



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НАУКА В ВУЗОВСКОМ МУЗЕЕ» 2016

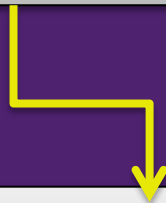
---

Н.А. Громалова, П.А. Чехович

# СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО АНАЛИЗА ОБРАЗЦОВ ИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МУЗЕЙНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ

---

# ОСНОВА СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА



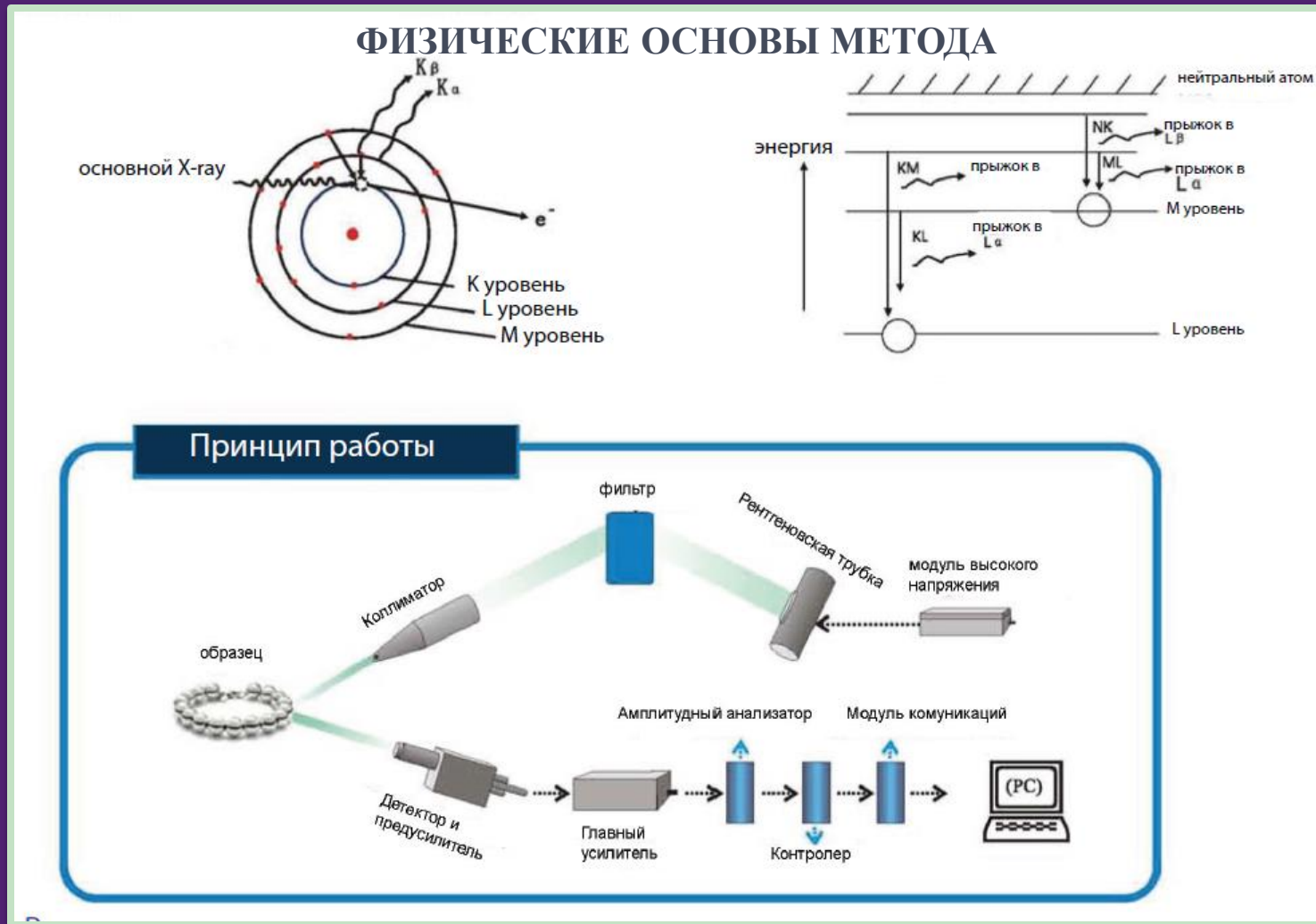
## РАЗЛИЧНЫЕ МОДИФИКАЦИИ СПЕКТРОСКОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ:

- рентгенофлуоресцентная спектрометрия
- сканирующая электронная микроскопия
- энергодисперсионный микроанализ
- рентгеновская микротомография
- инфракрасная спектроскопия

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

**применение рентгенофлуоресцентной  
спектрометрии (XRF) и сканирующей  
электронной микроскопии (SEM)  
с интегрированной системой  
энергодисперсионного микроанализа (EDS) –  
современных неразрушающих  
методов определения элементного  
состава вещества**

# РЕНГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ



Каждый элемент после облучения первичным рентгеновским излучением испускает фотоны определенного уровня энергии. Это явление называется рентгеновской флуоресценцией

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА

Содержание элемента  $C$  является функцией излучения:

$$C = f(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 \dots \dots)$$

Это выражение может быть представлено как:

$$C = K_1 I_1 + K_2 I_2 + K_3 I_3 + K_4 I_4 + K_5 I_5 \dots \dots$$

Где  $C$  – это содержание элемента в образце,  $I_1, I_2 \dots$  - рентгеновская интенсивность каждого элемента соответственно,  $K_1, K_2 \dots$  - коэффициенты, которые могут быть рассчитаны при измерении стандартных образцов с известным содержанием данного элемента

# Современные XRF- спектрометры позволяют измерять весь элементный диапазон от бериллия (Be) до урана (U)

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетические уровни				
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII						
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	б		а						
1	1	<b>1</b> Н ВОДОРОД 1,008														<b>2</b> He ГЕЛИЙ 4,003		К				
2	2	<b>3</b> Li ЛИТИЙ 6,941		<b>4</b> Be БЕРИЛЛИЙ 9,0122		<b>5</b> B БОР 10,811		<b>6</b> C УГЛЕРОД 12,011		<b>7</b> N АЗОТ 14,007		<b>8</b> O КИСЛОРОД 15,999		<b>9</b> F ФТОР 18,998		<b>10</b> Ne НЕОН 20,179		Л				
3	3	<b>11</b> Na НАТРИЙ 22,99		<b>12</b> Mg МАГНИЙ 24,312		<b>13</b> Al АЛЮМИНИЙ 26,982		<b>14</b> Si КРЕМНИЙ 28,086		<b>15</b> P ФОСФОР 30,974		<b>16</b> S СЕРА 32,064		<b>17</b> Cl ХЛОР 35,453		<b>18</b> Ar АРГОН 39,948		М				
4	4	<b>19</b> K КАЛИЙ 39,102		<b>20</b> Ca КАЛЬЦИЙ 40,08		<b>21</b> Sc СКАНДИЙ 44,956		<b>22</b> Ti ТИТАН 47,956		<b>23</b> V ВАНАДИЙ 50,941		<b>24</b> Cr ХРОМ 51,996		<b>25</b> Mn МАРГАНЕЦ 54,938		<b>26</b> Fe ЖЕЛЕЗО 55,849		<b>27</b> Co КОБАЛЬТ 58,933		<b>28</b> Ni НИКЕЛЬ 58,7		З
	5	<b>29</b> Cu МЕДЬ 63,546		<b>30</b> Zn ЦИНК 65,37		<b>31</b> Ga ГАЛЛИЙ 69,72		<b>32</b> Ge ГЕРМАНИЙ 72,59		<b>33</b> As МЫШЬЯК 74,922		<b>34</b> Se СЕЛЕН 78,96		<b>35</b> Br БРОМ 79,904				<b>36</b> Kr КРИПТОН 83,8		З		
5	6	<b>37</b> Rb РУБИДИЙ 85,468		<b>38</b> Sr СТРОНЦИЙ 87,62		<b>39</b> Y ИТРИЙ 88,906		<b>40</b> Zr ЦИРКОНИЙ 91,22		<b>41</b> Nb НИОБИЙ 92,906		<b>42</b> Mo МОЛИБДЕН 95,94		<b>43</b> Tc ТЕХНЕЦИЙ [99]		<b>44</b> Ru РУТЕНИЙ 101,07		<b>45</b> Rh РОДИЙ 102,906		<b>46</b> Pd ПАЛЛАДИЙ 106,4		З
	7	<b>47</b> Ag СЕРЕБРО 107,868		<b>48</b> Cd КАДМИЙ 112,41		<b>49</b> In ИНДИЙ 114,82		<b>50</b> Sn ОЛОВО 118,69		<b>51</b> Sb СУРЬМА 121,75		<b>52</b> Te ТЕЛЛУР 127,6		<b>53</b> I ИОД 126,905				<b>54</b> Xe КСЕНОН 131,3		З		
6	8	<b>55</b> Cs ЦЕЗИЙ 132,905		<b>56</b> Ba БАРИЙ 137,34		57-71 ЛАНТАНОИДЫ		<b>72</b> Hf ГАФИЙ 178,49		<b>73</b> Ta ТАНТАЛ 180,948		<b>74</b> W ВОЛЬФРАМ 183,85		<b>75</b> Re РЕНИЙ 186,207		<b>76</b> Os ОСМИЙ 190,2		<b>77</b> Ir ИРИДИЙ 192,22		<b>78</b> Pt ПЛАТИНА 195,09		З
	9	<b>79</b> Au ЗОЛОТО 196,967		<b>80</b> Hg РУТУТЬ 200,59		<b>81</b> Tl ТАЛЛИЙ 204,37		<b>82</b> Pb СВИНЕЦ 207,19		<b>83</b> Bi ВИСМУТ 208,98		<b>84</b> Po ПОЛОНИЙ [210]		<b>85</b> At АСТАТ [210]				<b>86</b> Rn РАДОН [222]		З		
7	10	<b>87</b> Fr ФРАНЦИЙ [223]		<b>88</b> Ra РАДИЙ [226]		89-103 АКТИНОИДЫ		<b>104</b> Rf РЕЗЕРФОРДИЙ [261]		<b>105</b> Db ДУБНИЙ [262]		<b>106</b> Sg СИБОРГИЙ [263]		<b>107</b> Bh БОРИЙ [262]		<b>108</b> Hn ХАНИЙ [265]		<b>109</b> Mt МЕЙТНЕРИЙ		<b>110</b>		З
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>						
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ								RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR								

## Л А Н Т А Н О И Д Ы

<b>57</b> La ЛАНТАН 138,906	<b>58</b> Ce ЦЕРИЙ 140,12	<b>59</b> Pr ПРАЗМОДИЙ 140,908	<b>60</b> Nd НЕОДИМ 144,24	<b>61</b> Pm ПРОМЕТИЙ [145]	<b>62</b> Sm САМАРИЙ 150,4	<b>63</b> Eu ЕВРОПИЙ 151,96	<b>64</b> Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	<b>65</b> Tb ТЕРБИЙ 158,926	<b>66</b> Dy ДИСПРОЗИЙ 162,5	<b>67</b> Ho ГОЛЬМИЙ 164,93	<b>68</b> Er ЭРБИЙ 167,26	<b>69</b> Tm ТУЛИЙ 168,934	<b>70</b> Yb ИТТЕРБИЙ 173,04	<b>71</b> Lu ЛУТЕЦИЙ 174,97	З
--------------------------------------	------------------------------------	---	-------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	---

## А К Т И Н О И Д Ы

<b>89</b> Ac АКТИНИЙ [227]	<b>90</b> Th ТОРИЙ 232,036	<b>91</b> Pa ПРОТАКТИНИЙ [231]	<b>92</b> U УРАН 238,29	<b>93</b> Np НЕПТУНИЙ [237]	<b>94</b> Pu ПЛУТОНИЙ [244]	<b>95</b> Am АМЕРИЦИЙ [243]	<b>96</b> Cm КЮРИЙ [247]	<b>97</b> Bk БЕРКЛИЙ [247]	<b>98</b> Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	<b>99</b> Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	<b>100</b> Fm ФЕРМИЙ [257]	<b>101</b> Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	<b>102</b> No НОБЕЛИЙ [259]	<b>103</b> Lr ЛОУРЕНСИЙ [260]	З
-------------------------------------	-------------------------------------	---	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	--	--	-------------------------------------	---	--------------------------------------	--	---

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

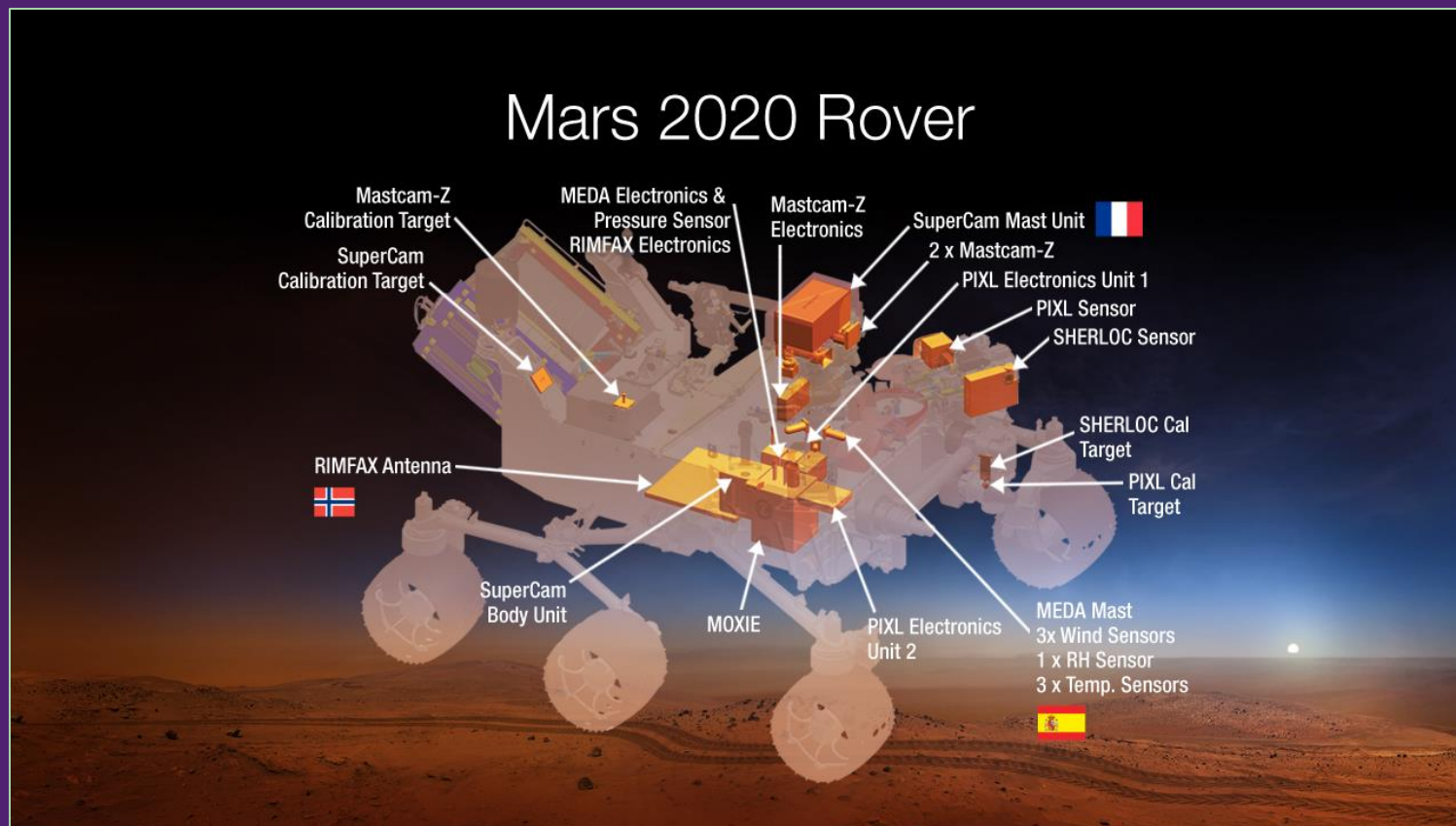


Входной контроль металлов  
Анализ ферросплавов  
Сортировка и анализ лома, контроль шихтовых материалов  
Анализ алюминиевых сплавов  
Стилоскопирование  
Контроль сварных швов  
Анализ сплавов драгоценных металлов  
Экспресс анализ руд, почв, геологоразведка  
Экспресс анализ горных пород и минералов  
Анализ железной руды  
Анализ драгметаллов в автомобильных катализаторах  
Анализ низких концентраций Cr, Cu, Mo  
Анализ толщин тонких металлических покрытий  
Диагностика и ремонт оборудования  
Экологический мониторинг

Подтверждение соответствия материалов директивам ROHS, WEEE

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Изучение труднодоступных объектов  
Космические исследования

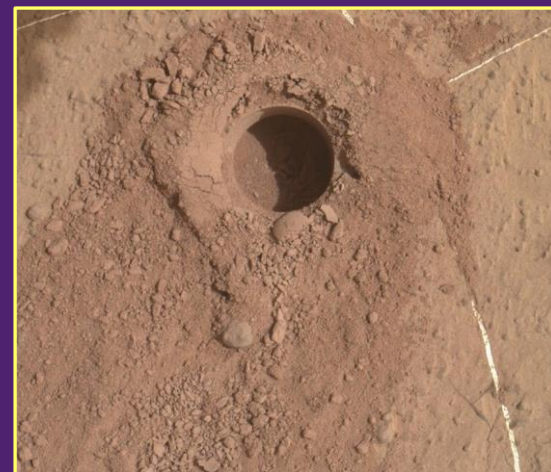


*Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry (PIXL)* представляет собой рентгенофлуоресцентный спектрометр. Основная цель - определение элементного состава марсианского грунта и пород из пробуренных скважин



# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

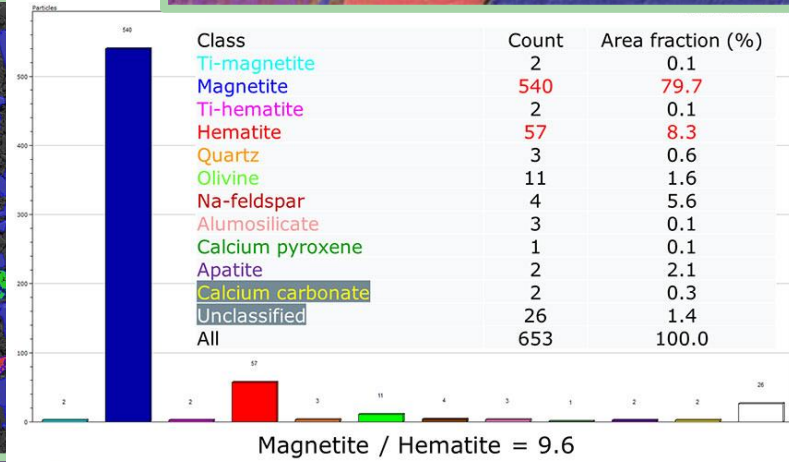
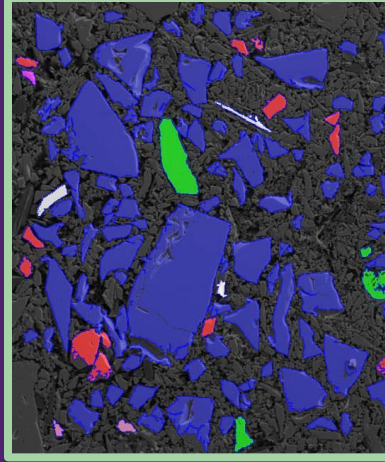
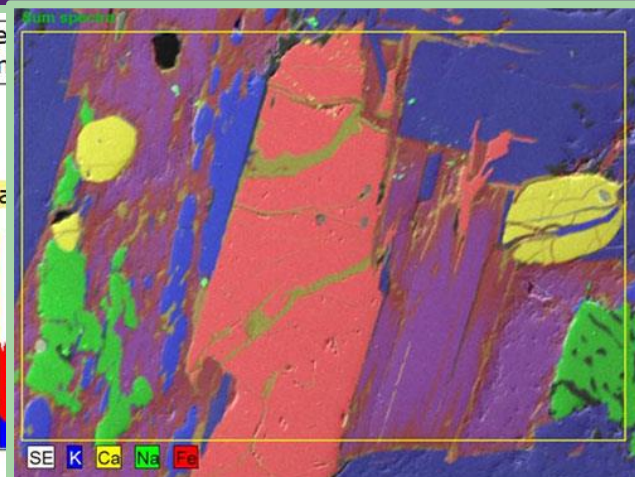
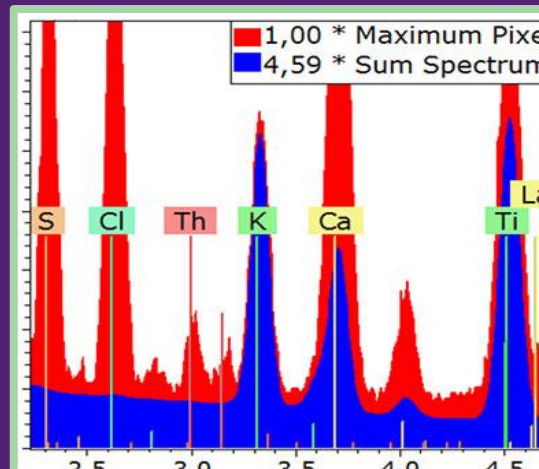
Изучение труднодоступных объектов  
Космические исследования



Бортовые XRF-анализаторы марсохода Curiosity изучают горные породы в  
кратере Гейла. Октябрь, 2016 г.

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Элементное картирование при петрологических исследованиях



Геология и разведка полезных ископаемых

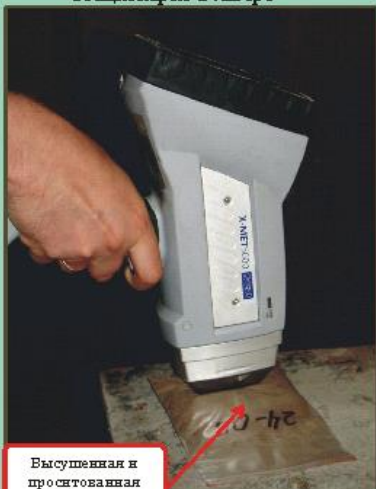
# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

## Полевые исследования горных пород, почв, грунтов, руд

## Экспертиза произведений искусства, музейное дело

### Способы определения содержаний элементов в полевых условиях

Стационарно в лагере



Высушенная и проситованная проба почвы (фракция < 1 мм)

Непосредственно на участке



Влажная проситованная проба почвы (валовая проба)

### Результаты определений содержаний элементов различными способами



# РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗАТОР

## X-MET 7500

- Для измерений использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 7500.
- В его конструкции применена рентгеновская трубка с родиевым анодом производства Oxford Instruments (Великобритания).
- Прибор позволяет определять содержания элементов в диапазоне от Mg до U по спектрам рентгеновского излучения образца



Нижние пределы определения:  
для Mg – 1,0%, Al – 0,5%, Si – 0,5%  
K – 0,1%, Ca – 0,3%, Ti – 0,01%,  
Mn – 0,01%, Fe – 0,3%, Sr – 10 г/т,  
Ba – 100 г/т, La – 30 г/т; Ce – 30 г/т.



# ПЕРЕЧЕНЬ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРЕДЕЛЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РФ-АНАЛИЗАТОРА X-MET 7500

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #f8d7da; padding: 5px; border: 1px solid #c3e6cb;">10-15 г/г</div> <div style="background-color: #fff3cd; padding: 5px; border: 1px solid #ffee58;">20-30 г/г</div> <div style="background-color: #d4edda; padding: 5px; border: 1px solid #c3e6cb;">30-40 г/г</div> </div>													13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA							
1 IA <b>H</b> Hydrogen 1.008							6 <b>B</b> Boron 10.81	7 <b>C</b> Carbon 12.01	8 <b>N</b> Nitrogen 14.01	9 <b>O</b> Oxygen 16.00	10 <b>F</b> Fluorine 19.00	11 <b>He</b> Helium 4.003													
3 <b>Li</b> Lithium 6.941	4 IIA <b>Be</b> Beryllium 9.012							13 <b>Al</b> Aluminum 26.98	14 <b>Si</b> Silicon 28.09	15 <b>P</b> Phosphorus 30.97	16 <b>S</b> Sulfur 32.07	17 <b>Cl</b> Chlorine 35.45	18 <b>Ar</b> Argon 39.95												
11 <b>Na</b> Sodium 22.99	12 <b>Mg</b> Magnesium 24.31							19 <b>K</b> Potassium 39.10	20 <b>Ca</b> Calcium 40.08	21 <b>Sc</b> Scandium 44.96	22 <b>Ti</b> Titanium 47.87	23 <b>V</b> Vanadium 50.94	24 <b>Cr</b> Chromium 52.00	25 <b>Mn</b> Manganese 54.94	26 <b>Fe</b> Iron 55.85	27 <b>Co</b> Cobalt 58.93	28 <b>Ni</b> Nickel 58.69	29 <b>Cu</b> Copper 63.55	30 <b>Zn</b> Zinc 65.39	31 <b>Ga</b> Gallium 69.72	32 <b>Ge</b> Germanium 72.61	33 <b>As</b> Arsenic 74.92	34 <b>Se</b> Selenium 78.96	35 <b>Br</b> Bromine 79.90	36 <b>Kr</b> Krypton 83.80
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.47	38 <b>Sr</b> Strontium 87.62	39 <b>Y</b> Yttrium 88.91	40 <b>Zr</b> Zirconium 91.22	41 <b>Nb</b> Niobium 92.91	42 <b>Mo</b> Molybdenum 95.94	43 <b>Tc</b> Technetium (98)	44 <b>Ru</b> Ruthenium 101.17	45 <b>Rh</b> Rhodium 102.91	46 <b>Pd</b> Palladium 106.42	47 <b>Ag</b> Silver 107.87	48 <b>Cd</b> Cadmium 112.41	49 <b>In</b> Indium 114.82	50 <b>Sn</b> Tin 118.71	51 <b>Sb</b> Antimony 121.76	52 <b>Te</b> Tellurium 127.60	53 <b>I</b> Iodine 126.90	54 <b>Xe</b> Xenon 131.29								
55 <b>Cs</b> Cesium 132.91	56 <b>Ba</b> Barium 137.33	57 <b>La</b> Lanthanum 138.91	58 <b>Hf</b> Hafnium 178.49	59 <b>Ta</b> Tantalum 180.95	60 <b>W</b> Tungsten 183.84	61 <b>Re</b> Rhenium 186.21	62 <b>Os</b> Osmium 190.23	63 <b>Ir</b> Iridium 192.22	64 <b>Pt</b> Platinum 195.08	65 <b>Au</b> Gold 196.97	66 <b>Hg</b> Mercury 200.59	67 <b>Tl</b> Thallium	68 <b>Pb</b> Lead	69 <b>Bi</b> Bismuth	70 <b>Po</b> Polonium	71 <b>At</b> Astatine	72 <b>Rn</b> Radon								
67 <b>Fr</b> Francium (223)	68 <b>Ra</b> Radium (226)	69 <b>Ac</b> Actinium (227)	70 <b>Rf</b> Rutherfordium (261)	71 <b>Db</b> Dubnium (262)	72 <b>Sg</b> Seaborgium (266)	73 <b>Bh</b> Bohrium (264)	74 <b>Hs</b> Hassium (269)	75 <b>Mt</b> Meitnerium (268)	76 <b>Ds</b> Darmstadtium (271)	77 <b>Rg</b> Roentgenium (272)	78 <b>Cn</b> Copernicium (277)														

58 <b>Ce</b> Cerium 140.12	59 <b>Pr</b> Praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> Neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> Promethium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150.36	63 <b>Eu</b> Europium 151.96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157.25	65 <b>Tb</b> Terbium 158.93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162.50	67 <b>Ho</b> Holmium 164.93	68 <b>Er</b> Erbium 167.26	69 <b>Tm</b> Thulium 168.93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173.04	71 <b>Lu</b> Lutetium 174.97
90 <b>Th</b> Thorium 232.04	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.04	92 <b>U</b> Uranium 238.04	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Americium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkelium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (281)	99 <b>Es</b> Einsteinium (282)	100 <b>Fm</b> Fermium (287)	101 <b>Md</b> Mendelevium (288)	102 <b>No</b> Nobelium (289)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (262)

# Настольный сканирующий электронный микроскоп (SEM) Phenom ProX со встроенной системой энергодисперсионной спектроскопии (EDS)



Phenom-World B.V., Нидерланды  
([www.melytec.ru](http://www.melytec.ru))

# Сканирующая электронная микроскопия с системой энергодисперсионного анализа

- Эффективный источник электронов на основе СеВ6,
- Удобная и точная навигация по образцу,
- Получение изображения высокого разрешения (до 30нм),
- Увеличение до  $\times 130\,000$ ,
- Время загрузки образца – 60 сек
- Для исследования непроводящих материалов используются держатели, позволяющие изучать топографию поверхности и отказаться от дорогостоящей процедуры напыления,
- Энергодисперсионная спектрометрия позволяет выполнять определения в диапазоне от углерода (12) до америция (95)



**С использованием методов XRF-  
спектрометрии и  
микронзондирования на настольном  
SEM нами было исследовано  
несколько образцов, поступивших в  
последние годы в фонды Музея  
землеведения**

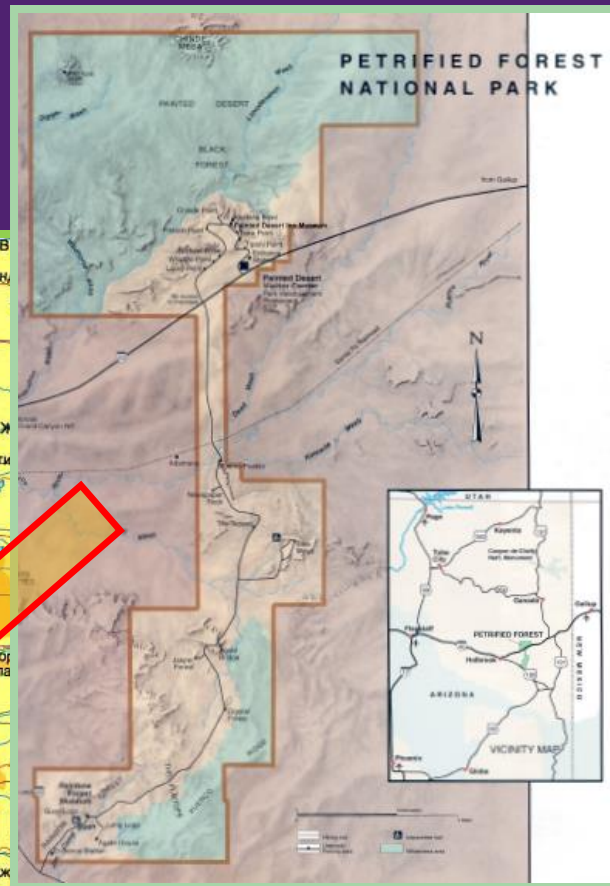


# 1. Объект исследования – образцы минерализованной ископаемой древесины хвойных деревьев. Дар П. Ровиса, 2004 г.

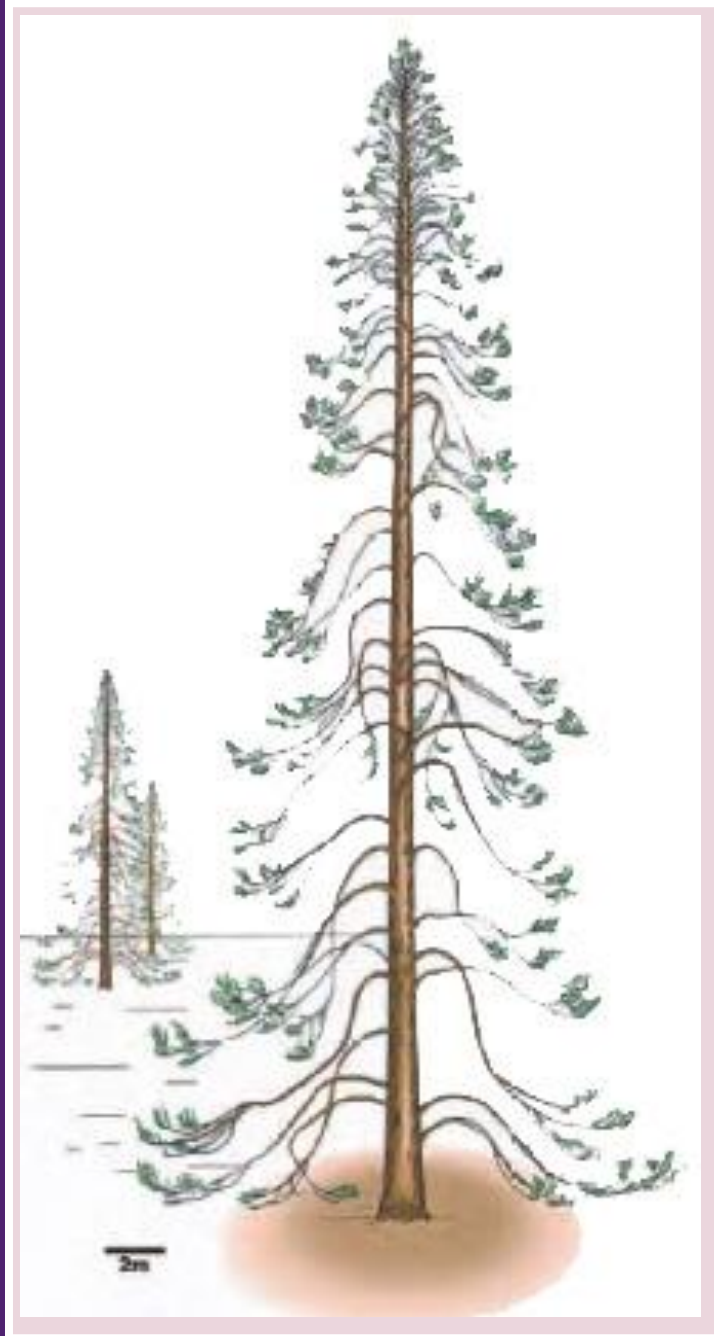


В качестве образцов использовались крупные фрагменты минерализованных стволов хвойных растений из знаменитого «Каменного леса» в Аризоне (национальный парк Petrified Forest, плато Колорадо, США).

# Плато Колорадо, Аризона, США



# Реконструкция *Araucarioxylon arizonicum* (по Ash, Sidney, 2004)

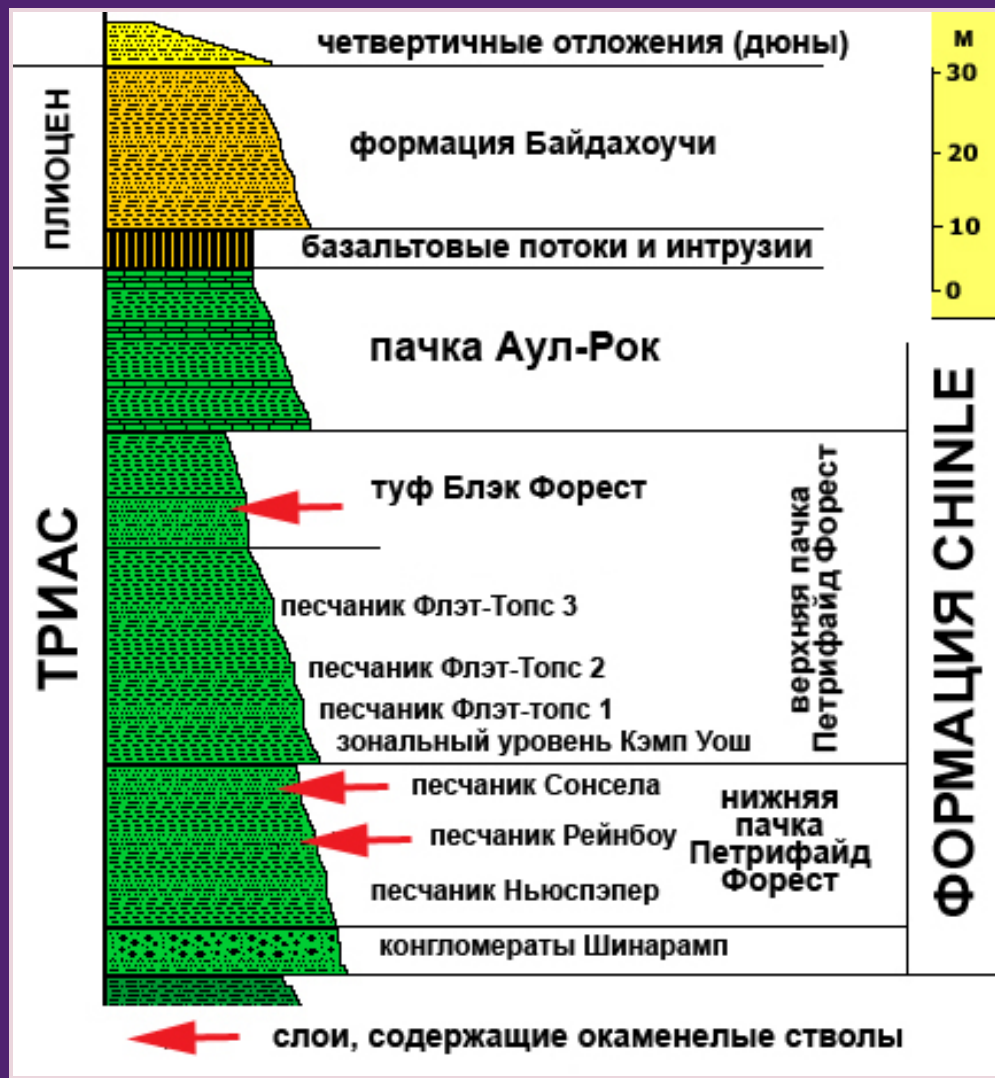


Замещенные минералами остатки  
ГИГАНТСКИХ СТВОЛОВ  
*Araucarioxylon arizonicum* в  
ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАЛЕГАНИИ

# СТРАТИГРАФИЯ ОТЛОЖЕНИЙ, ВМЕЩАЮЩИХ ОСТАТКИ ОКАМЕНЕЛЫХ СТВОЛОВ

Местонахождение приурочено к типичной континентальной молассе поздне триасового возраста (формация Чайнли)

Анализ споро-пыльцевых комплексов позволяет датировать вмещающие отложения в интервале от позднекарнийского до позднеюрского возраста, что в абсолютном летоисчислении отвечает промежутку ~220-205 млн. лет (Litwin et al., 1991; Lucas, 1997)



# ПОПЕРЕЧНЫЙ СРЕЗ СТВОЛА ГИГАНТСКОЙ АРАУКАРИИ

Экспозиция 8 зала 27 этажа Музея землеведения МГУ



# ПРОДОЛЬНЫЙ СРЕЗ СТВОЛА ГИГАНТСКОЙ АРАУКАРИИ КЛАСС CONIFERALIS (ХВОЙНЫЕ)

Плато Колорадо, Аризона, США. Поздний триас (~ 225-220 млн. лет)  
Музей земледования МГУ

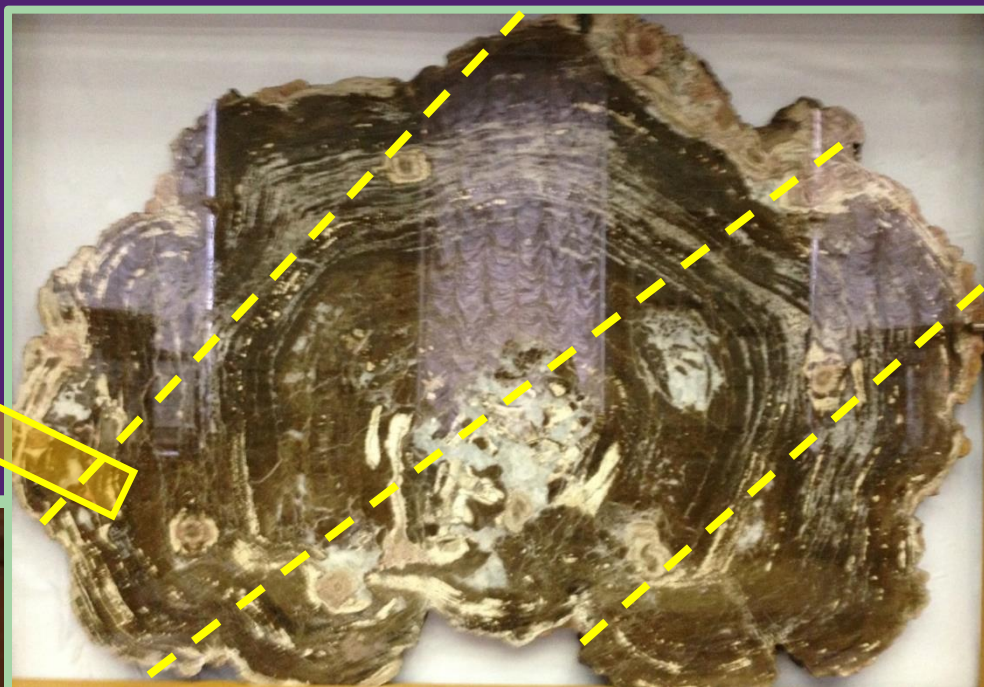
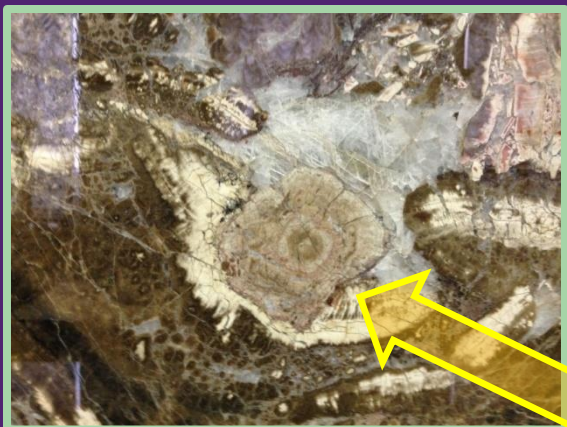


**ПОПЕРЕЧНЫЙ СРЕЗ СТВОЛА ГИГАНТСКОЙ АРАУКАРИИ  
КЛАСС CONIFERALIS (ХВОЙНЫЕ)**

Плато Колорадо, Аризона, США. Поздний триас (~ 225-220 млн. лет)  
Музей земледования МГУ



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ





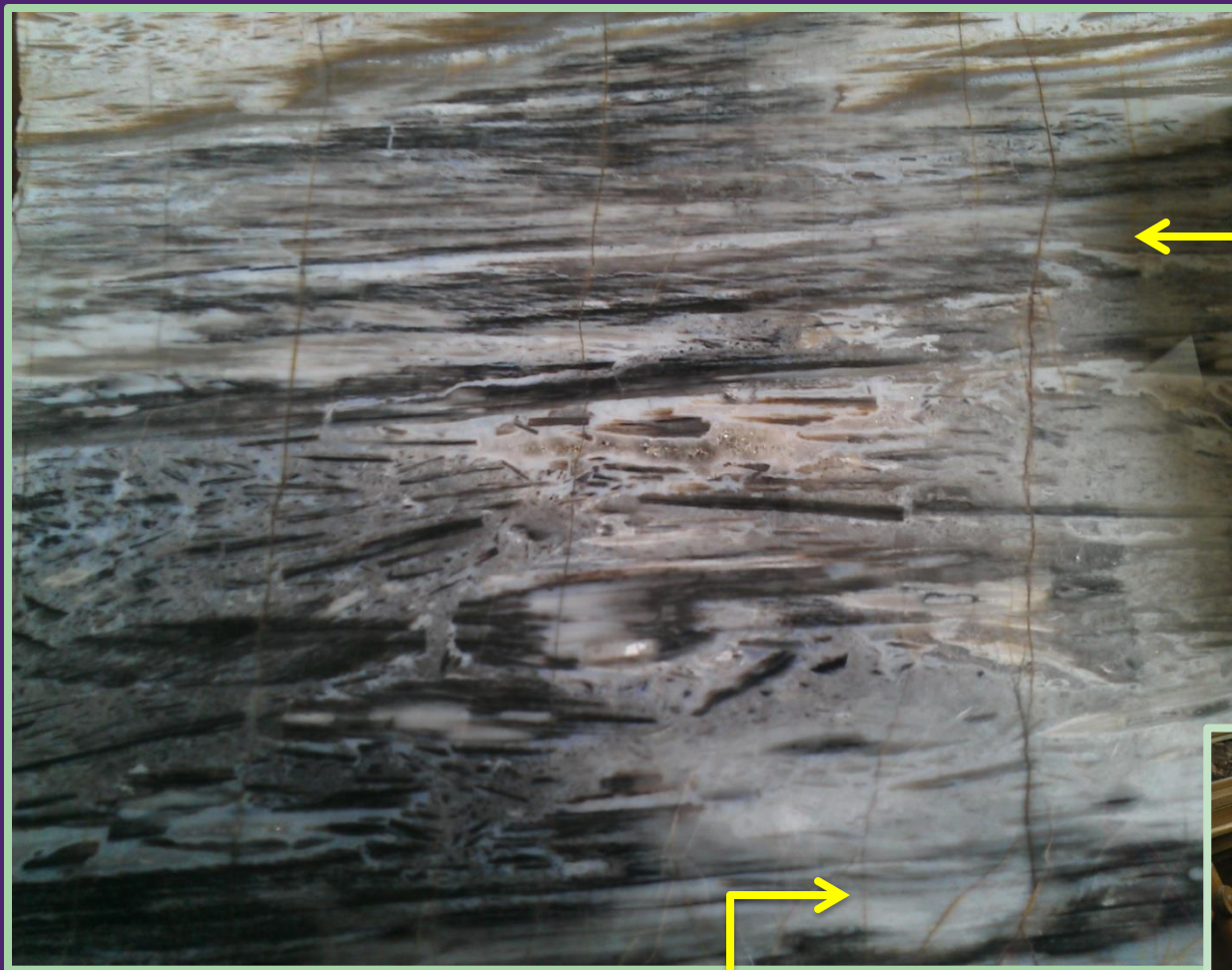
# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

## Химический состав образцов ископаемой древесины

№ точки	мас.%														г/т			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CO <sub>2</sub> *	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO	K <sub>2</sub> O	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	сумма**	Sr	Ba	La	Ce
пп.с.1	95,95	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,01	0,83	0,03	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,88	26	92	32	53
пп.с.2	95,95	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,01	0,83	0,03	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,88	14	76	32	44
пр.с.3	95,96	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,02	0,81	0,03	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,88	27	81	21	44
пр.с.4	95,95	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,01	0,83	0,03	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,88	359	93	33	45
пр.с.5	95,96	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,01	0,81	0,03	0,03	<0,12	нпо	нпо	99,88	57	397	169	287
пр.с.6	93,05	0,94	1,19	1,98	<1,66	0,16	0,27	0,83	0,03	0,05	<0,12	0,03	нпо	100,18	<b>15250</b>	873	691	1920
пп.с.7	95,79	0,94	0,42	нпо	<1,66	0,02	0,03	0,97	0,03	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,88	347	237	72	101
пп.с.8	84,30	8,85	1,50	нпо	<1,66	0,16	0,40	1,54	0,04	0,22	<0,12	0,06	нпо	98,73	<b>1498</b>	2188	<b>1026</b>	<b>3806</b>
пп.с.9	83,70	11,86	0,42	нпо	<1,66	0,05	0,08	1,00	0,03	0,08	<0,12	нпо	нпо	98,88	7144	225	454	1119
пр.с.10	9,48	0,94	47,52	37,96	<1,66	0,02	0,25	0,81	1,08	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,74	3351	184	172	186
пр.с.11	нпо	0,94	52,58	42,12	<1,66	0,07	0,12	0,80	1,38	0,02	<0,12	нпо	нпо	99,69	236	36	121	135
пр.с.12	29,09	0,94	38,35	30,51	<1,66	0,11	0,06	0,80	0,67	0,02	<0,12	нпо	нпо	102,22	105	185	57	77
пр.с.13	50,94	9,70	3,32	нпо	3,31	1,20	14,93	3,77	0,53	0,19	<0,12	0,02	нпо	99,94	<b>109700</b>	<b>2949</b>	<b>1207</b>	<b>5291</b>
пр.с.14	71,87	4,23	2,03	нпо	<1,66	0,72	9,86	0,71	0,06	0,17	<0,12	0,02	нпо	98,19	<b>74900</b>	<b>4303</b>	<b>1080</b>	<b>4181</b>
пр.с.15	40,21	9,89	4,18	нпо	3,07	1,46	21,80	0,71	0,53	0,20	<0,12	0,02	0,02	99,96	<b>169200</b>	<b>6308</b>	74	223
пр.с.16	37,05	10,52	4,13	нпо	3,44	1,33	21,03	0,43	0,58	1,81	<0,12	0,02	нпо	99,11	<b>130900</b>	<b>54388</b>	<b>1775</b>	<b>2404</b>
пр.с.17	39,85	9,68	4,16	нпо	3,71	1,64	21,55	0,80	0,56	0,08	<0,12	нпо	0,03	99,55	<b>170400</b>	<b>772</b>	179	427
пр.с.18	70,71	3,71	2,15	нпо	<1,66	0,81	10,94	0,70	0,08	0,06	<0,12	нпо	нпо	97,97	<b>85800</b>	<b>385</b>	239	745

Примечание к таблице: пп.с. - поперечный спил образца, пр.с. - продольный спил образца, нпо - ниже предела определения, \* расчет оксидов проводился по стехиометрии (из значений содержаний элементов).

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ



$\text{SiO}_2$

Примеси:

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,80-1,00 мас.%

$\text{TiO}_2$  до 0,05 мас.%

$\text{SiO}_2$

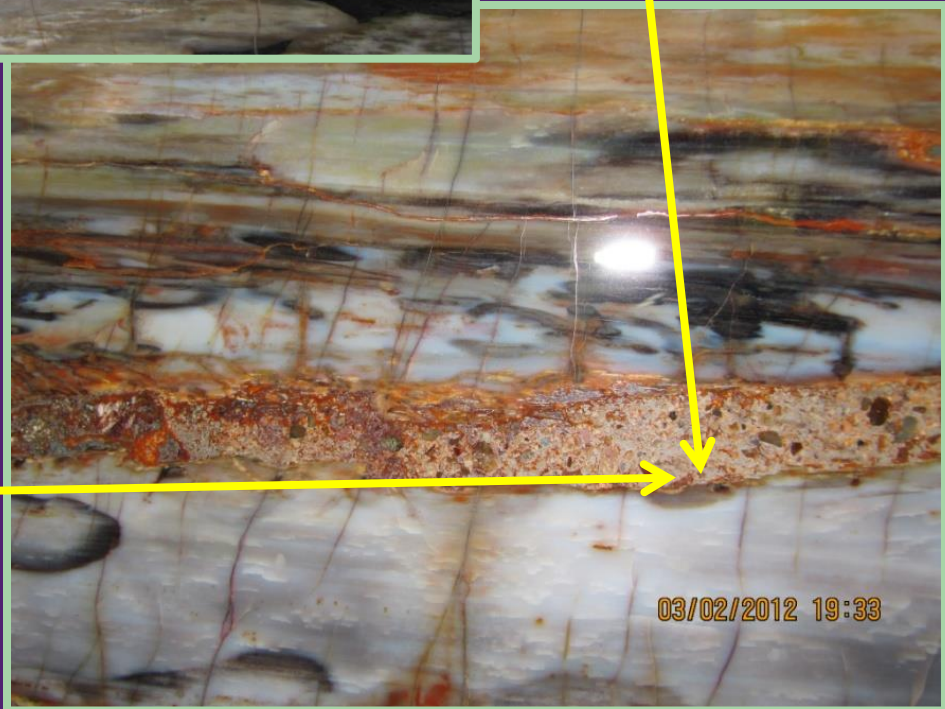


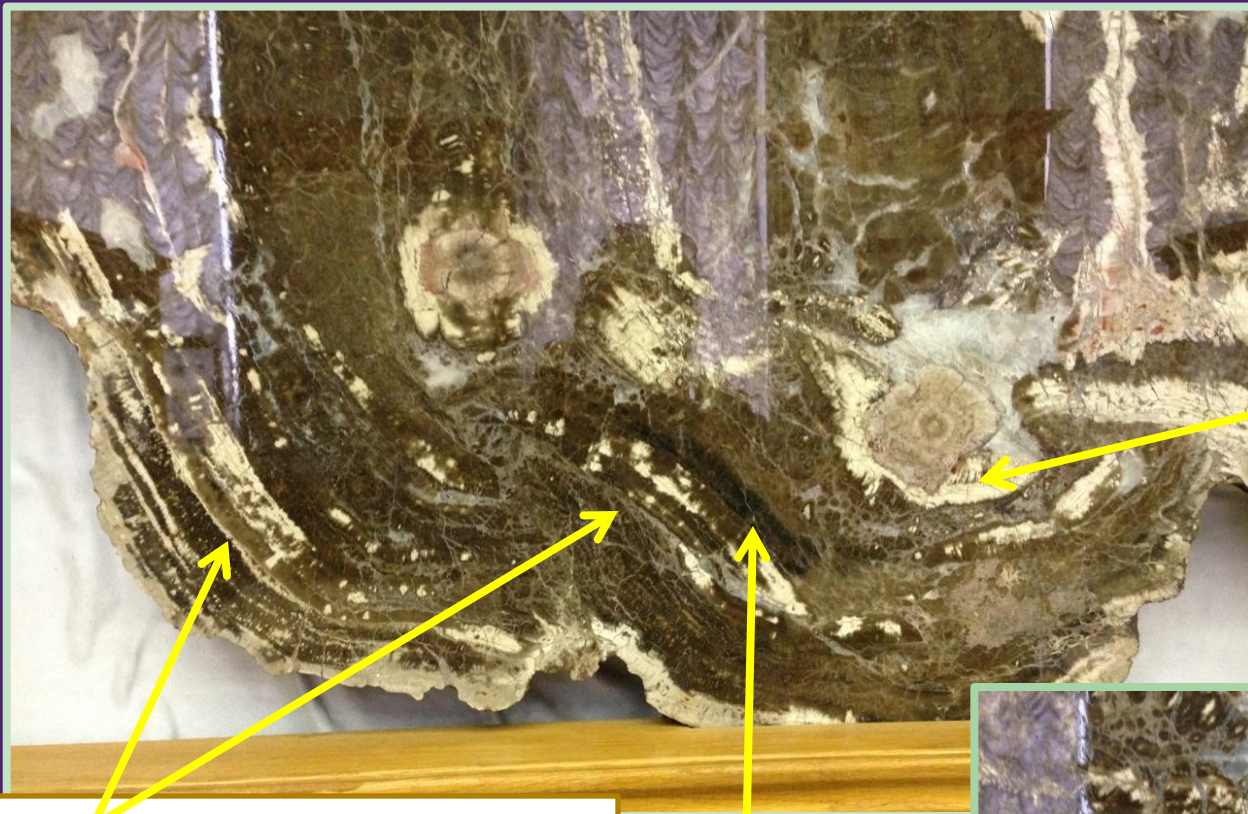


**Участки, обогащенные:  
Ce до 3806 г/т  
La – до 1026 г/т**



**BaCO<sub>3</sub> витерит  
SrCO<sub>3</sub> стронцианит**

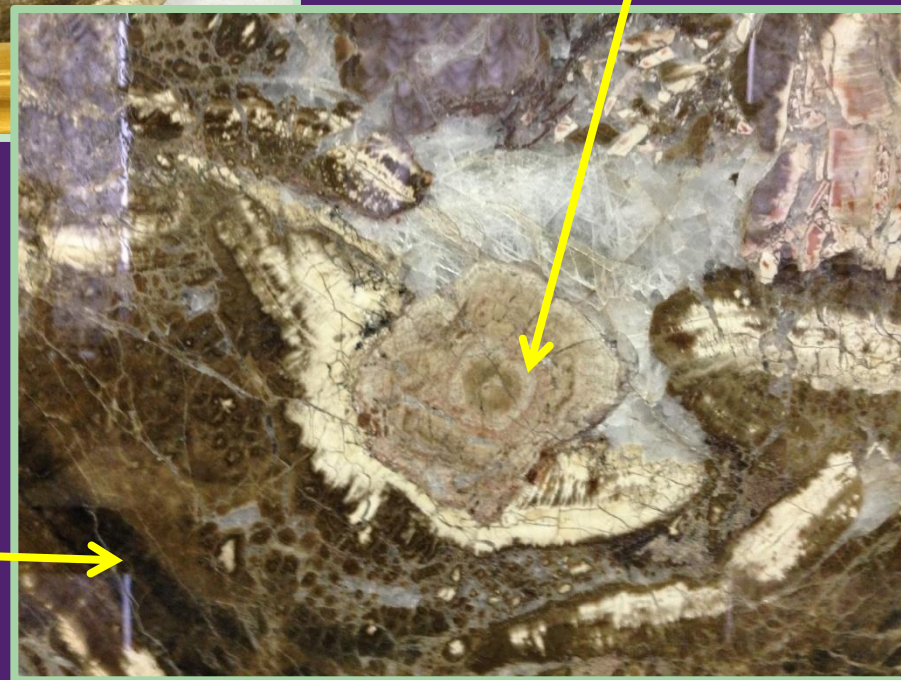




**CaCO<sub>3</sub> кальцит**  
**Примеси:**  
**MnO - 0.66-1.38 мас.%**  
**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO - 0.69-0.81**  
**мас.%**

**BaSO<sub>4</sub> барит**  
**SrSO<sub>4</sub> целестин**

**Участки, обогащенные:**  
**Се до 5291 г/т**  
**La – до 1775 г/т**



## 2. Объект исследования - Тосканский ландшафтный мрамор (р. Арно, Италия) – микритовый известняк из мел-эоценового флиша Северных Апеннин.



**Руинный мрамор/ Флорентийский камень Пьетра пезина.  
Фрагмент образца  
из коллекции Музея землеведения МГУ .  
Дар П. Ровиса, 2004 г.**

На приполированном срезе хорошо видно, что густая сеть минерализованных трещин не нарушает элементы слоистости, но формирует резкую анизотропию проницаемости в тонкопористой среде осадка. На более поздней стадии диагенеза при диффузии железосодержащих растворов это приводит к неравномерному окрашиванию породы



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$   
2.76-3.53 мас. %  
зеленоокрашенные  
области

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$   
3.82-5.33 мас. %  
желтоокрашенные  
области



Образцы ландшафтного мрамора, по которым  
в локальных зонах 1-7 выполнялись экспресс-  
определения элементного состава  
(XRF-спектрометрия)

**3. Объект исследования - эпигенетическая  
аметистовая друза из раннемеловых базальтов  
Сьерра-Жераль, Бразилия. Образец из коллекции  
Музея земледования.  
Дар П. Ровиса, 2004 г.**

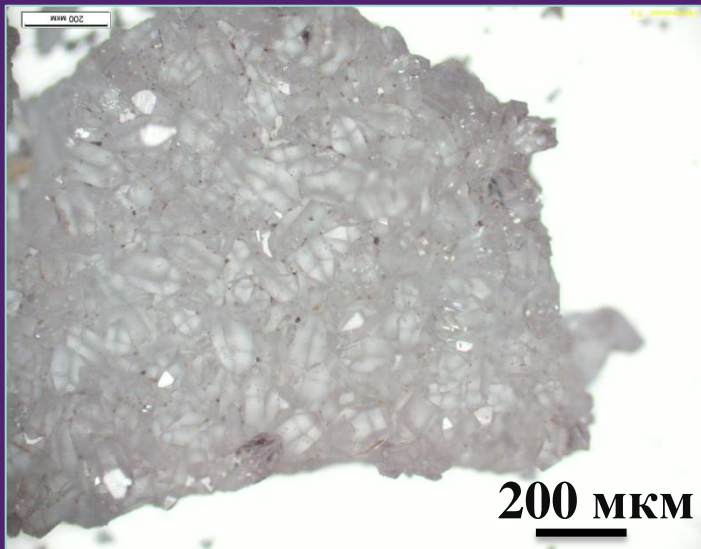


**Образец покрыт «рубашкой» молочно-белого  
микросталлического агрегата.**



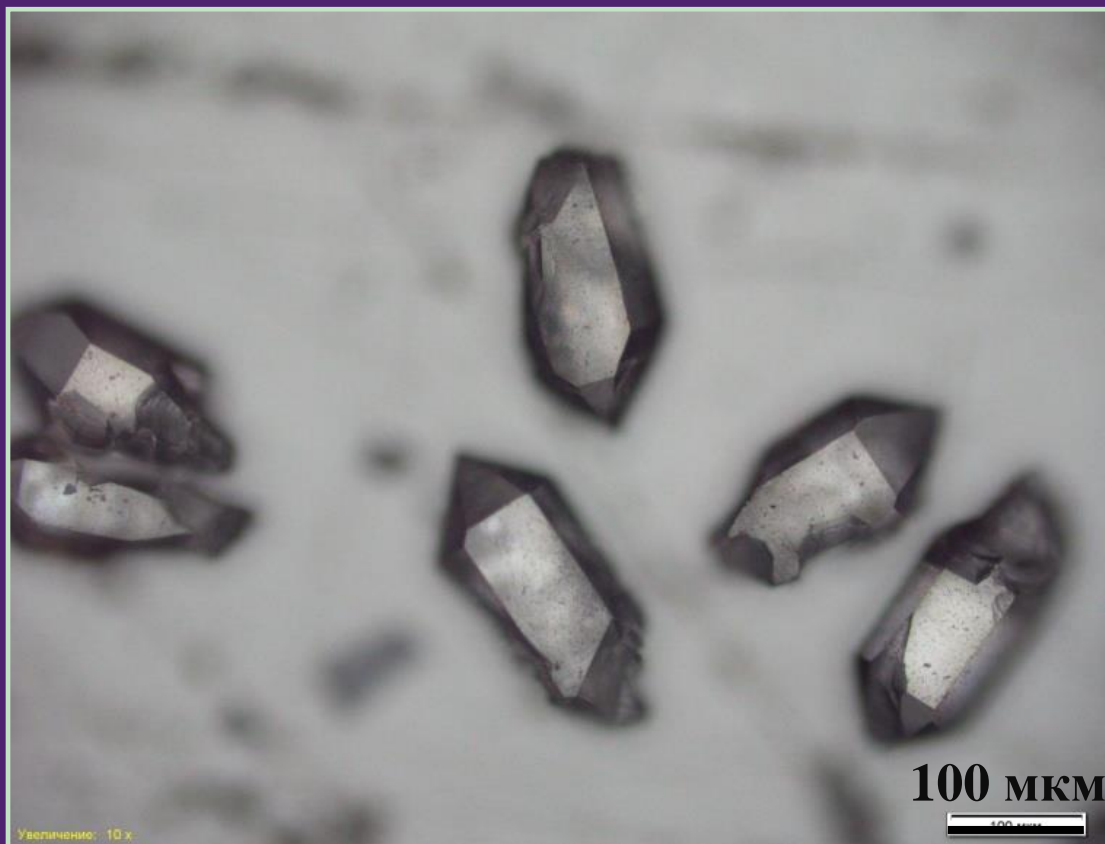
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микрокристаллический кварц,  
образующий основную массу  
тончайшей пленки на аметисте



$\text{SiO}_2$  87.08-94.52 мас.%

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$   
0.87-0.93 мас.%



Изображение получено с помощью оптического микроскопа  
Axio Scope A1, Carl Zeiss

Химический состав приведен по данным РФА -анализа

## 4. Объект исследования – раннедиагенетическая конкреция кремнисто-железистого состава (септария)

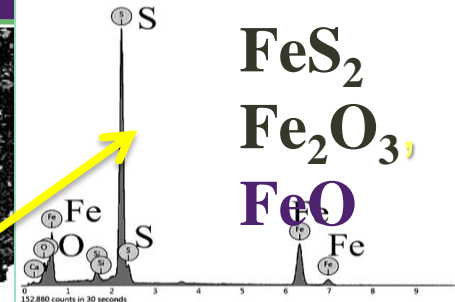
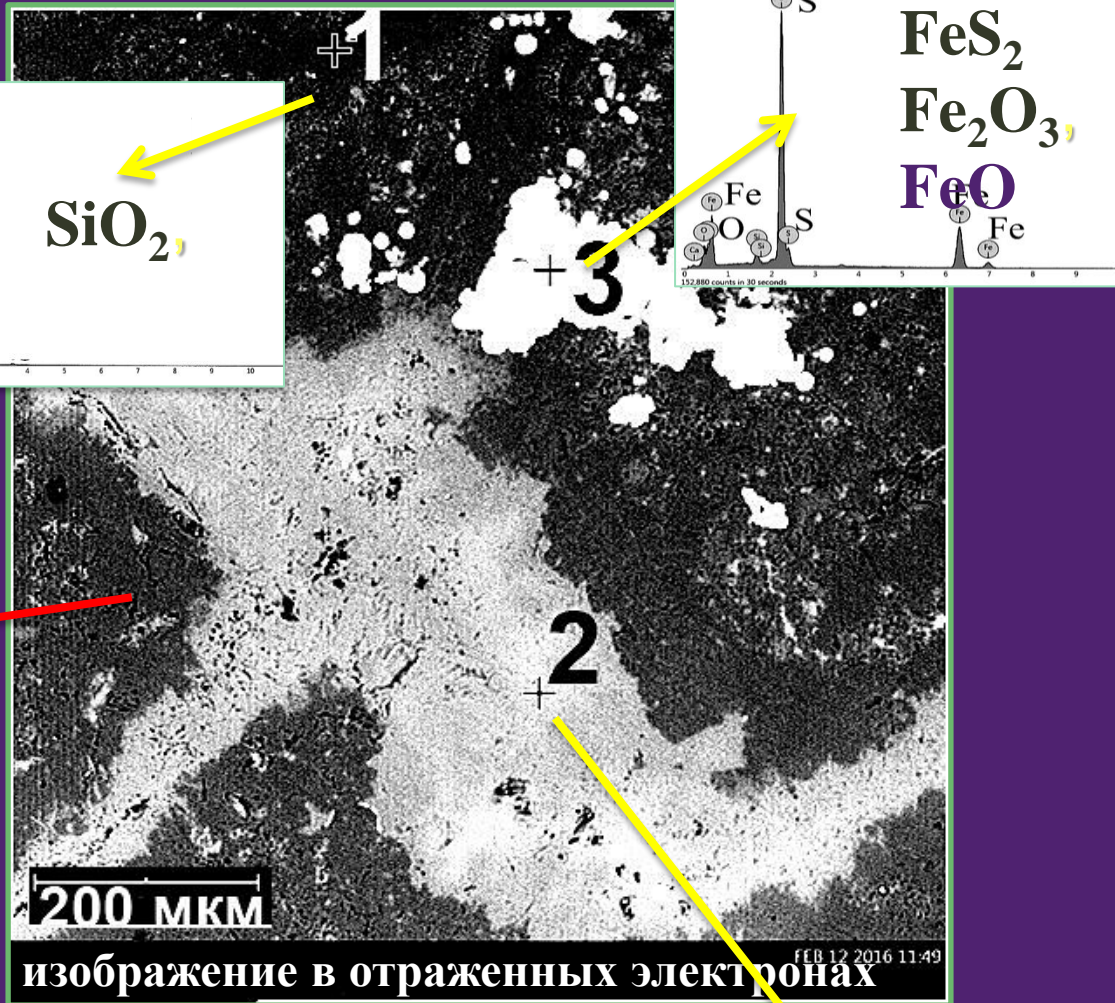
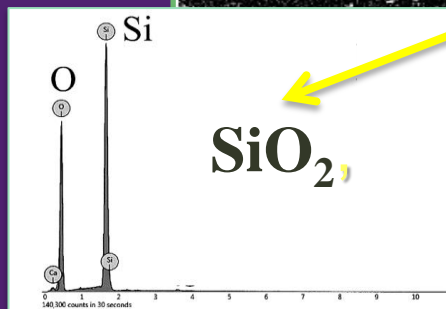


В ядре видны радиальные прожилки, расширяющиеся к центру конкреции – результат синерезиса и последующей минерализации

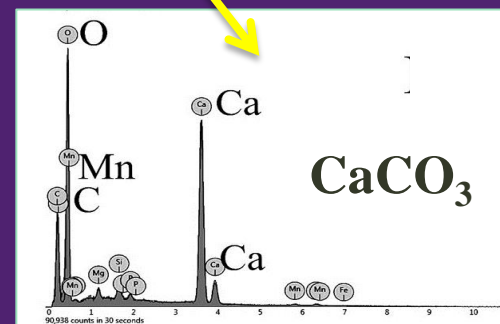


Образец из коллекции Музея земледования МГУ. Дар частного коллекционера Н.Г. Нестеренко и инженера МЗ МГУ Т.Б.Расщепляевой  
Место отбора образца- песчаный карьер на правом берегу р. Медынь, Калужская обл., Россия.

# Ядро кремнисто-железистой конкреции



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ



**Остров Чампа, Земля Франца-Иосифа, Россия**



**Карбонатно-глинистая шаровая конкреция-септария с кальцитом Сев. Кавказ, Россия. Фото: А. Евсеев**



**Шаровидные конкреции в реке Ижма у дер. Малое Галово, респ. Коми**

# Заключение

- Проведенные исследования показали большие возможности инновационных методов и средств изучения геологических коллекций.
- Выполненные работы следует рассматривать как вступительный пробный шаг на принципиально новом пути минералого-геохимического изучения музейных фондов.
- Дальнейшие исследования потребуют разработки детальной всесторонне продуманной научной программы, привлечения стабильного финансирования и широкой кооперации исследовательских коллективов, располагающих современными средствами аналитических исследований.
- Один из возможных путей для организации аналитической поддержки минералого-геохимического изучения музейных материалов – создание в системе вузовских учреждений новых ресурсных центров, располагающих квалифицированным персоналом и совершенной приборной базой для реализации таких исследований.

# БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за сотрудничество, ценные советы и рекомендации, а также помощь в проведении аналитических исследований О.А. Набелкину, заведующему лабораторией рентгеноспектрального флуоресцентного анализа ФГУП «ИМГРЭ» – автору оригинального программного обеспечения для калибровки портативного рентгенофлуоресцентного анализатора и Т.К. Ивановой, заместителю директора Музея истории МГУ имени М.В. Ломоносова.

Мы также признательны руководству компании ООО «Мелитэк» за предоставленную возможность проведения исследований на сканирующем электронном микроскопе Phenom XL.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ...**



музей  
исследования МГУ