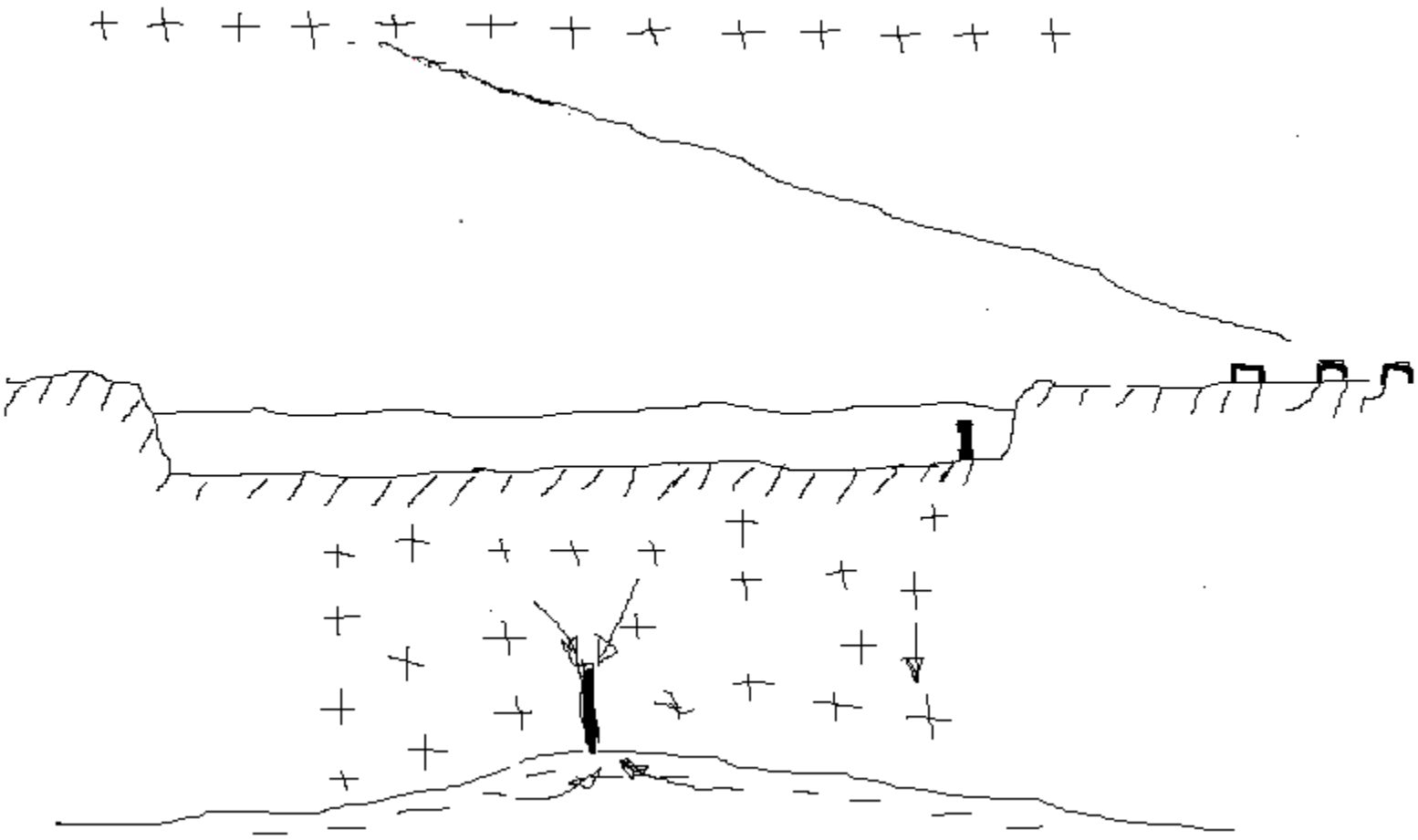
H.Dolezalek, R.Reiter Electrical Processes in atmospheres: proceedings of the fifth international held at Garmisch-Partenkirchen (Germany), 2–7 September 1974 pp 45-52.

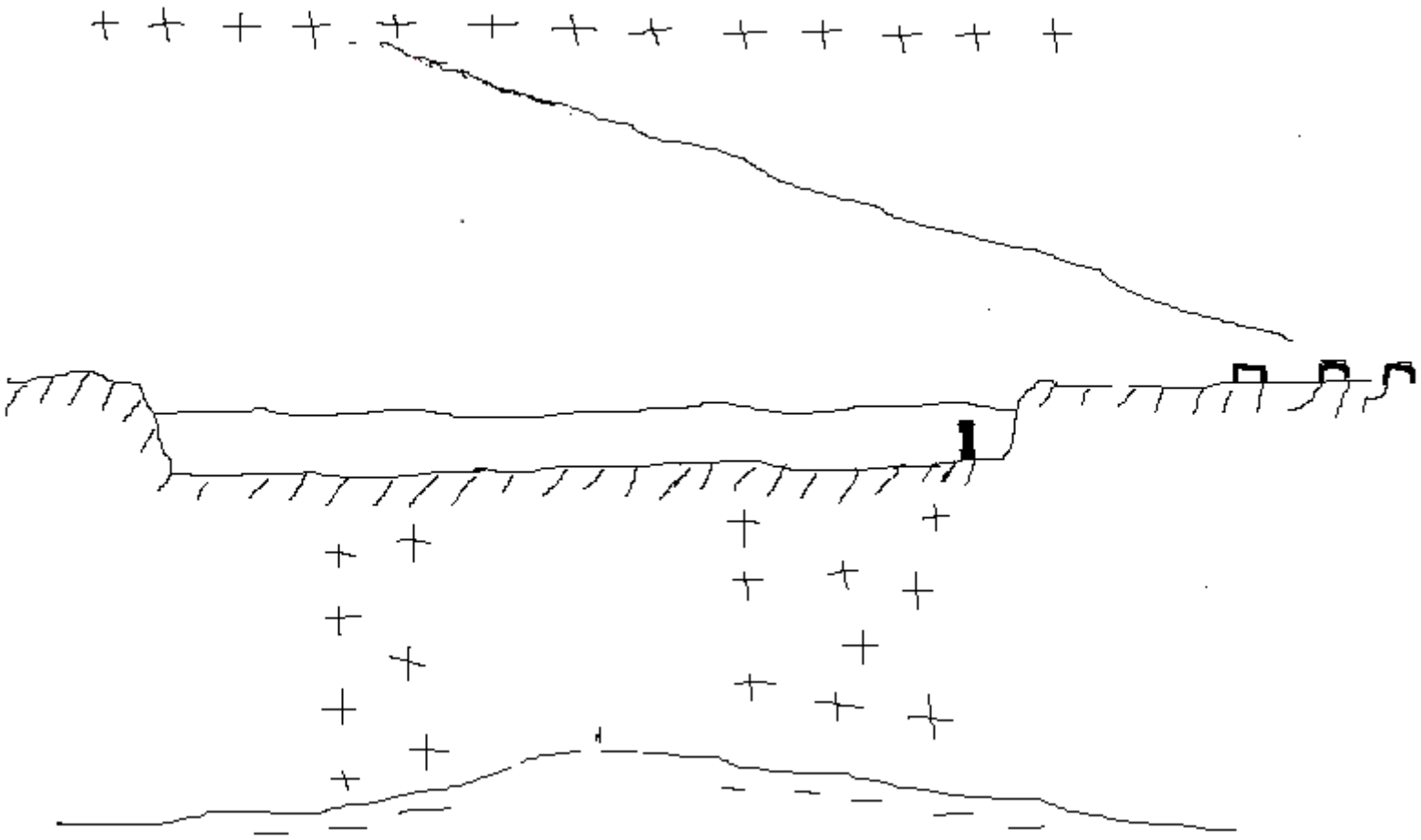
Hans Volland, Handbook of atmospheric electrodynamics, t.1, CRC Press, 1995.

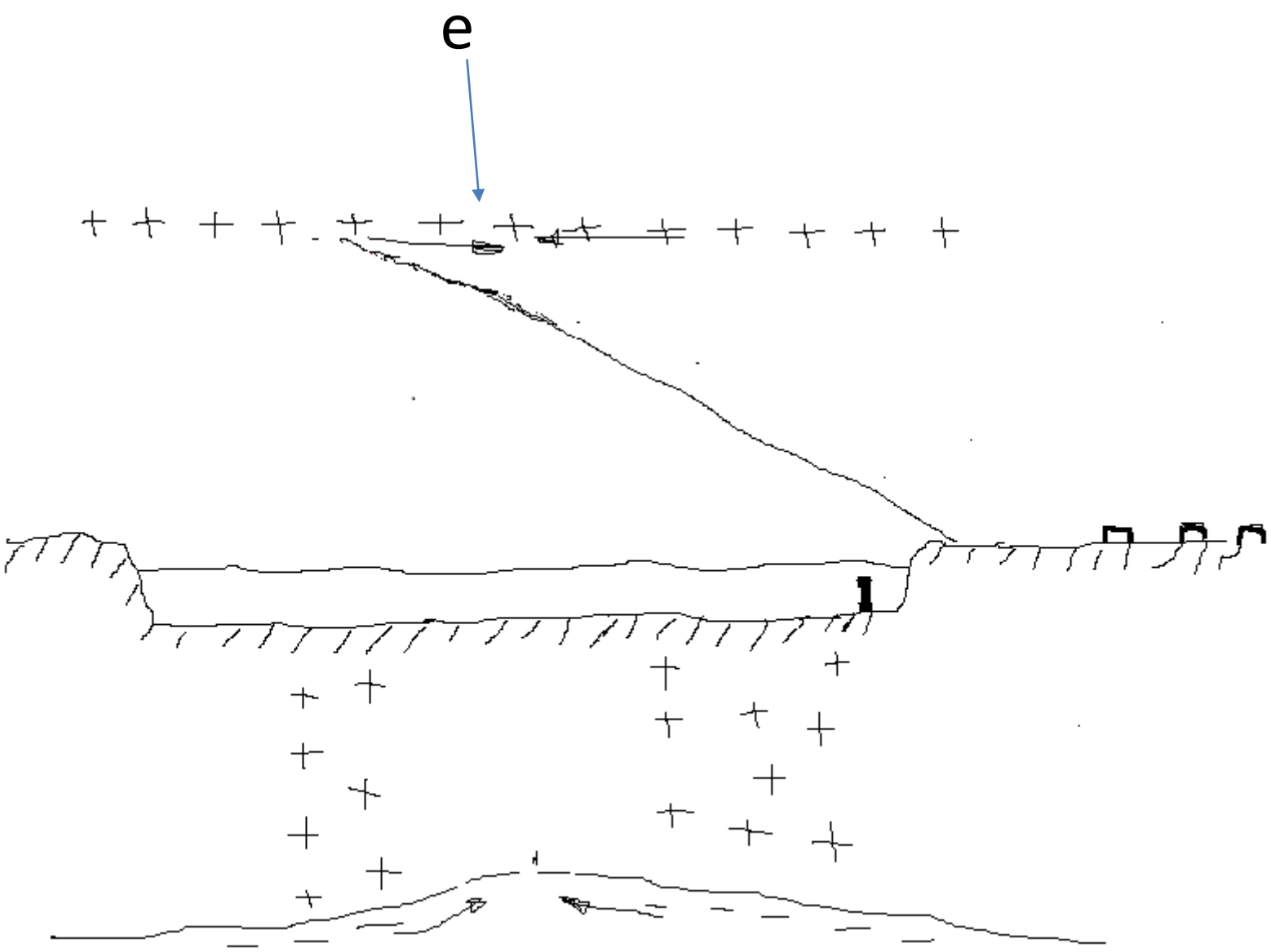
Воронки на Ямале

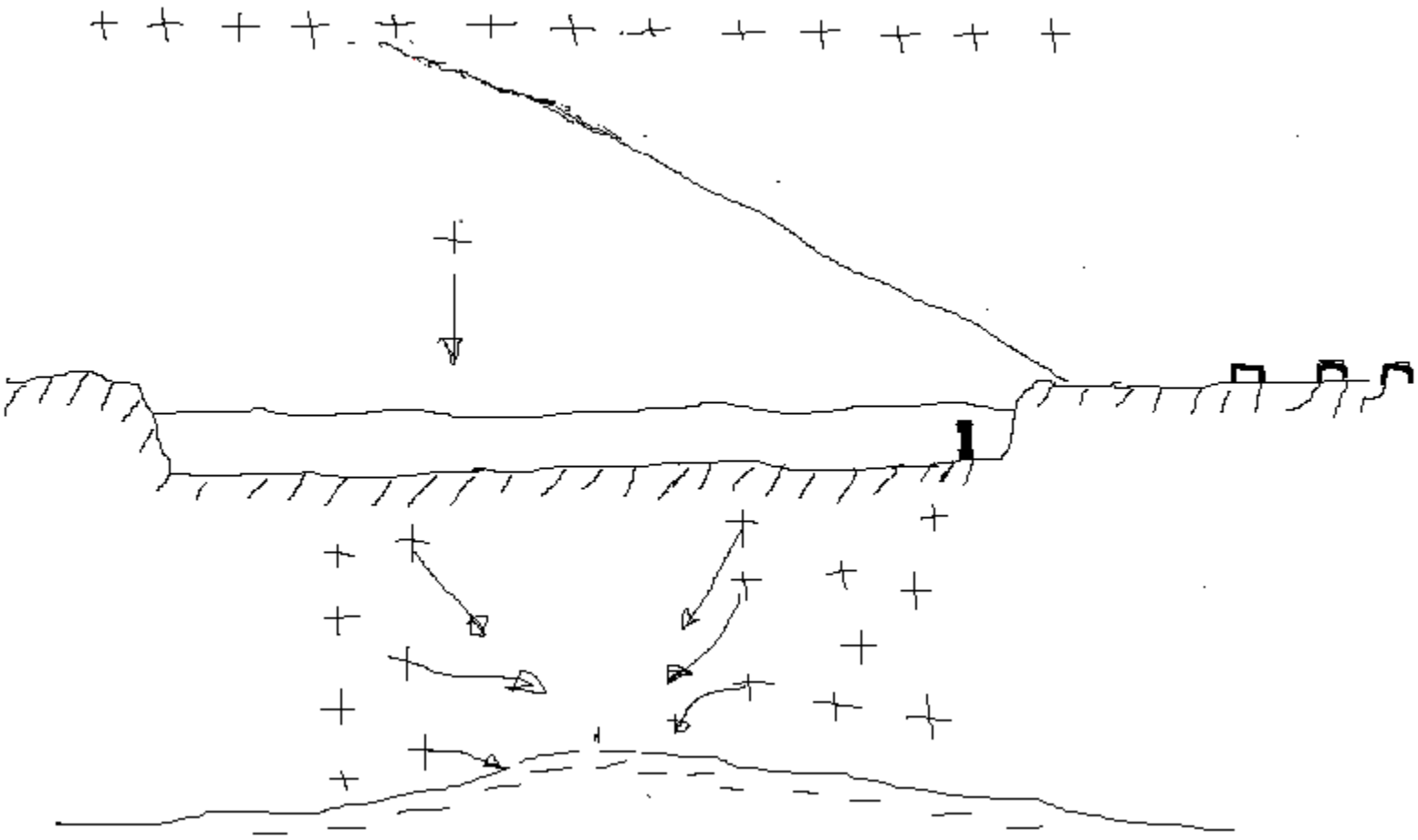


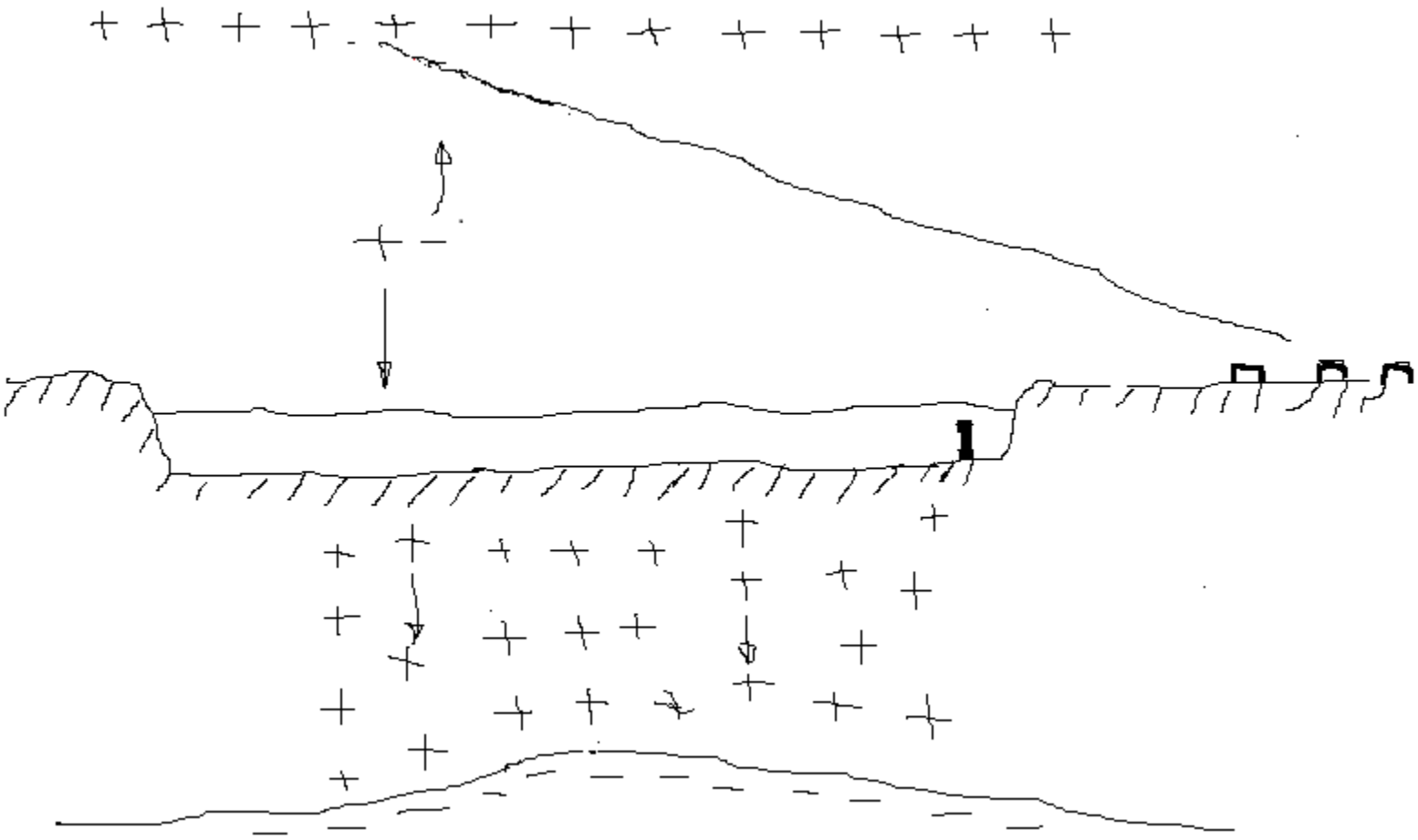







e





О землетрясении.

- Экспериментально показано, что подземные токи увеличиваются перед землетрясением и уменьшаются сразу после него.
- Экспериментально показано, что атмосферное электрическое поле достигает максимума с задержкой относительно момента землетрясения около 100 сек.
- Увеличение подземных токов может быть предвестником землетрясения, особенно на больших глубинах.

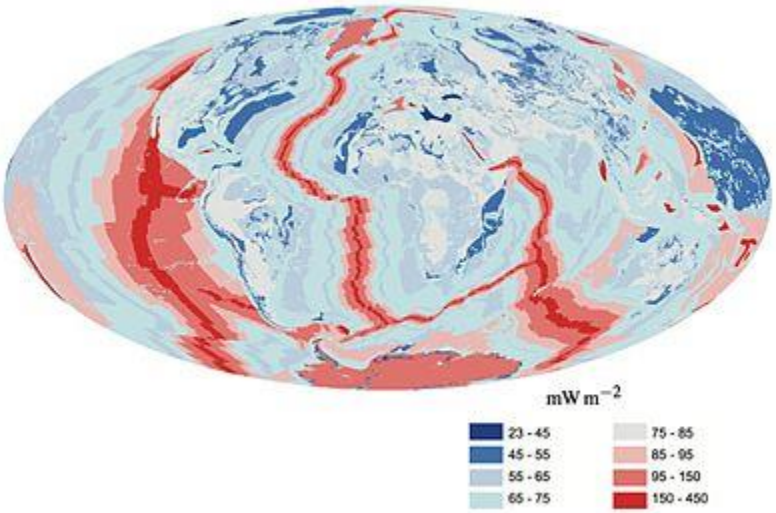
Землетрясение в рамках НЕ модели. Выводы.

- Подземный разряд может быть причиной землетрясения.
- Вертикальные токи протонов возрастают до землетрясения. Это – предвестники.
- В момент землетрясения происходит рекомбинация пол. и отр. зарядов под корой Земли.
- Отр. заряд под корой восстанавливается за 100 сек., пол. заряд коры восстанавливается значительно дольше – до нескольких суток, что приводит к увеличению эл. поля Земли до 100 раз.

Унитарная вариация в рамках НЕ модели.

- Может быть объяснена поднятием прогретых солнцем воздуха, наполненным положительно заряженными газами в районах рифтовых зон.

Global map of the flow of heat, in mWm^{-2}, from Earth's interior to the surface. Higher heat flows are observed at the locations of mid-ocean ridges, and oceanic crust has relatively higher heat flows than continental crust.



НОВОЕ

- 300 TW
- Кора Земли насыщена положительным зарядом – экспериментальное подтверждение предсказания НЕ модели
- Новая модель электрического поля Земли на основе НЕ модели – инструмент для предсказания землетрясений.