

Метеориты - катализаторы пребиотического синтеза молекул из формамида под действием ионизирующих излучений

*М.И. Капралов, Г.Н. Тимошенко, Е.А. Красавин, А.Ю. Розанов,
Р. Саладино, Дж. Ботта, М. Делфино, Э. Ди Мауро*



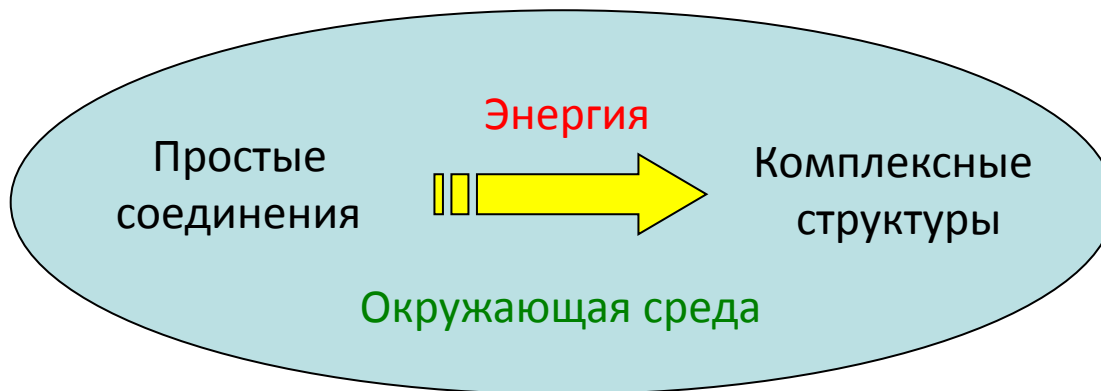
E. Di Mauro



R. Saladino



Происхождение жизни на Земле



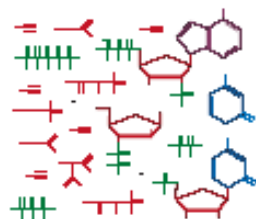
Formation of Earth

4.5



Stable hydrosphere

4.2



Пребиотическая химия

4.2–4.0



Мир пре-РНК

~4.0



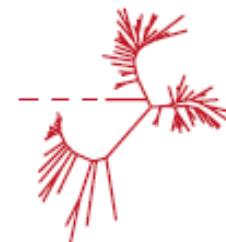
Мир РНК

~3.8



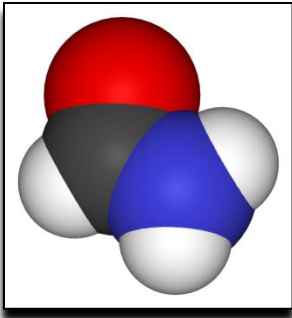
Первые ДНК и белки

~3.6



Живые организмы

3.6–present



Формамид как объект исследования

"Simulations based on Density Functional Theory show that formamide is the most stable species with molecular formula "CHON"

Pauzat, F. et al. 6th EANA **2006**



"This one-carbon molecule was detected in the gas phase of interstellar medium " Crovisier, J. Astrobiology: Future Perspectives, Kluwer Eds, **2004** Chapter 8, p. 179-203.



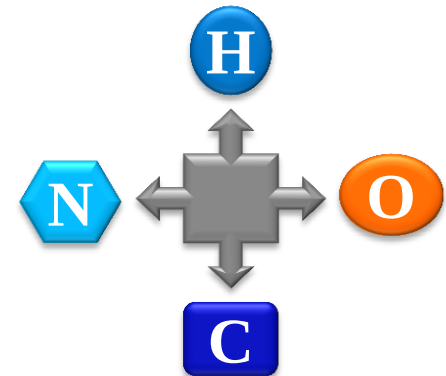
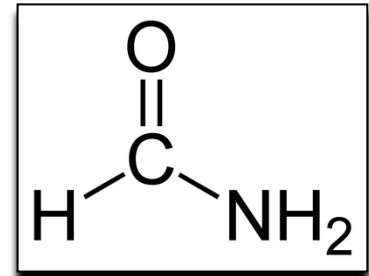
"in the long period comet Hale-Bopp" Bockelee-Morvan, D. et al. *Astr. Astrophys.* **2000**

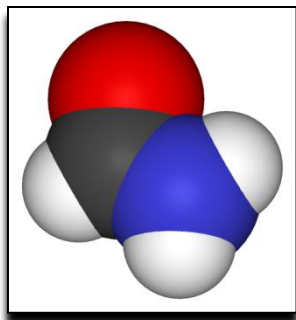


"in the solid phase on grains around the young stellar object W33A " W.A. Schutte et al. *Astr. Astrophys.* **1999**

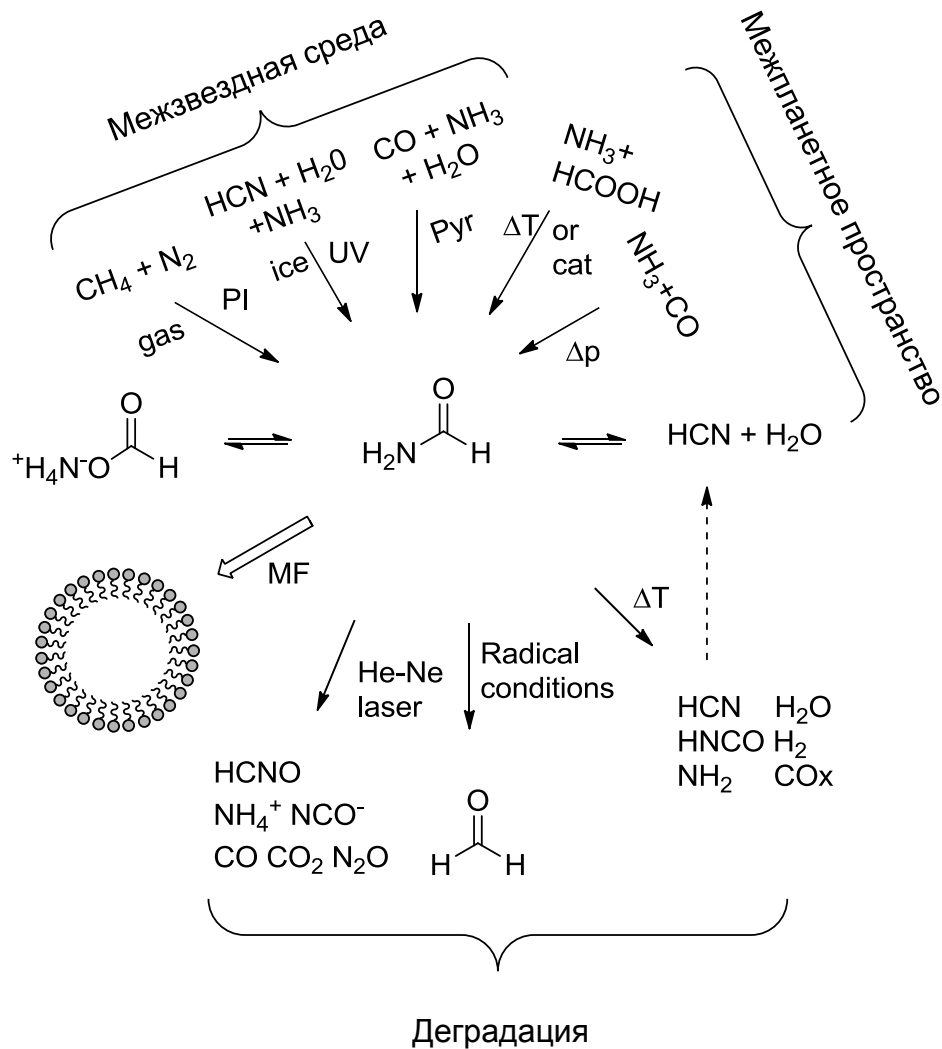
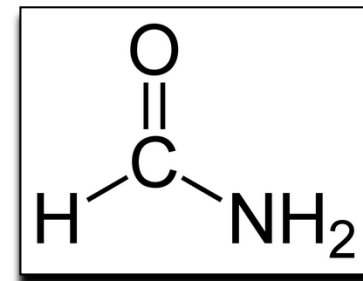


«in the gas surrounding IRAS 16293-2422, a sun-like forming star in the Rho Ophiuci nebula». *Astrophysical Journal Letter* (ApJ 763, L38), **2013**

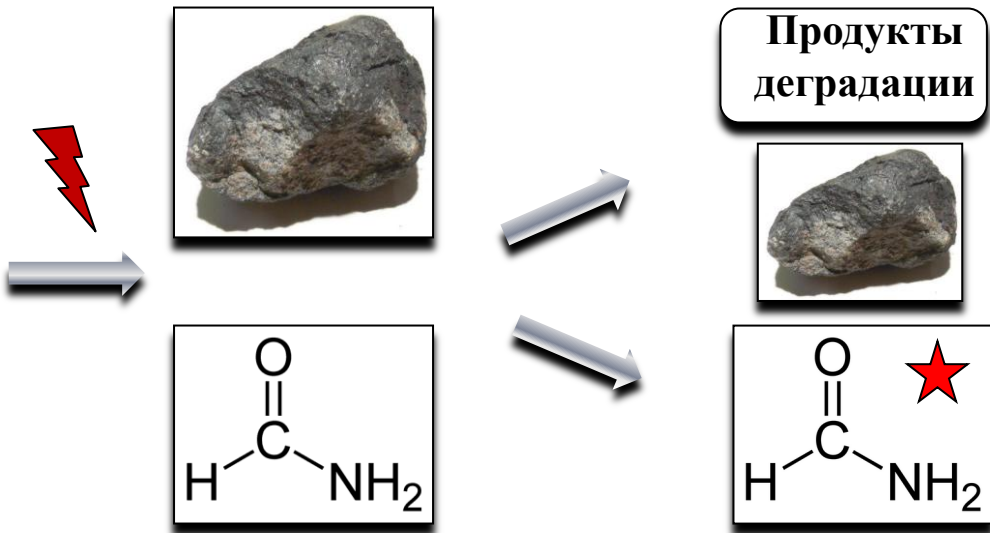




Химия формамида



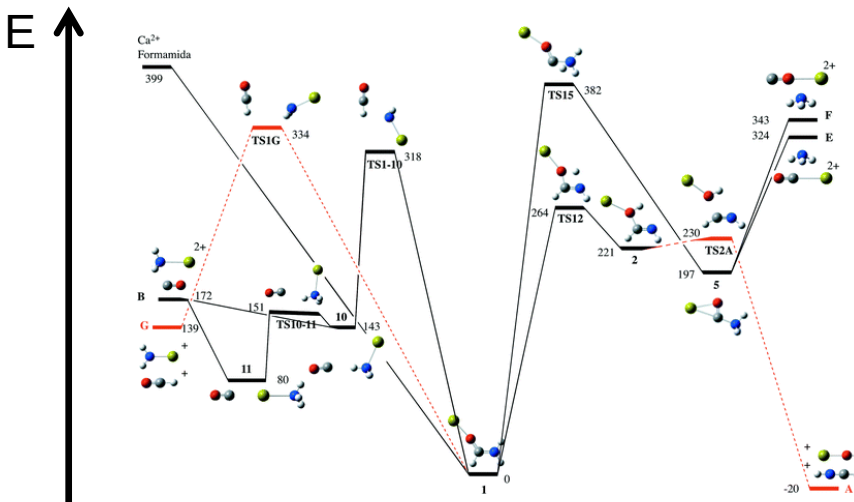
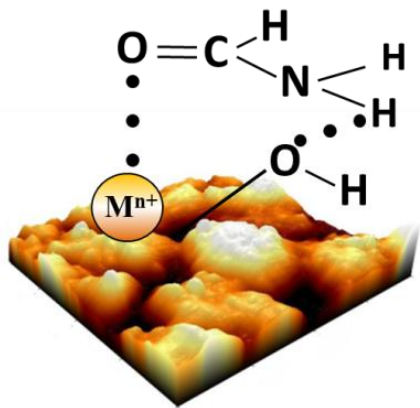
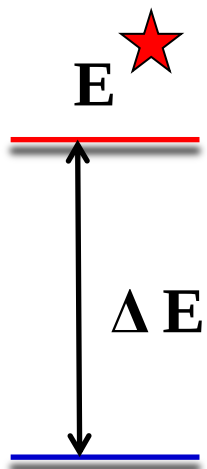
Радиационная химия формамида. Метеориты.



Метеорит как катализатор полимеризации

ВЫСОКАЯ АКТИВНОСТЬ

Био- молекулы



Исследование формамида. Синтез биомолекул.

Метеориты

	Название	Класс	Тип
1 2	Canyon Diablo Campo del Cielo	Железный Железный	Гексаоктаэдрит норм. Гексаоктаэдрит крупный
3	NWA4482	Железо-каменный	Палласит
4 5 6 7	NWA2828 Gold basin Orgueil NWA1465	Хондрит Хондрит Хондрит Хондрит	Энстатит Обыкновенный Углеродистый LV3 Anomalous
8 9	NWA5357 Al Haggounia	Ахондрит Ахондрит	Диогенит Аубрит

Железные метеориты



**Canyon
Diablo**



**Campo del
Cielo**

Железокаменные метеориты



NWA 4482

Ахондриты



NWA 5357



Al Haggounia

Хондриты



Gold Basin



NWA 1465

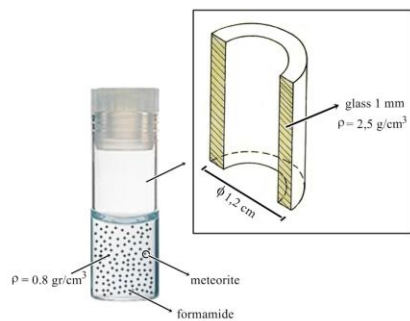


Orgueil

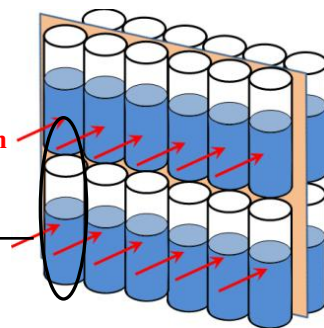


NWA 2828

Эксперимент, p^+



P
170 MeV
LET = 0,57 keV/ μ m
 $t = 3$ min
 $T = 25^\circ\text{C}$

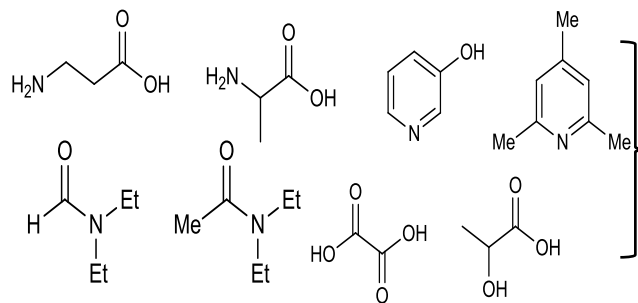


без радиации

НЕТ ПРОДУКТОВ



РАДИАЦИЯ



Фазотрон, ОИЯИ

Небольшое количество

РАДИАЦИЯ

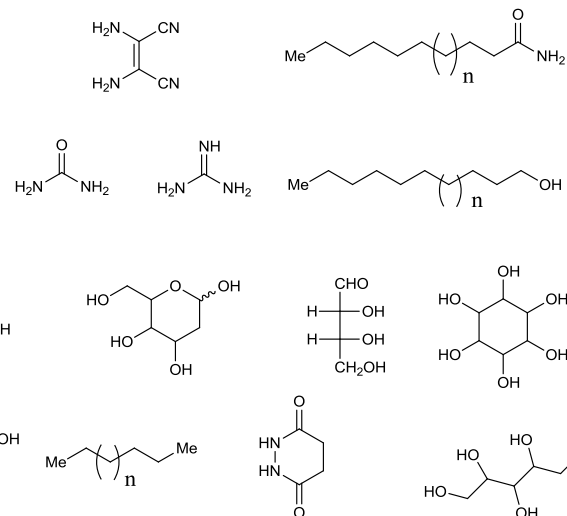


Большое количество

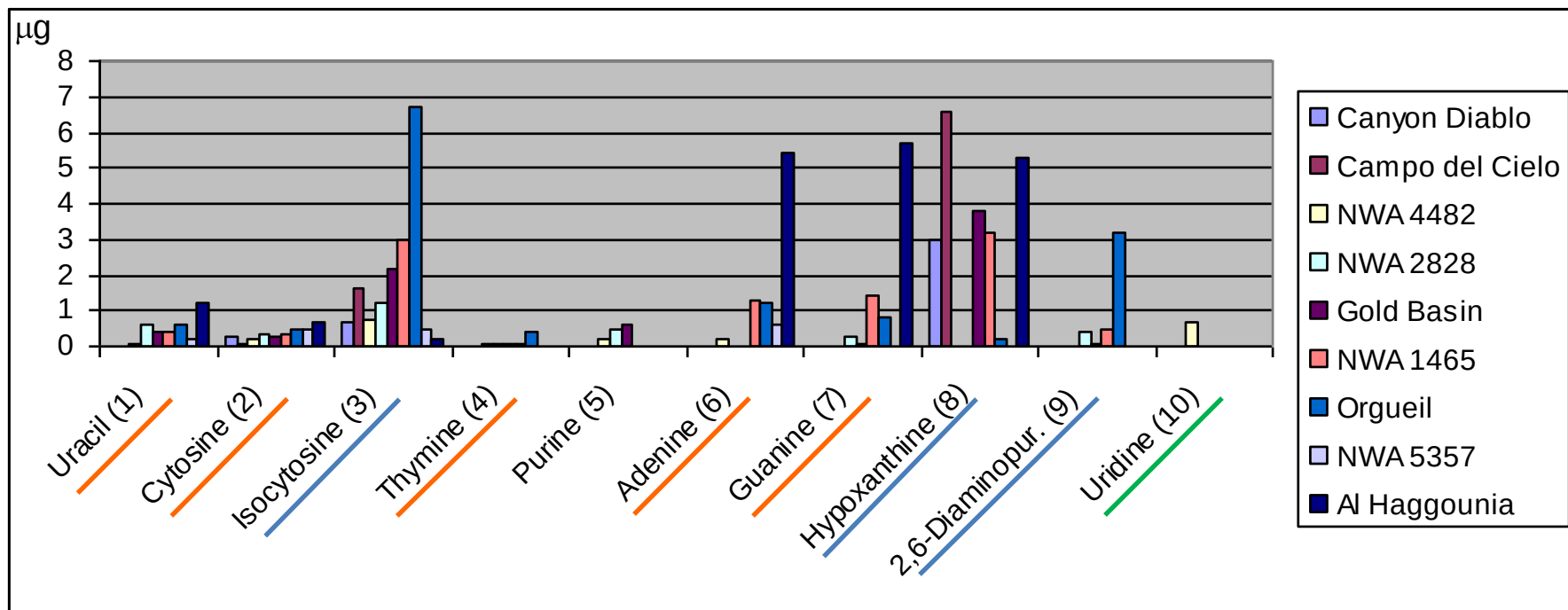
Продукты реакции



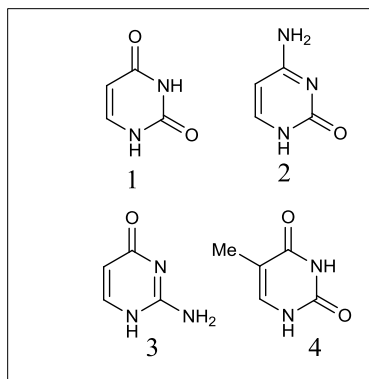
Другие молекулы



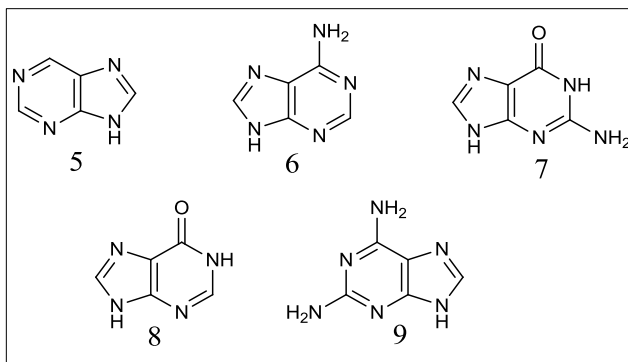
Нуклеиновые основания и Нуклеозиды



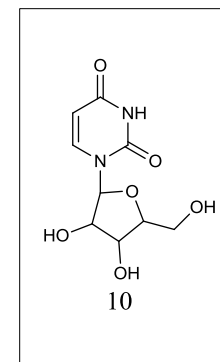
Пиримидины



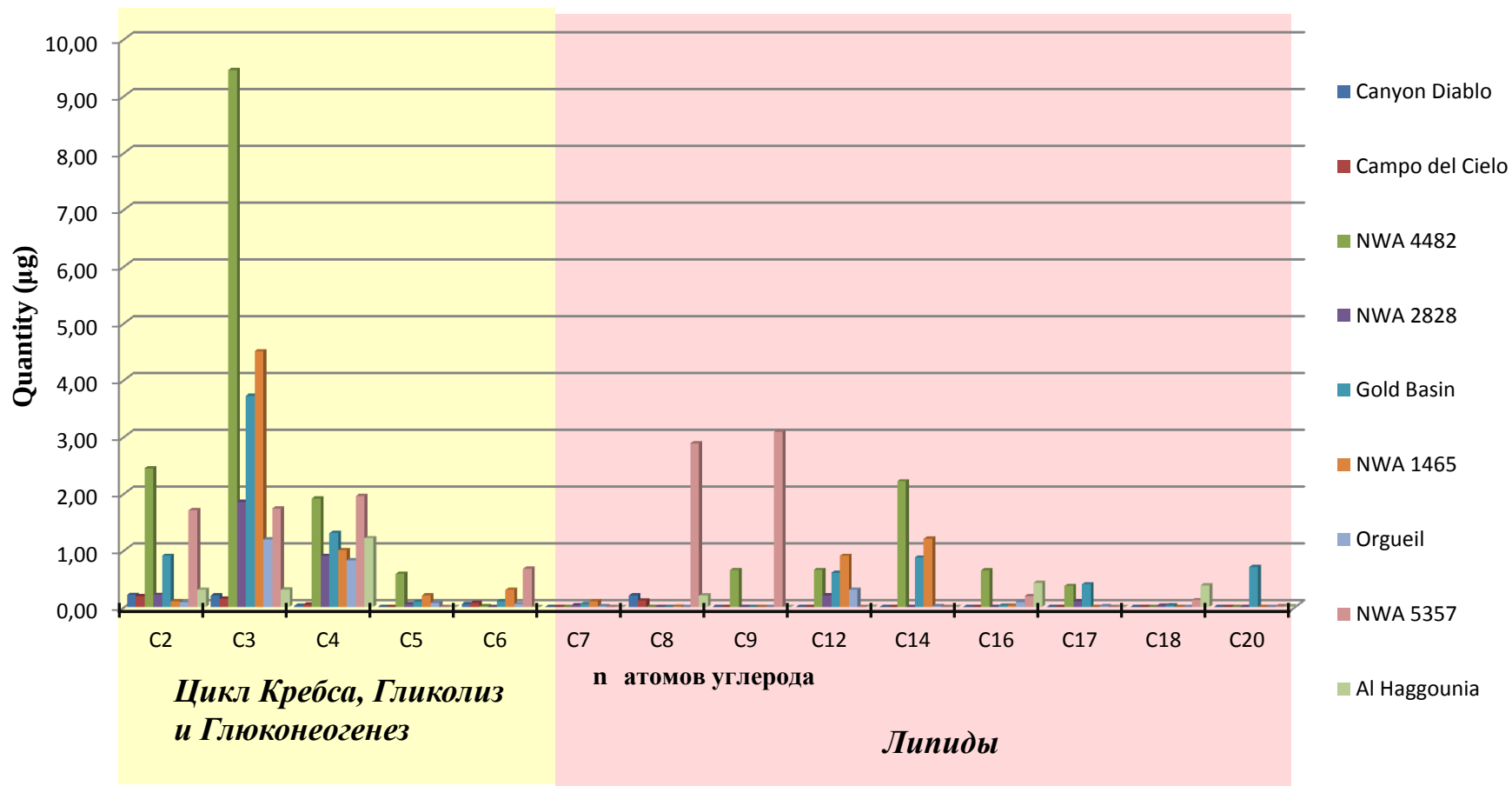
Пурины



Уридин



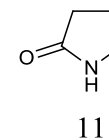
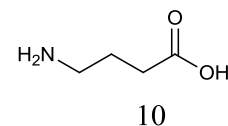
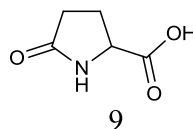
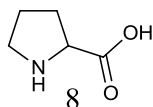
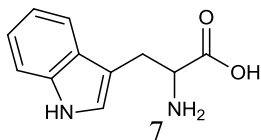
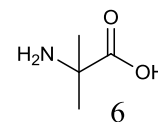
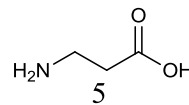
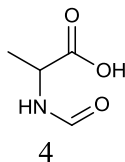
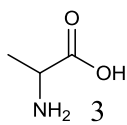
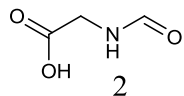
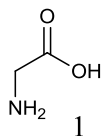
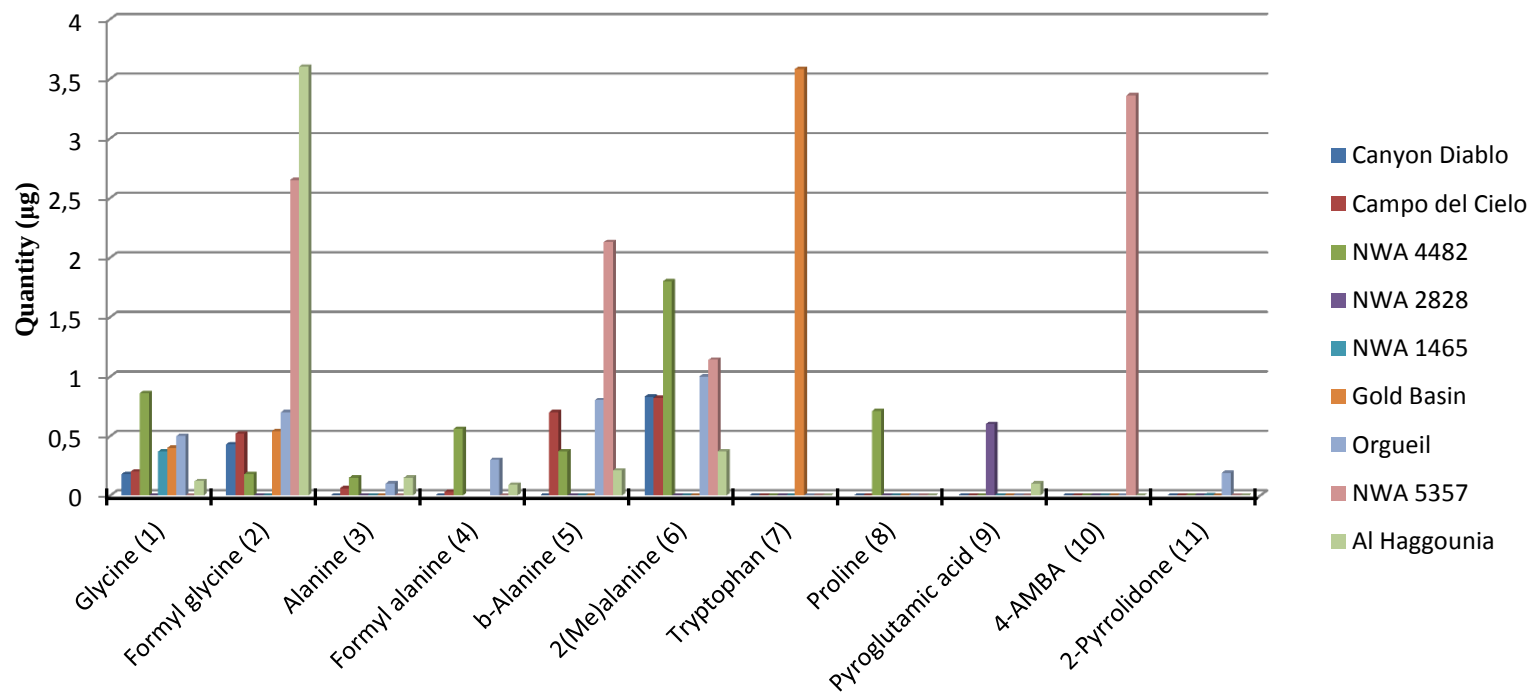
Карбоновые кислоты



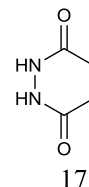
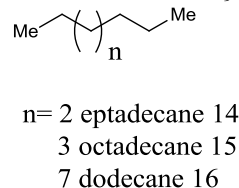
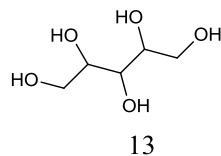
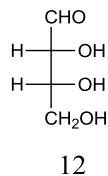
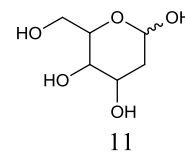
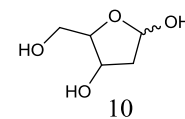
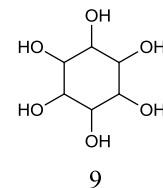
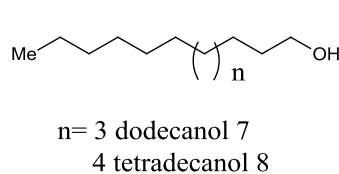
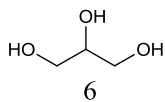
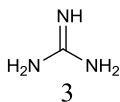
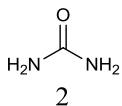
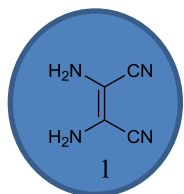
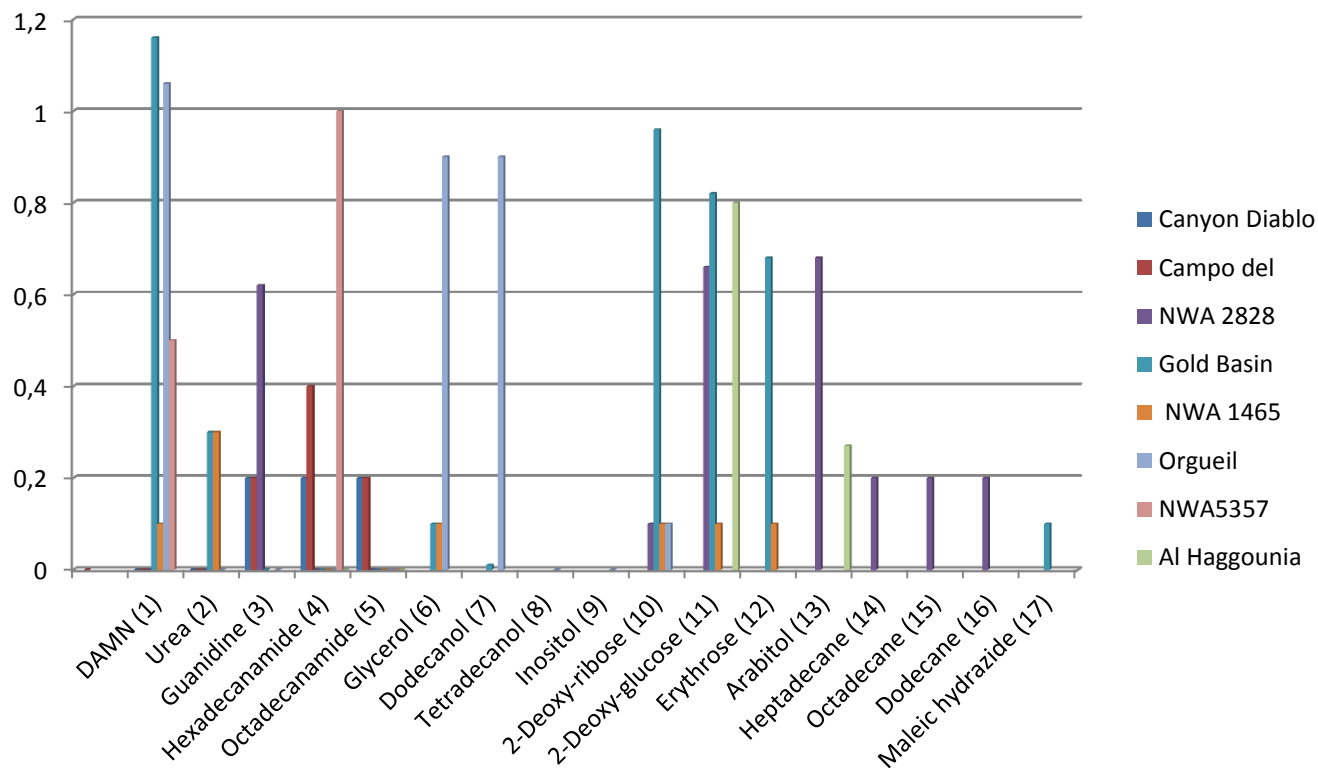
Карбоновые кислоты

N C-atoms	Products	Canyon Diablo	Campo del Cielo	NWA 4482	NWA 2828	Gold Basin	NWA 1465	Orgueil	NWA 5357	AI Haggounia
C2	Oxalic (1)	0.11	0.19	1.93	0.21	0.9	0.1	0.08	1.6	0.2
	Glycolic (2)	0.1	-	0.51	-	-	-	-	0.1	0.1
C3	Pyruvic (3)	0.09	0.13	0.33	0.05	0.016	2.1	-	1.33	0.012
	Parabanic (4)	-	-	-	1.8	2.5	1.5	1.12	-	0.002
	Lactic (5)	0.1	-	5.89	2.4	1.2	0.9	7.4	0.04	0.09
	Malonic (6)	0.01	0.01	3.23	-	-	-	-	0.36	0.2
	Succinic (7)	-	-	0.37	0.9	1.3	1.0	0.8	-	0.03
	Oxaloacetic (8)	0.02	0.04	1.54	-	-	-	22.2	1.95	1.18
C5	Ketoglutaric (9)	-	-	0.58	0.05	0.09	0.2	0.07	-	-
C6	Hexanoic (10)	0.01	0.04	-	-	-	-	-	0.67	-
	Ketoisocaproic (11)	0.03	0.022	-	-	-	-	-	-	-
	Citric	0.01	0.01	0.01	-	0.1	0.3	0.05	-	-
C7	Pimelic (12)	-	-	-	0.03	0.05	0.1	0.01	-	-
C8	Octanoic (13)	0.2	0.11	-	-	-	4.6	-	2.88	0.2
C9	Nonanoic (14)	-	-	0.65	-	-	-	-	3.08	-
	Azelaic (15)	-	-	0.58	1.1	2.9	4.3	10.4	-	-
C12	Lauric (16)	-	-	0.65	0.2	0.6	0.9	0.3	-	0.004
C14	Myristic (17)	-	-	2.21	-	0.87	1.2	11.6	-	-
C16	Palmitic (18)	-	-	0.64	2.5	16	20	87.7	0.19	0.423
C17	Heptadecanoic (19)	-	-	0.37	0.1	0.4	-	11.2	.-	-
C18	Stearic (20)	-	-	-	2.6	24.7	-	-	0.12	0.38
C20	Arachidic (21)	-	-	-	-	0.7	-	-	0.01	0.01

АМИНОКИСЛОТЫ



Сахара и др.



Эксперимент, В¹¹

Метеориты:

Dohfar 959

Gold Basin

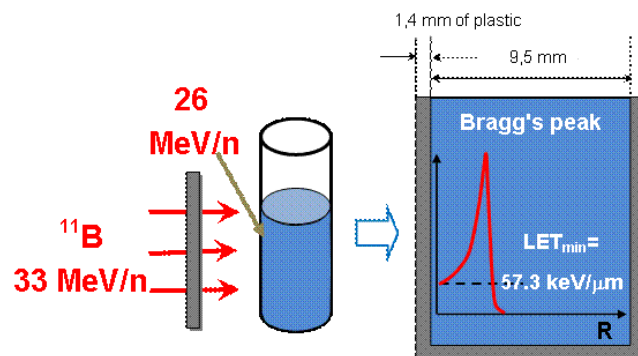
NWA1465

Chelyabinsk

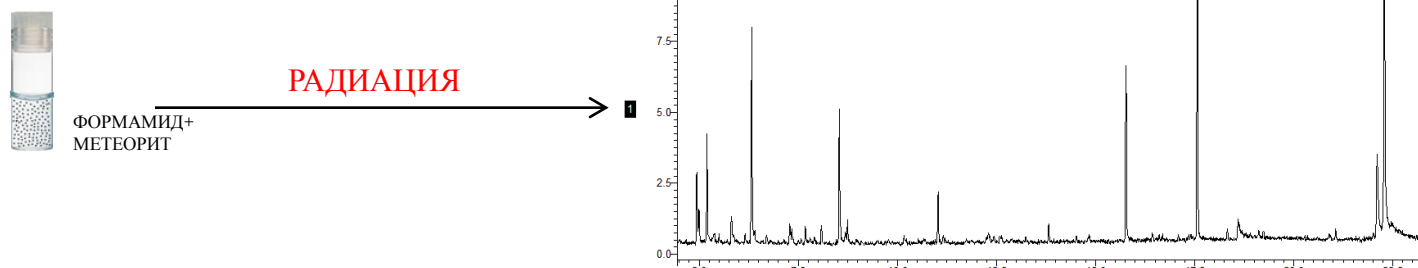
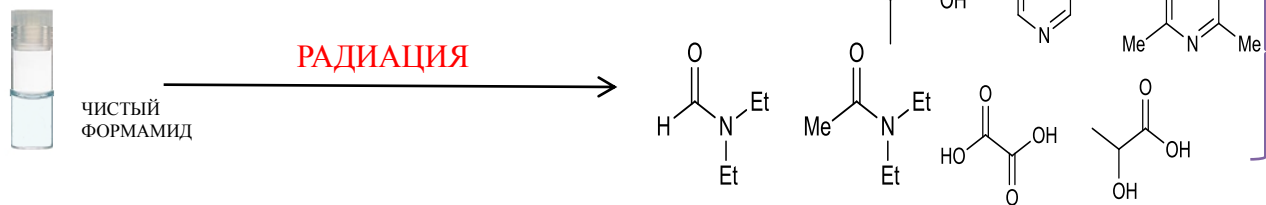
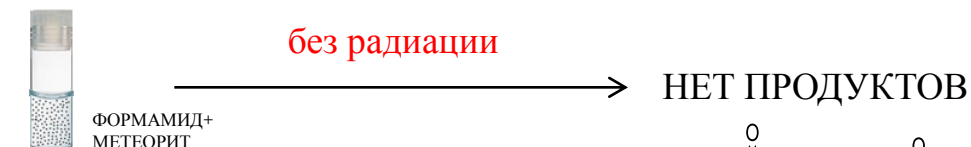
NWA 4482

хондриты

- железокaмен.



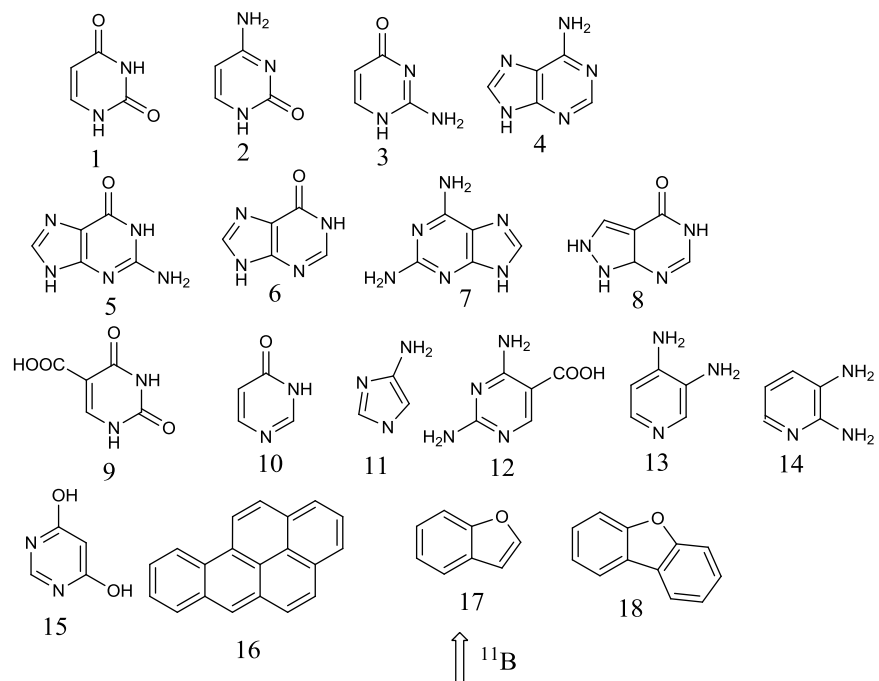
JINR-Cyclotron U400M



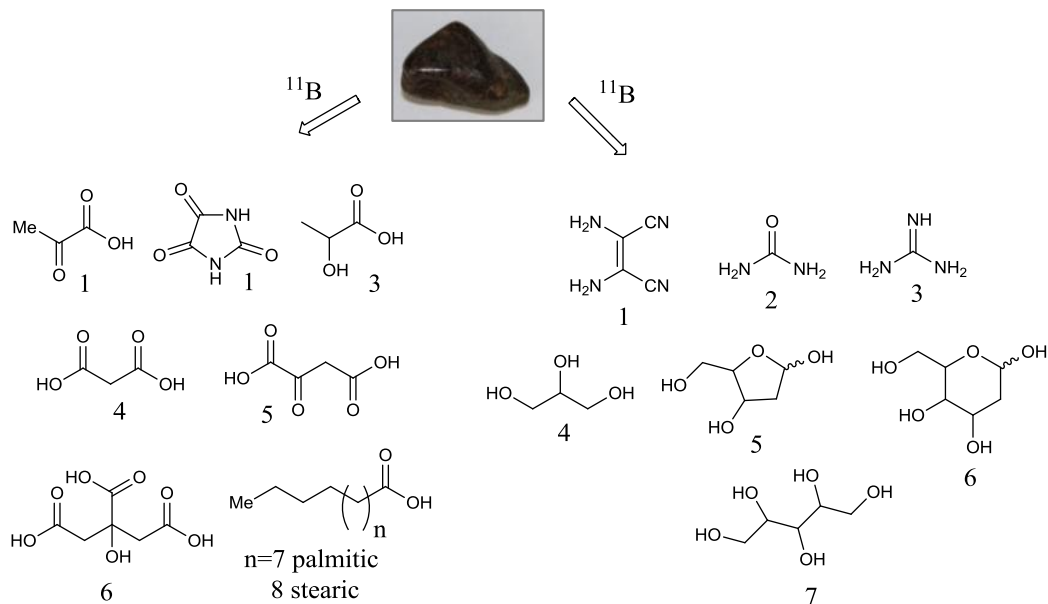
Результаты схожи с протонным излучением

Эксперимент В¹¹

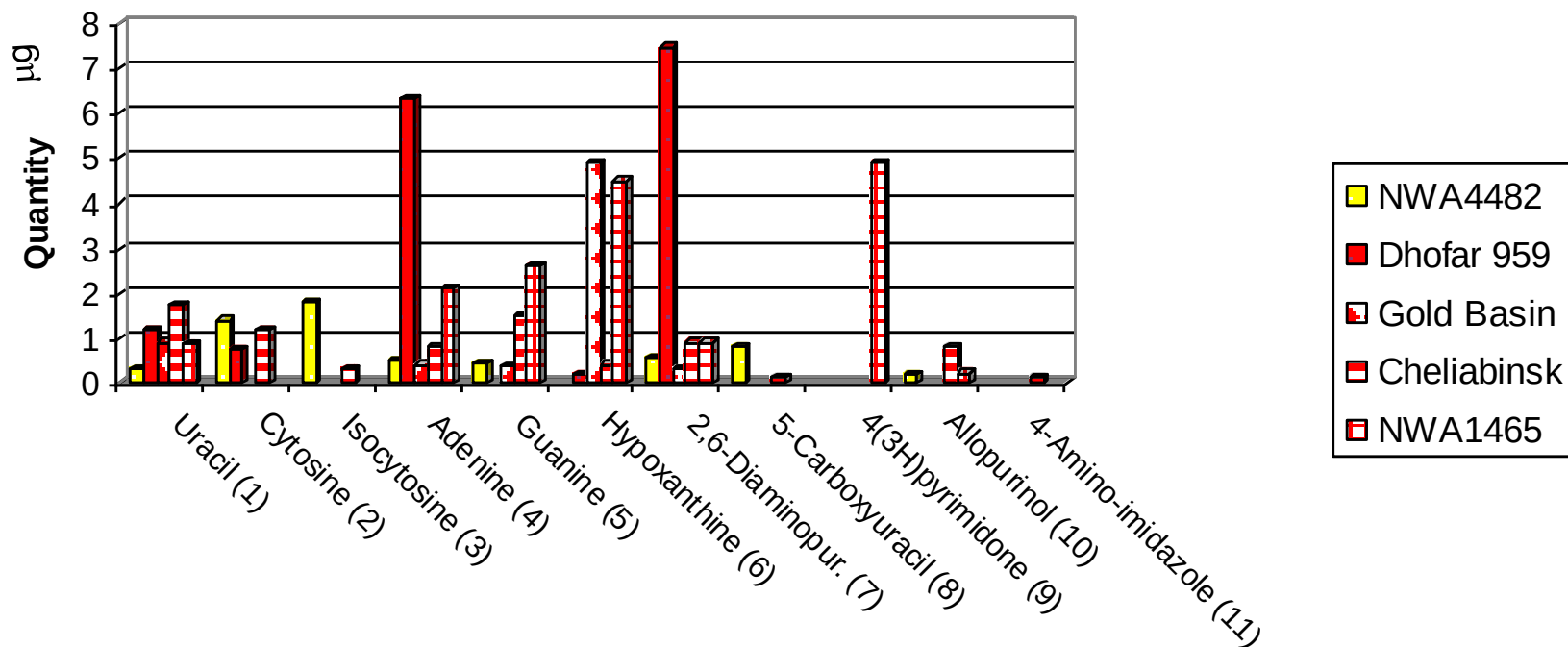
Синтез нуклеиновых оснований, карбоновых кислот и др.



более избирательный характер чем p^+

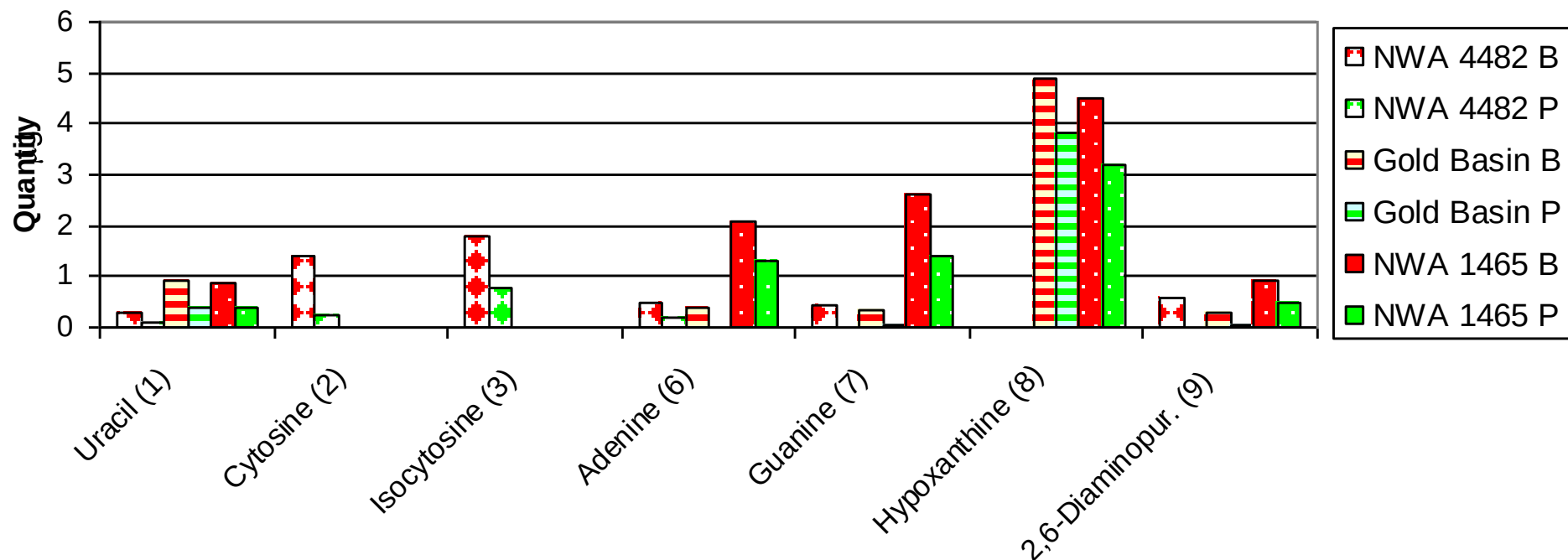


Нуклеиновые основания и гетероциклы



Сравнение между железокламенным (желтый цвет) и хондритами (красный).

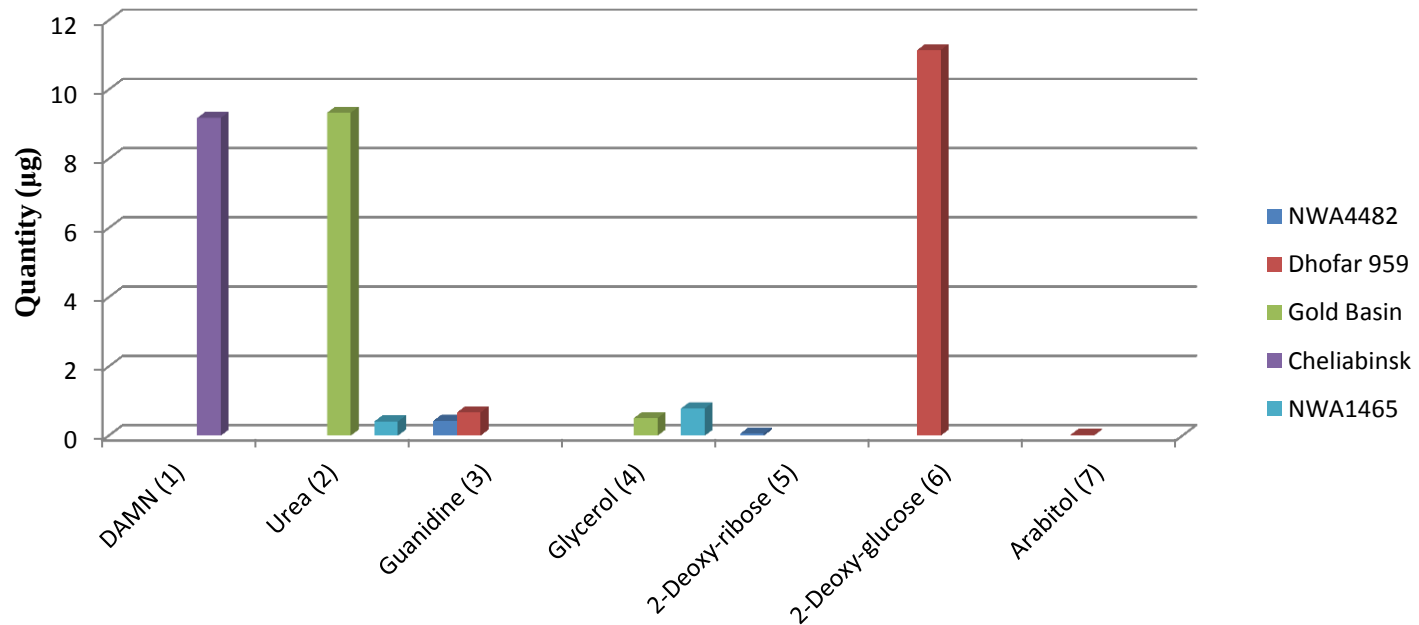
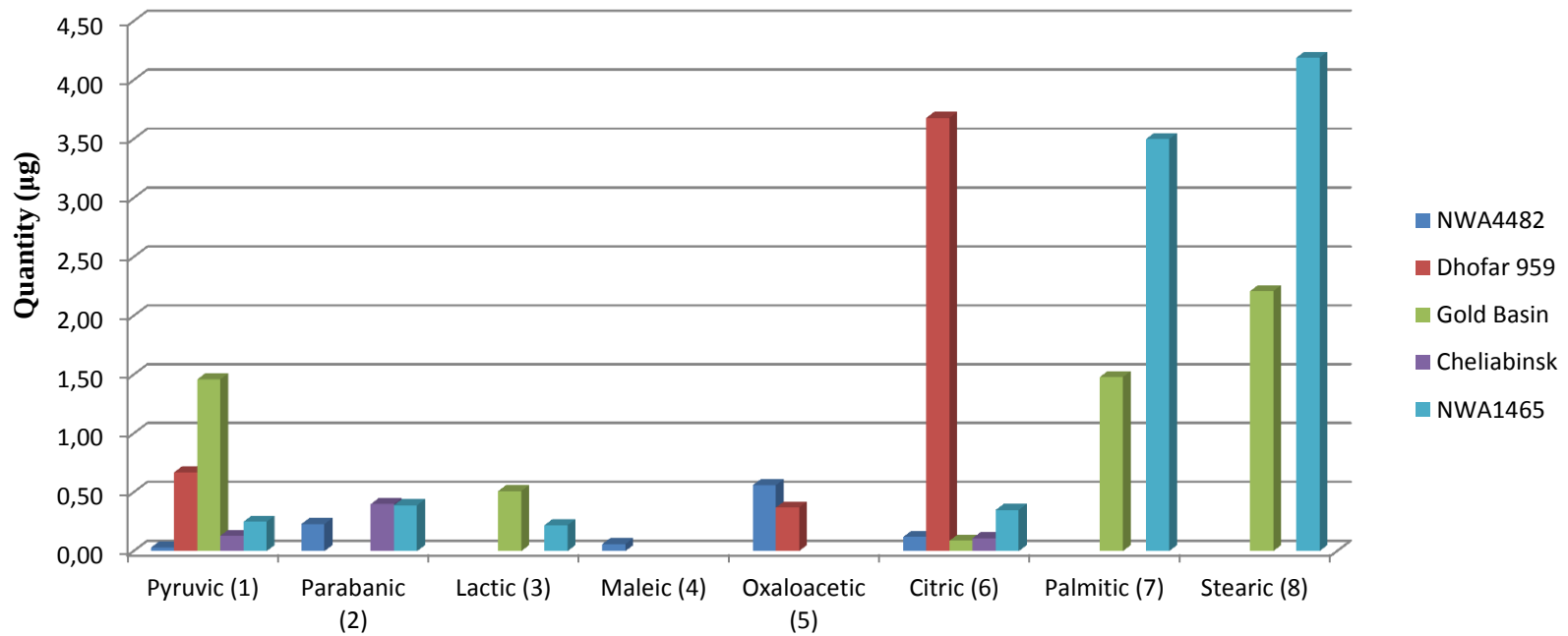
^{11}B vs P^+ . Нуклеиновые основания



 ^{11}B radiation
 P^+ radiation

Атомы бора более эффективны, чем протоны

Карбоновые кислоты, сахара и др.



Нейтронный активационный анализ (НАА) метеоритов

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo



ИБР-2
ОИЯИ



Железные и железо-каменные

Элементы 22	Железные метеориты		
	Canyon Diablo Concentration mg/kg	Campo del Cielo Concentration mg/kg	Sikhote Alin Concentration mg/kg
Na	126 5	193 8	69 3
Al	129 4	807 17	232 6
Cl	132 13	347 28	107 12
Ca	160 49	662 108	-
V	0,3 0,05	27 0,9	0,4 0,05
Cr	405 26	361 24	377 27
Mn	35 2	79 5	35 3
Fe	828000 42808	868000 44876	915000 47306
Co	4000 76	4350 83	4540 86
Ni	48800 4089	46400 3888	46800 3922
Cu	145 38	212 55	176 45
Zn	244 19	168 17	-
As	19 0,4	12 0,3	11 0,3
Br	1,2 0,4	0,4 0,1	-
Mo	11 3,2	8,4 2,5	7 2
Sb	0,6 0,02	0,2 0,01	0,1 0,009
Ba	537 35	-	-
La	1,3 0,09	1,3 0,08	0,6 0,07
Sm	0,2 0,06	0,2 0,06	0,1 0,03
W	1,6 0,5	1,2 0,4	0,8 0,3
Au	1,7 0,5	1,5 0,5	1,4 0,4
U	0,2 0,03	-	-

Элементы 29	Железо-каменные	
	Seymchan	NWA-4482
	Concentration mg/kg	Concentration mg/kg
Na	1660 62	684 26
Mg	225000 39285	43500 7617
Al	1770 36	3030 60
Si	189000 65848	222000 81563
Cl	-	364 36
K	-	1130 124
Ca	639 113	1570 195
Sc	1 0,07	-
Ti	-	495 78
V	11 0,4	40 1
Cr	310 14	3100 125
Mn	1590 82	389 21
Fe	186000 9486	378000 19278
Co	533 10	1860 36
Ni	12800 1032	3300 266
Cu	86 32	86 32
As	5 0,1	10 0,2
Se	2 0,1	-
Br	0,2 0,07	0,4 0,1
Mo	2 0,8	3 0,8
Sb	0,08 0,004	0,2 0,008
Cs	0,105 0,03	-
Ba	-	130 11
La	0,4 0,03	1 0,05
Sm	0,09 0,03	0,1 0,04
Hf	-	2 0,8
Au	0,6 0,2	0,7 0,2
Th	0,2 0,05	-
U	0,1 0,007	1 0,07

Хондриты и ахондриты

Элементы 29	Хондриты		
	NWA-2828	Gold Basin	Dhofar 959
	Concentration mg/kg	Concentration mg/kg	Concentration mg/kg
Na	6780 253	4860 182	5670 212
Mg	134000 23410	158000 29657	142000 26639
Al	11200 217	11700 287	10800 264
Si	276000 96103	251000 59537	160000 39008
Cl	753 69	568 59	1520 118
K	856 151	-	-
Ca	10100 965	14200 1576	15100 1604
Sc	9 0,2	7,7 0,189	8,43 0,197
Ti	719 111	534 90	683 77
V	67 2	76,4 3	67,2 2
Cr	2420 97	3730 150	3840 154
Mn	425 24	2680 146	2190 119
Fe	196000 9996	216000 11038	260000 13260
Co	293 6	516 10	744 14
Ni	5220 421	11700 943	16400 1322
Cu	-	294 107	359 1276
Zn	19 3	77,5 6	118 6
As	5 0,104	3,12 0,075	2,29 0,059
Se	9 0,6	12,3 0,882	8,22 0,690
Br	4 1	0,4 0,121	0,427 0,129
Mo	1,3 0,4	2,32 0,701	2,07 0,625
Sb	0,09 0,004	0,297 0,012	0,0882 0,005
Cs	-	-	0,851 0,057
Ba	171 10	291 18	90,7 9
La	0,3 0,04	0,828 0,061	0,646 0,053
Sm	0,04 0,01	0,252 0,076	0,203 0,061
W	0,3 0,1	0,741 0,232	0,358 0,118
Au	0,2 0,07	0,19 0,057	0,278 0,083
U	0,7 0,04	0,07 0,007	0,05 0,007

Элементы 30	Ахондриты	
	NWA-5357	Al Haggounia
	Concentration mg/kg	Concentration mg/kg
Na	1380 52	6030 225
Mg	180000 33768	146000 27390
Al	13300 323	10500 255
Si	267000 62131	186000 43115
Cl	-	934 75
K	-	1130 176
Ca	23400 2431	22400 2309
Sc	13 0,3	8 0,2
Ti	771 95	407 50
V	161 5	51 2
Cr	11000 440	2880 116
Mn	3580 194	518 30
Fe	120000 6132	190000 9690
Co	22 0,4	286 6
Ni	115 10	5070 409
Cu	445 157	-
Zn	25 2	59,8 4
As	0,3 0,01	3 0,08
Se	0,5 0,06	9 0,6
Br	0,1 0,03	3 0,9
Mo	0,3 0,1	1 0,36
Sb	0,03 0,002	0,2 0,009
Cs	-	0,4 0,04
Ba	67 4	357 19
La	0,4 0,03	0,5 0,05
Sm	0,2 0,06	0,1 0,04
Tb	0,03 0,005	-
W	-	0,2 0,08
Au	0,002 0,001	0,1 0,03
U	0,04 0,004	0,4 0,02

Сравнение с литературными данными

Sikhote Alin			
Elements	NAA data		Literature data
	мг/кг	%	%
Fe	915000,00	91,50	94
Ni	46800,00	4,68	5,5
Co	4540,00	0,45	0,38
Cr	377,00	0,04	-
Al	232,00	0,02	-
Cu	176,00	0,02	-
Cl	107,00	0,01	-
Na	69,00	0,01	-
Mn	34,90	0,01	-
As	11,40	<0,01	-
Mo	6,78	<0,01	-
Au	1,40	<0,01	-
W	0,81	<0,01	-
La	0,56	<0,01	-
V	0,40	<0,01	-
Sb	0,10	<0,01	-
Sm	0,09	<0,01	-

Campo del Cielo			
Elements	NAA data		Literature data
	мг/кг	%	%
Fe	868000,00	86,80	92,6
Ni	46400,00	4,64	6,68
Co	4350,00	0,44	0,43
P	-	-	0,25
Al	807,00	0,08	-
Ca	662,00	0,07	-
Cr	361,00	0,04	-
Cl	347,00	0,03	-
Cu	212,00	0,02	-
Na	193,00	0,02	-
Zn	168,00	0,02	-
Mn	78,50	<0,01	-
V	27,00	<0,01	-
As	11,70	<0,01	-
Mo	8,41	<0,01	-
Au	1,53	<0,01	-
W	1,15	<0,01	-
Br	0,38	<0,01	-
La	1,25	<0,01	-
Sm	0,19	<0,01	-
Sb	0,16	<0,01	-

Заключение

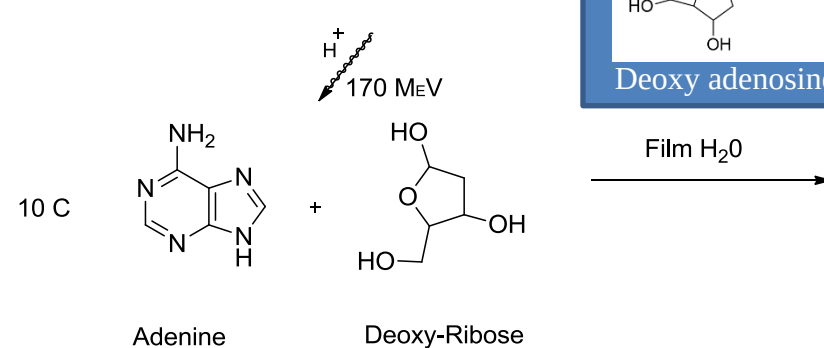
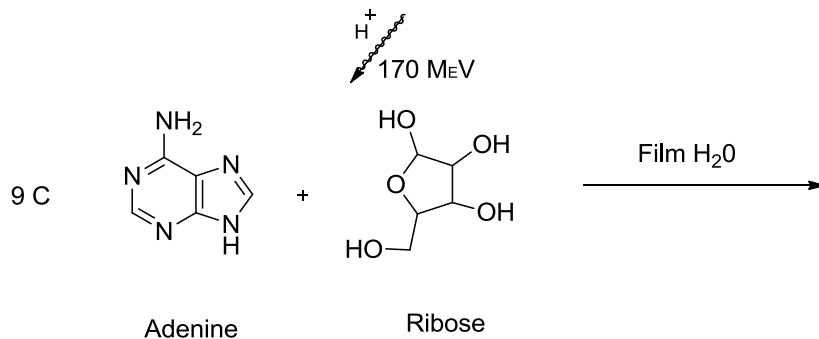
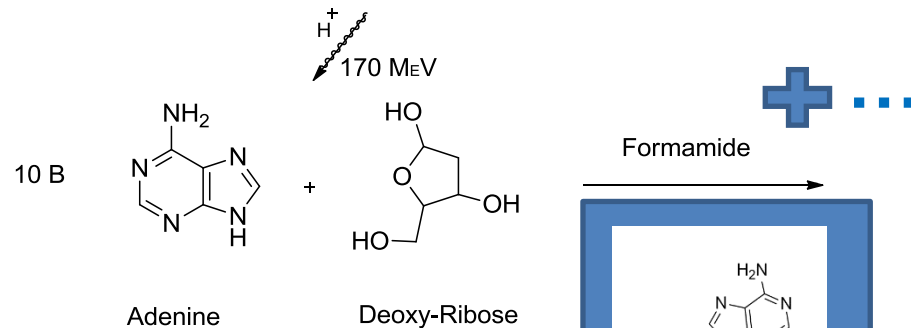
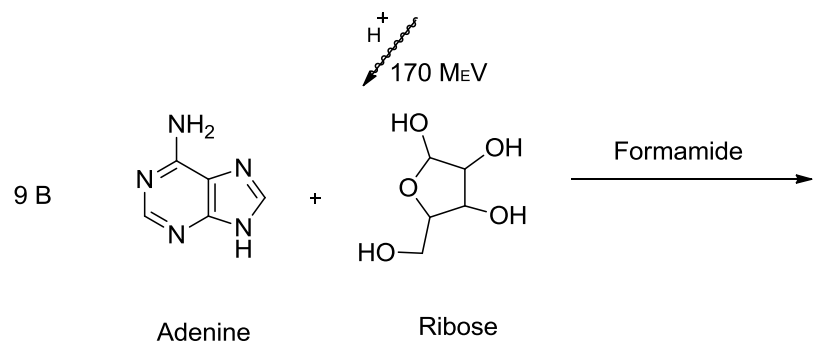
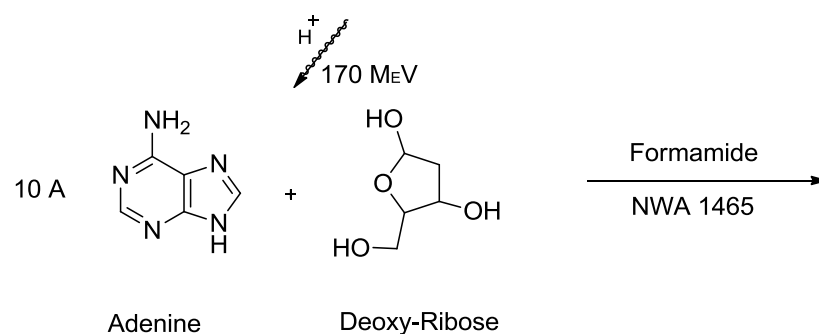
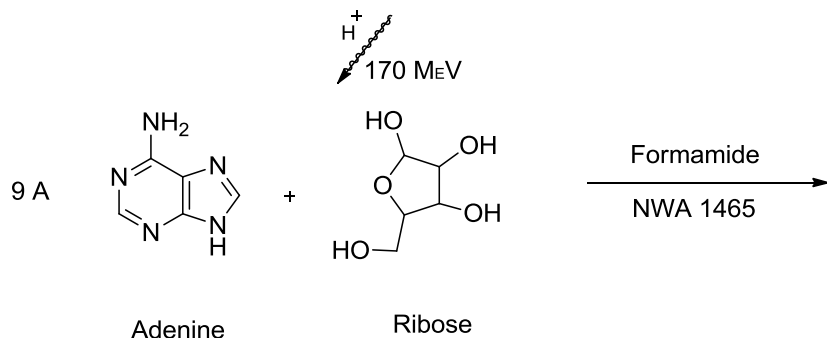
- ❑ Метеориты – катализаторы пребиотического синтеза биомолекул.
- ❑ Радиация – необходимое условие образования сложных макромолекул.

Установлено образование:

- нуклеиновых кислот
- карбоновых кислот
- аминокислот
- сахаров
- и др.

Актуальные исследования.

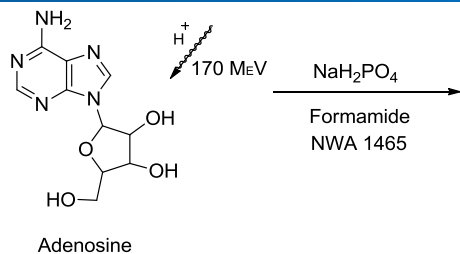
Реакции по формированию нуклеозидов



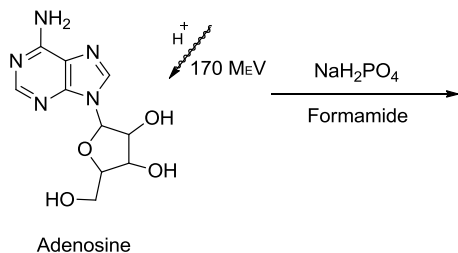
Актуальные исследования.

Реакции по формированию нуклеотидов

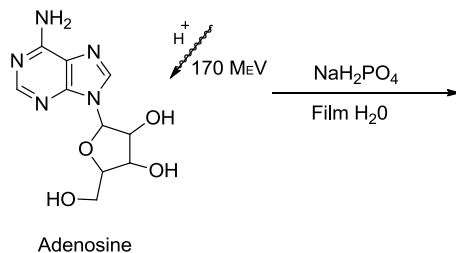
1A



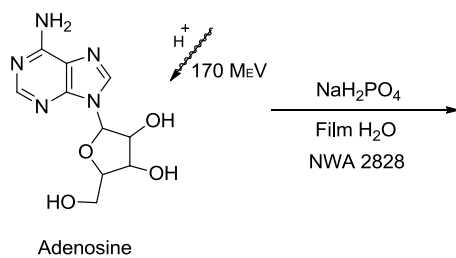
1 B



1 C



1B1



**Высокоэффективная жидкостная
хроматография (HPLC)**



Рамановская спектроскопия

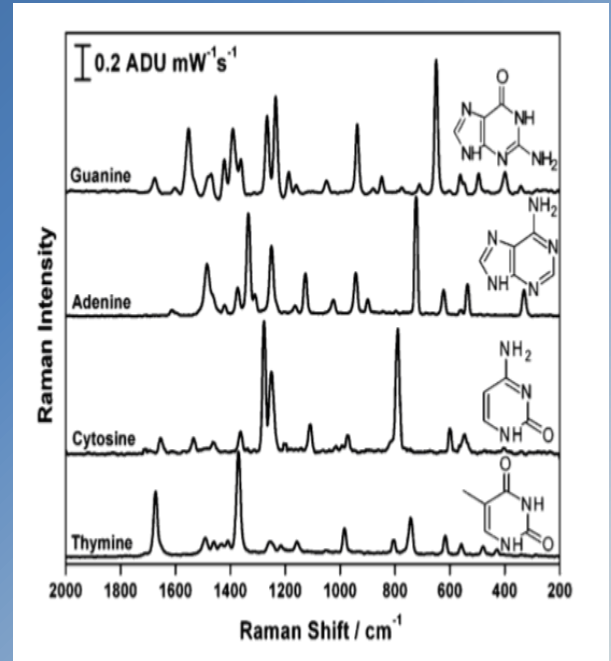


Исследование проводилось при помощи передового рамановского микроскопа inVia Qontor фирмы Renishaw на базе

The Box contains 24 samples of meteorites/minerals (25 mg of each):

Samples 5E and 13E are in quadruplicate.

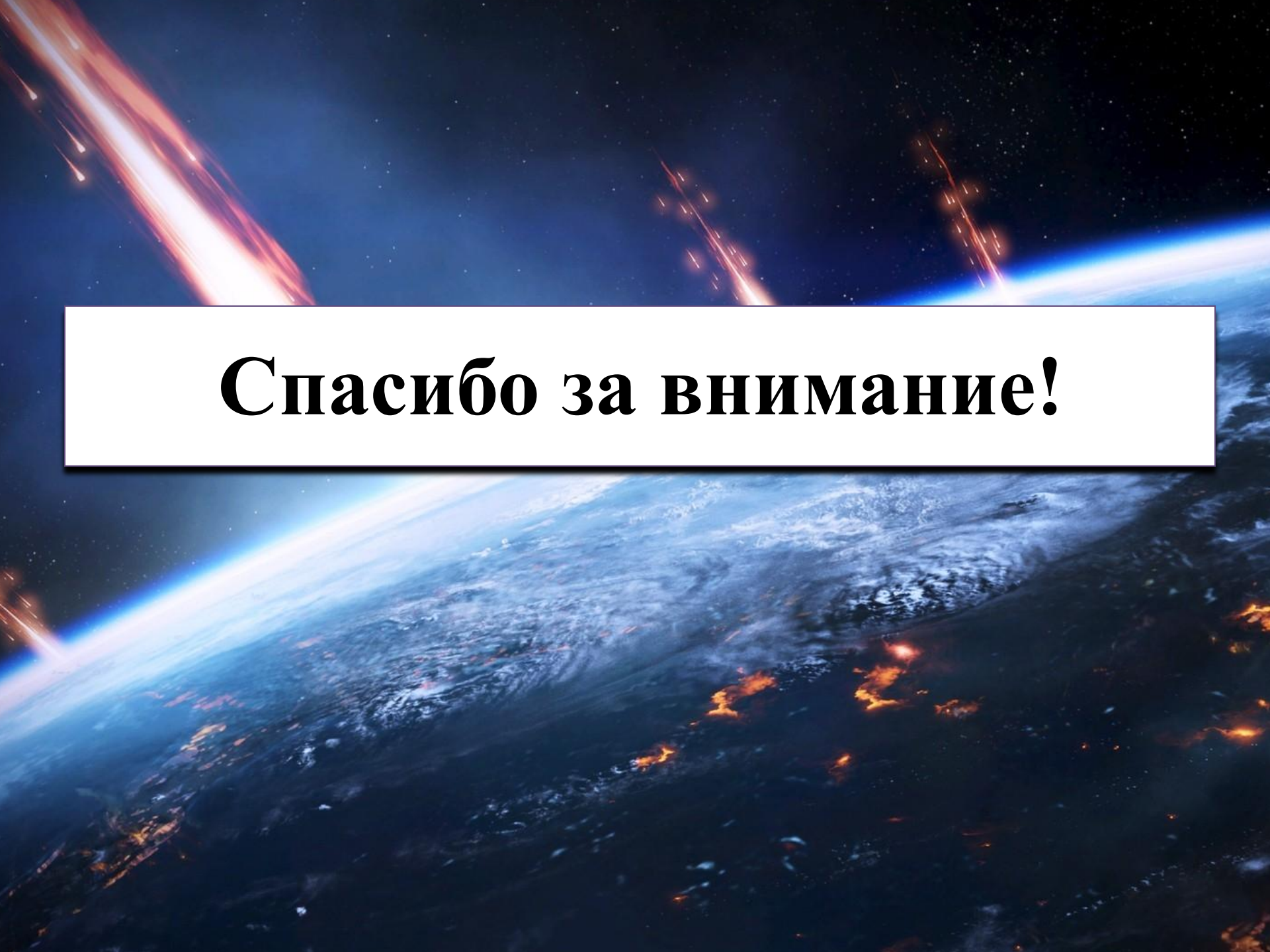
- | | |
|---------------------|------------------------------------|
| 1E. Campo del Sielo | 10E. NWA5357 |
| 2E. Canyon Diablo | 11E. Al Haggounia |
| 3E. Sikhote-Alin | 13E. Chelyabinsk (meteorite 2) |
| 4E. Sevmchan | 14E. Covellite (CuS ₂) |



1

Отсутствует. **Присутствует.**

Uracil	Cytosine	Hypoxanthine	Adenine	Guanine	Purine	4,6-DHP	Mannose	2,6-Diaminopurine	
Orotic acid	Isocytosine	4(3H)pyrimidone	Thymine	AHMN	DAMN	4-AMI	Thymidine	2'-Deoxyribose	Ribose
Glucose	Galactose	3(OH)pyridine	Inositol	Arabitol	Urdine	Cytidine	Adenosine	2'-Deoxyglucose	



Спасибо за внимание!