



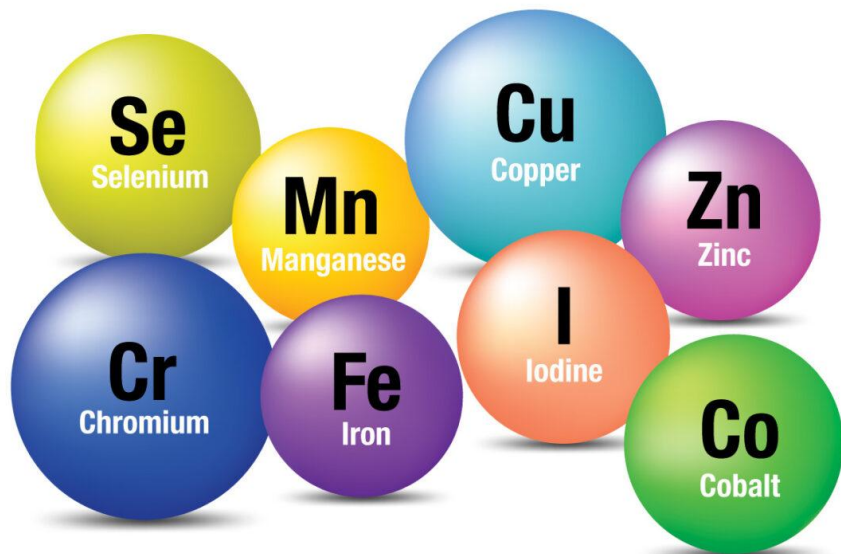
# **Нейтронно-активационный анализ в решении задач экологии, нанотоксикологии и пищевой безопасности**

**Инга Ивановна Зиньковская**

[inga@jinr.ru](mailto:inga@jinr.ru)/[zinikovskaia@mail.ru](mailto:zinikovskaia@mail.ru)

*Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, ОИЯИ, Дубна*

# Элементный анализ



Геология

Окружающая среда

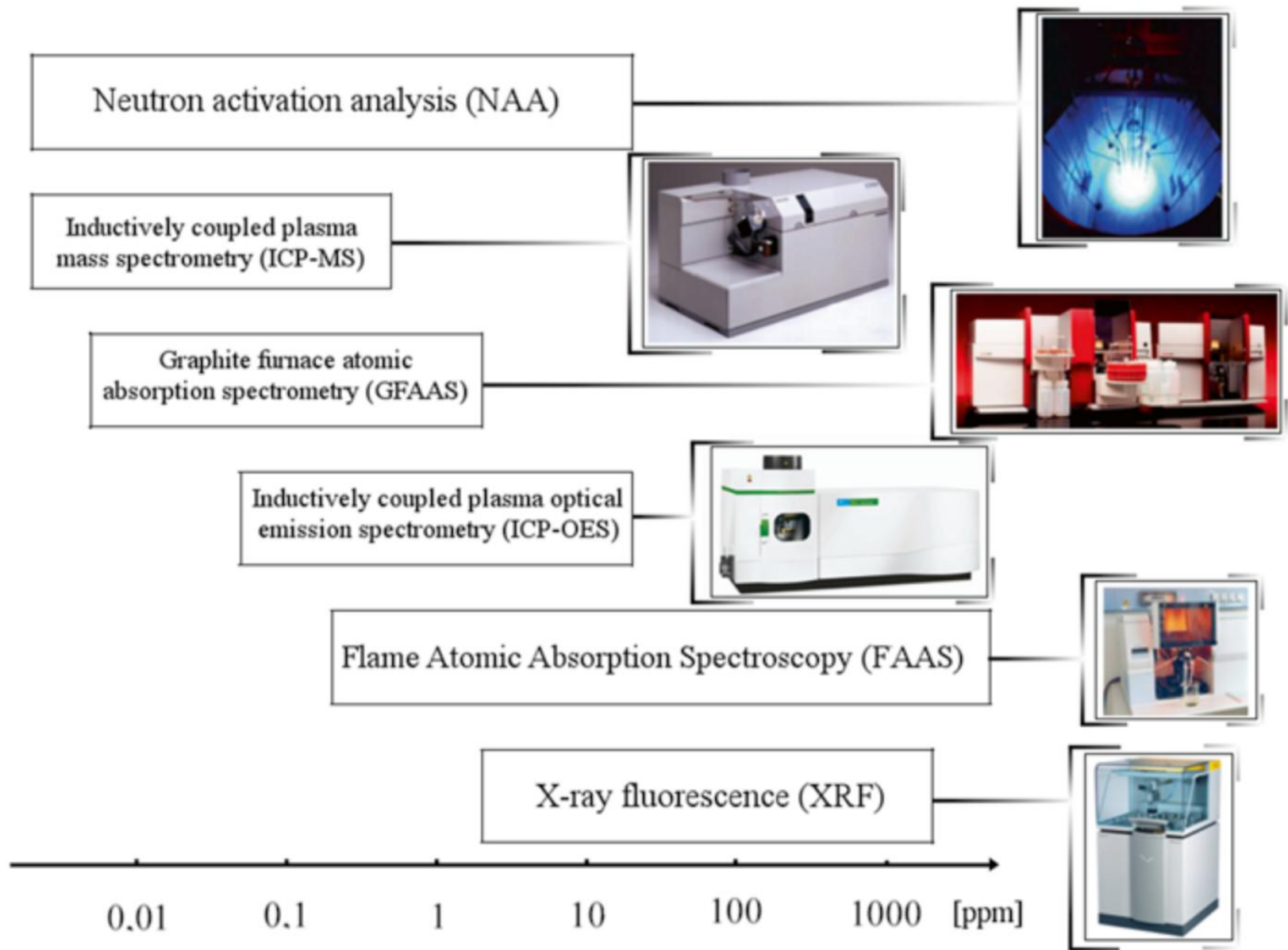
Материаловедение

Криминалистика

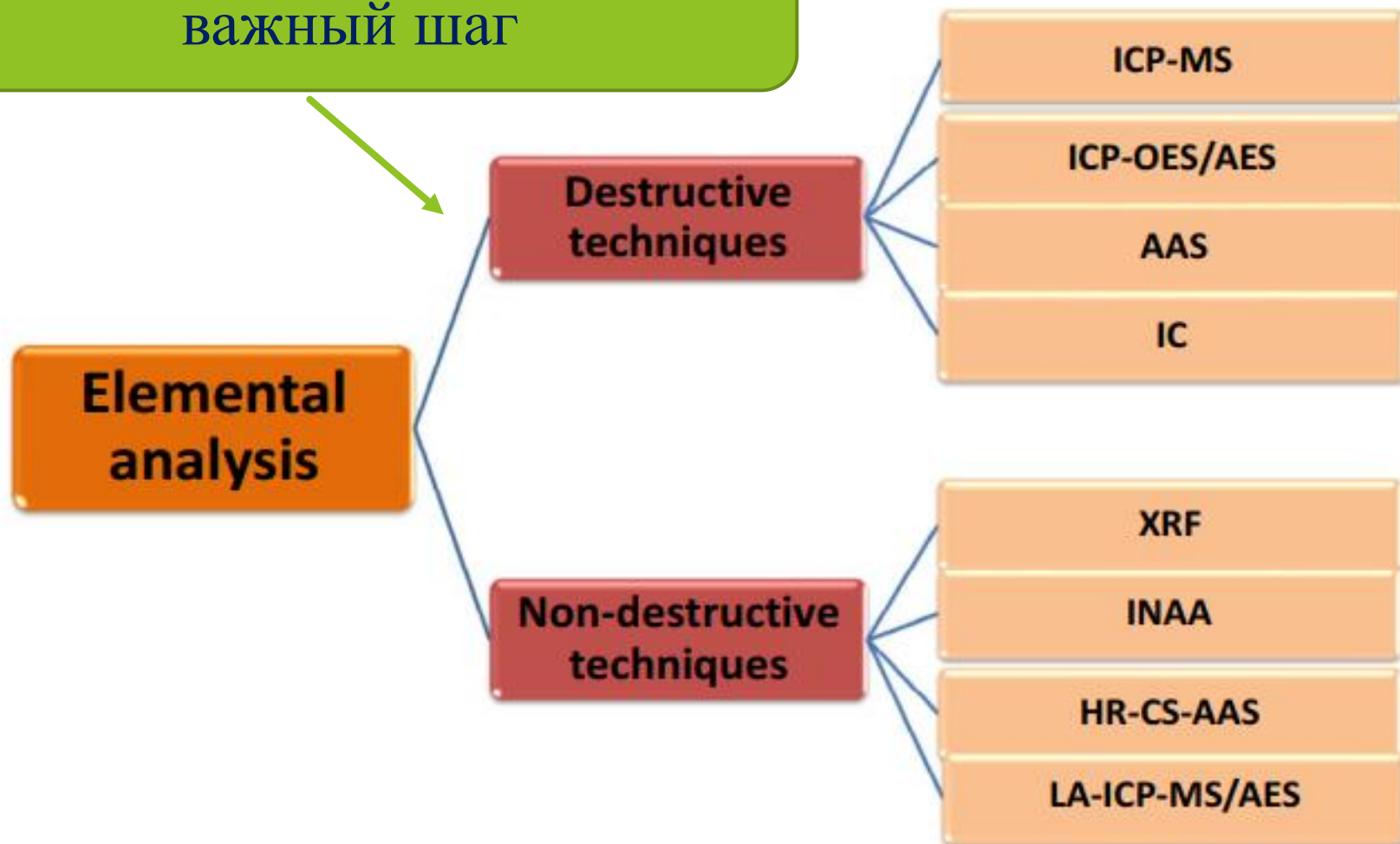
Археология

Нанотехнология

# Аналитические методы для элементного анализа



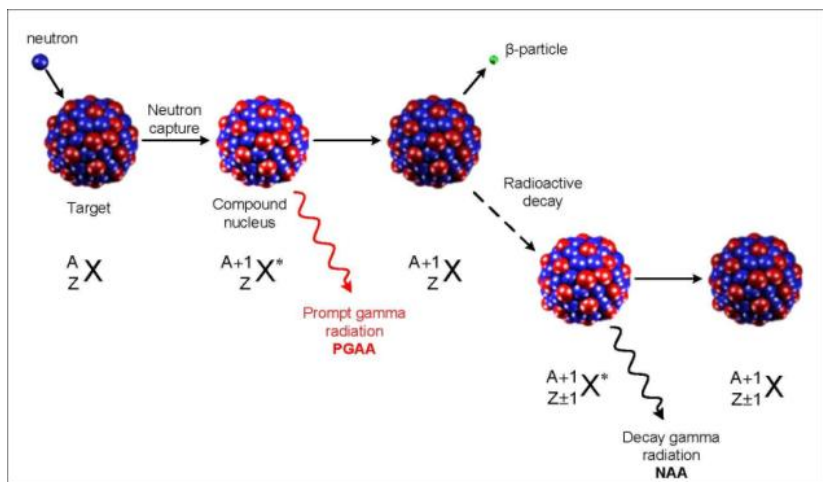
Пробоподготовка критически важный шаг



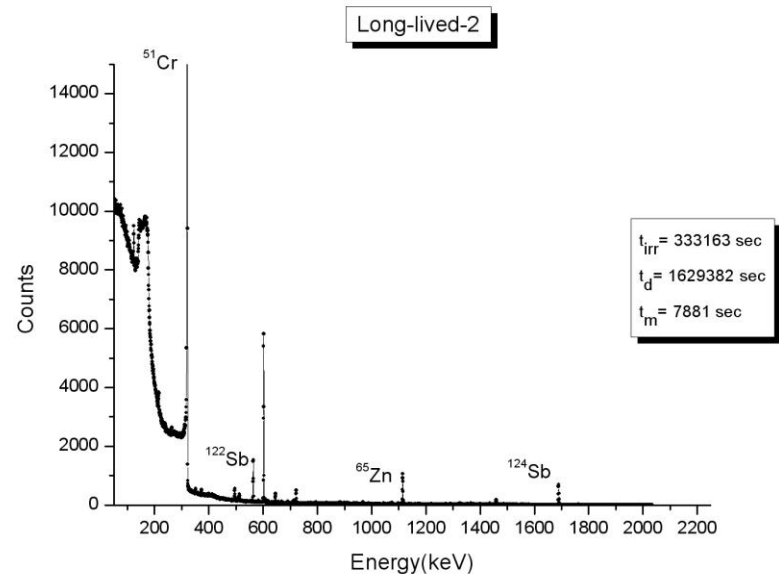
# Нейтронно-активационный анализ

Активационный анализ (АА) – метод определения элементного состава, основанный на измерении радиоактивного излучения, возникающего при превращении ядер под действием ядерных частиц или гамма-квантов с достаточной энергией.

При переходе в основное состояние каждый изотоп испускает характерное  $\gamma$ -излучения обычно со сложным спектром, по которому его можно идентифицировать и определить количественно



Последовательность событий в реакции радиационного захвата



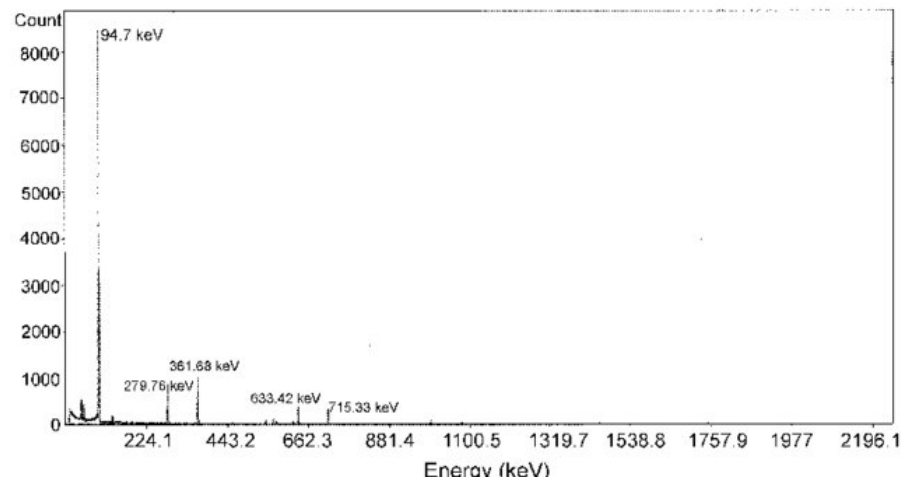
Нейтронный активационный анализ впервые был разработан Г. Хевеси и Х. Леви в 1936. Они использовали как источник нейтронов ( $^{226}\text{Ra} + \text{Be}$ ) и детектор (ионизационную камеру) и быстро заметили, что диспрозий в образце становился радиоактивным после бомбардировки нейтронами .



Георг Чарльз де Хевеши



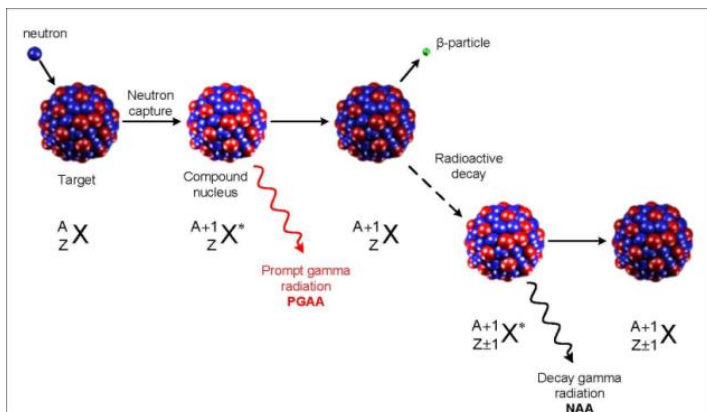
Хилде Леви



Гама спектр диспрозия-165

# Основные этапы проведения НАА

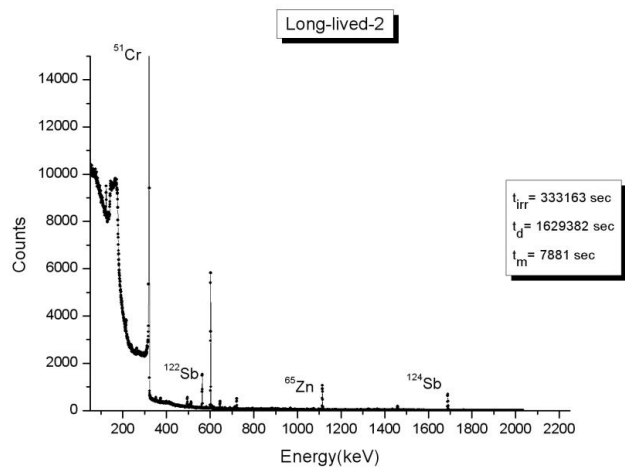
## Облучение



## Измерение



## Обработка спектров



## Результаты

Na			Mg		
Conc, $\mu\text{g/g}$	Err, %	MDC, $\mu\text{g/g}$	Conc, $\mu\text{g/g}$	Err, %	MDC, $\mu\text{g/g}$
420	9	3.65	760	16	19.9
230	9	2.68	790	14	13.4
272	9	2.15	440	17	13.9
340	9	2.79	730	12	16.8
206	9	2.2	370	13	14.7
163	9	1.98	600	14	10.8
240	9	2.29	930	14	12
990	9	6.06	620	17	21.3
360	9	3.31	710	12	14.6
440	9	1.26	530	12	15.5

# Нейтронный активационный анализ

## Преимущества

- ✓ высокая чувствительность для большинства элементов;
- ✓ хорошая избирательность;
- ✓ возможность одновременного определения большого количества элементов;
- ✓ Метод работает в очень широком диапазоне концентраций, от процентного уровня до уровня ppm и даже ppb;
- ✓ независимость результатов от формы элементов;
- ✓ НАА непревзойдённый в области анализа редкоземельных элементов (РЗЭ)
- ✓ неразрушающий характер, что позволяет избежать риска загрязнения образцов реагентами или их неполного растворения;
- ✓ простая процедура подготовки проб к анализу.

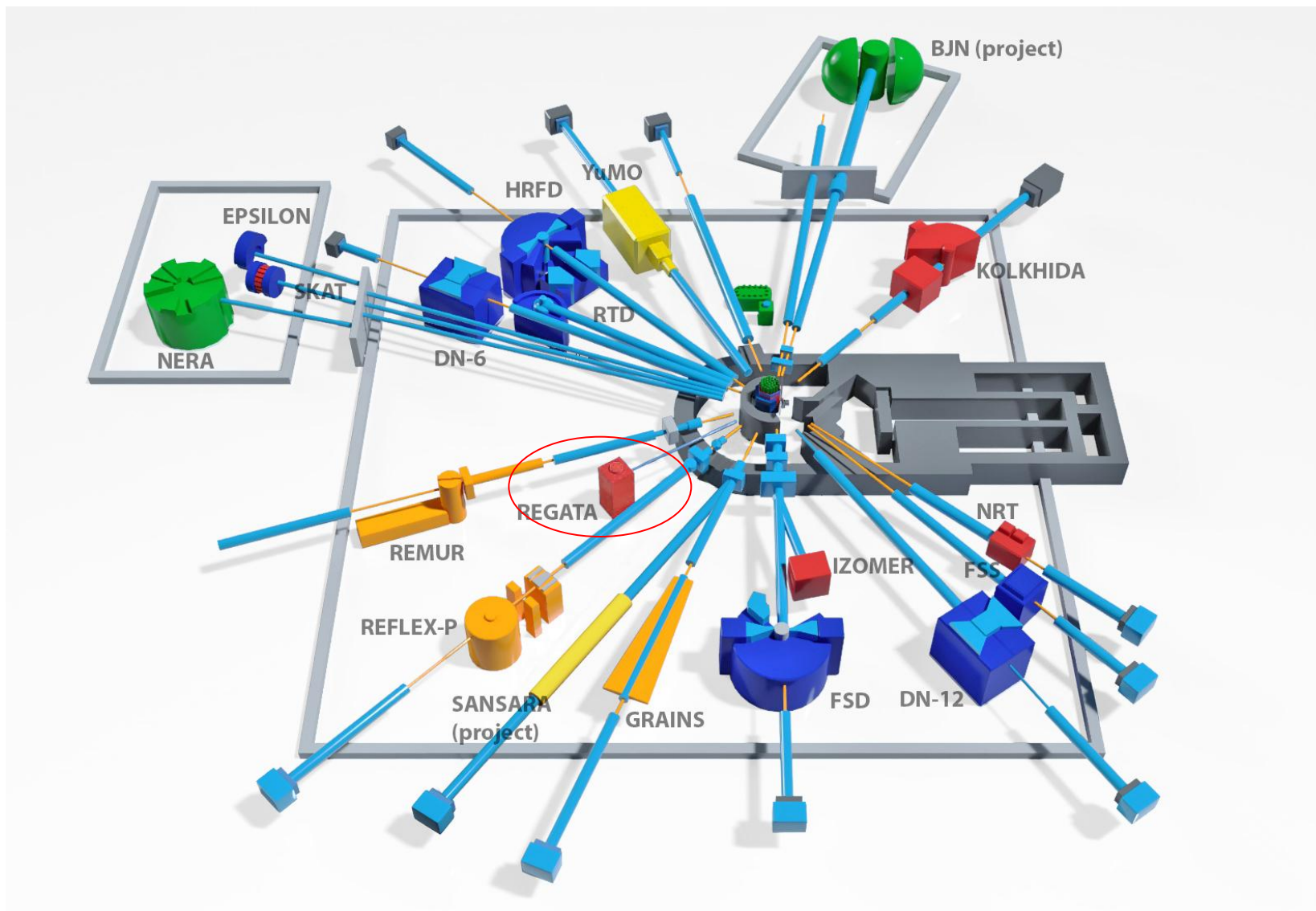
## Недостатки

- необходимость использования ядерных реакторов;
- проблемы, возникающие при хранении и захоронении ядерных отходов;
- время, необходимое для анализа.

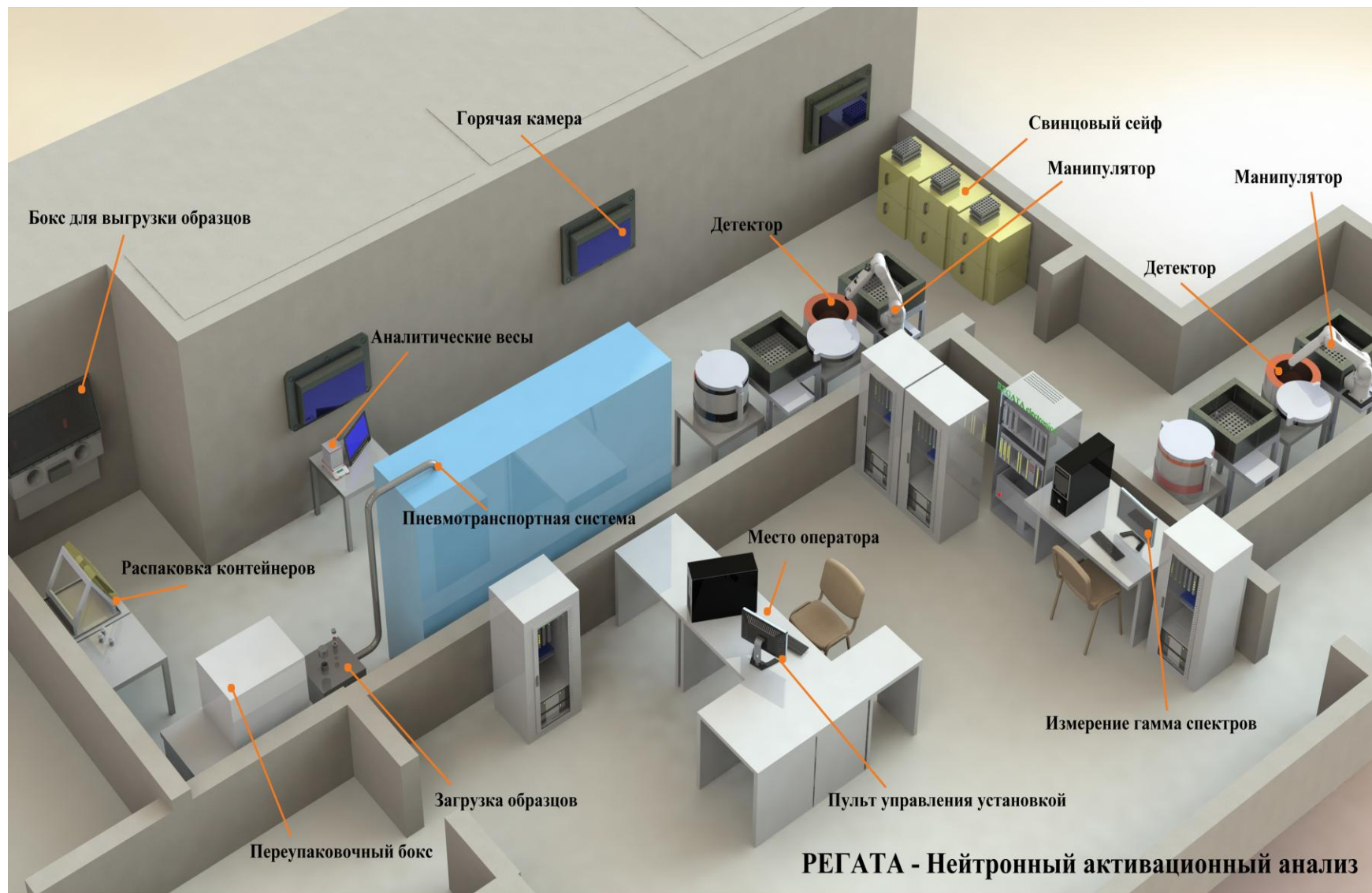
## Расчетные пределы обнаружения инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) при потоке тепловых нейтронов $10^{13}$ н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>

Чувствительность, пг	Элементы
1	Dy, Eu
1-10	In, Lu, Mn
10-100	Au, Ho, Ir, Re, Sm, W
100-1E3	Ag, Ar, As, Br, Cl, Co, Cs, Cu, Er, Ga, Hf, I, La, Sb, Sc, Se, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, Yb
1E3-1E4	Al, Ba, Cd, Ce, Cr, Hg, Kr, Gd, Ge, Mo, Na, Nd, Ni, Os, Pd, Pb, Rh, Ru, Sr, Te, Zn, Zr
1E4-1E5	Bi, Ca, K, Mg, P, Pt, Si, Sn Ti, Tl, Xe, Y
1E5-1E6	F, Fe, Nb, Ne
1E7	Pb, S

# Реактор ИБР-2 и радиоаналитический комплекс Регата



# Реактор ИБР-2 и радиоаналитический комплекс Регата



# Процедура облучения образцов

## Короткое облучение

**Mg, Al, Si, Cl, I, Ti, V, Cu, Mn, Ca, S and Dy**

- ✓ Канал облучения №2 (полный спектр нейтронов)
- ✓ Вес образцов : 0.1-0.5 г.
- ✓ Время облучения: 30 сек ~ 5 мин

## Длительное облучение

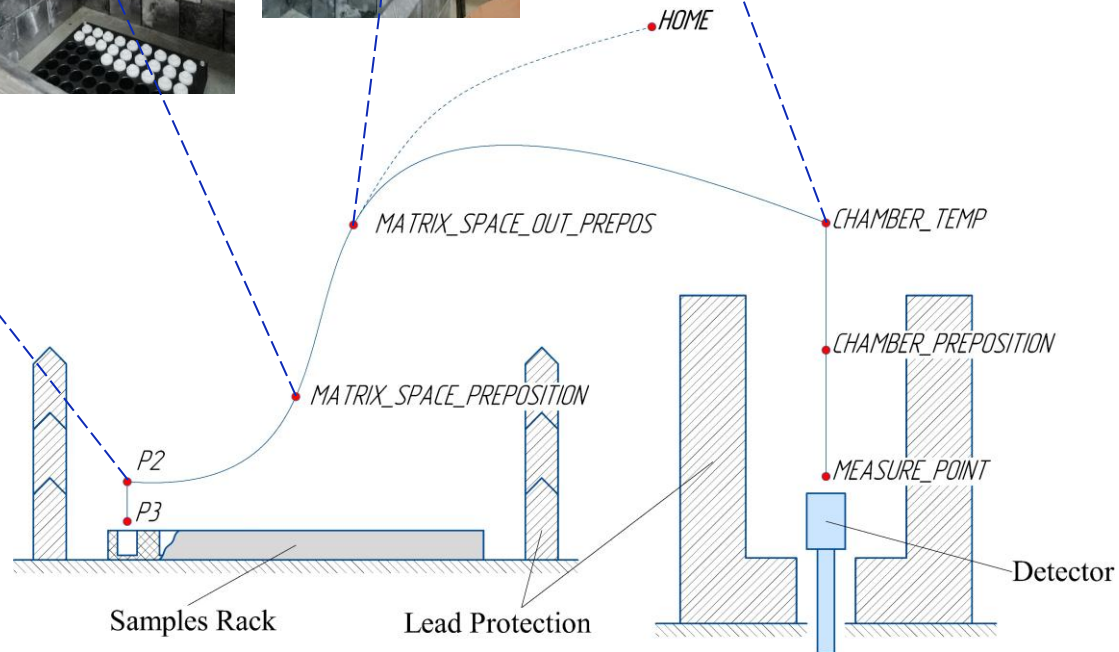
**Na, K, Sc, Cr, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Mo, In, Sn, Br, Rb, Sr, Zr, Sb, Cs, Ba, Ag, Cs, La, Ce, Sm, Tb, Hf, Ta, Nd, Nb, Y, Yb, W, Re, Ir, Hg, Au, Th and U**

- ✓ Канал облучения №1 (Cd- кожух, эпитепловые и быстрые нейтроны)
- ✓ Вес образцов : 0.1-0.5 г.
- ✓ Время облучения: 3- 5 дней
- ✓ Охлаждение -3.5 дней/ переупаковка
- ✓ Первое измерение 30 мин
- ✓ Второе измерение – 1.5 - 2 ч.

# Автоматизация гамма спектрометрии



General view of manipulator





Receiving

Loads

Irradiation

Measurement

Concentration

Data base

All Nope No selection

Samples

Year	Batch	Letter	Method	Country	Client
2024	52	s	NAA,,ICP OES,D...	Польша	Świsłowski
2024	51	r	NAA,,ICP OES,D...	Россия	Nguyễn Thị Minh
2024	50	q	NAA,,ICP OES,D...	Мексика	Chavez Lomeli
2024	49	p	NAA,,ICP OES,D...	Россия	Вергель
2024	46	o	ICP OES	Мексика	Carlos
2024	45	n	ICP OES	Мексика	Carlos
2024	44	m	ICP OES	Россия	Полюх
2024	43	l	NAA	Сербия	Малетаскич
2024	42	k	ICP OES	Россия	Горелова
2024	41	j	ICP OES	Египет	Abdo
2024	40	i	ICP OES	Россия	Волкова
2024	39	h	ICP OES	Россия	Кравцова
2024	38	g	ICP OES	Россия	Кравцова
2024	37	f	ICP OES,AAS	Россия	Пешкова
2024	33	e	ICP OES	Россия	Юшин
2024	32	d	ICP OES	Россия	Юшин
2024	31	c	ICP OES	Россия	Лавриненко
2024	30	b	ICP OES,DMA	Индия	Muthukumar
2024	27	a	ICP OES,DMA	Moldova	Siocarlan
2024	26	f	Fon	Россия	Гроздов
2024	14	b	NAA	Россия	Гроздов
2024	2	b	NAA	Румыния	Kulicov

SamplePreparation

Irradiation KJI Measurement  
Irradiation DJI Measurement

Results

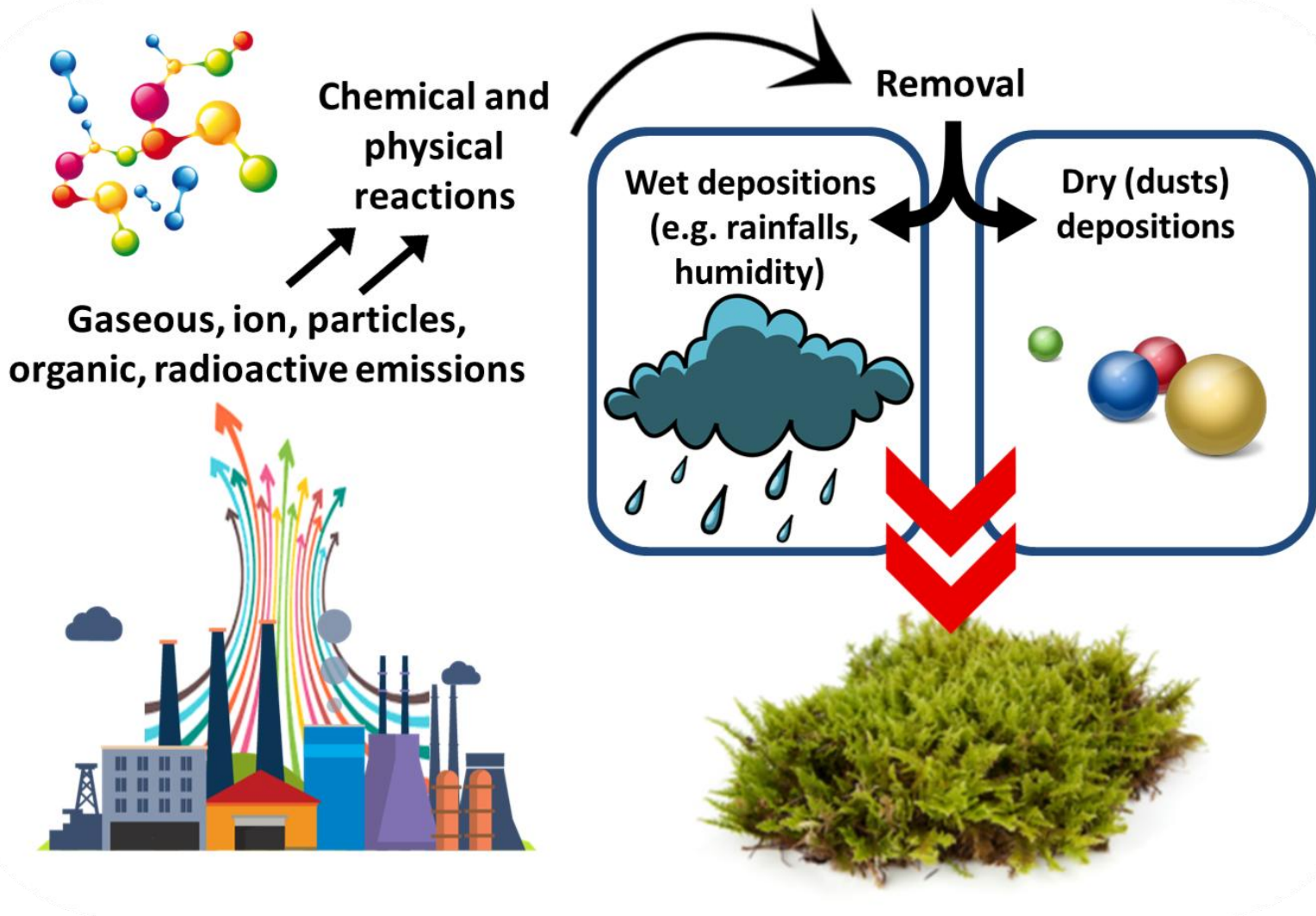
Samples: 64 (KJI - 32, DJI - 32).  
Client: Дмитрий Гроздов.  
Work type: Совместные.  
Receiver: lashkova.  
Storage: b2-36.  
Processors: kravtsova, chaligava, galustov, gundorina, nekhorooshkov, ostrovnaaya, nguyen, pavlov, peshkova, trinh, yushin, zinkovskaia, shvetsova.  
Description: Тестовая партия образцов..  
Defined elements: все.

Appoint a processor Measurement list  
Clients Loads  
Load results Standards  
QC

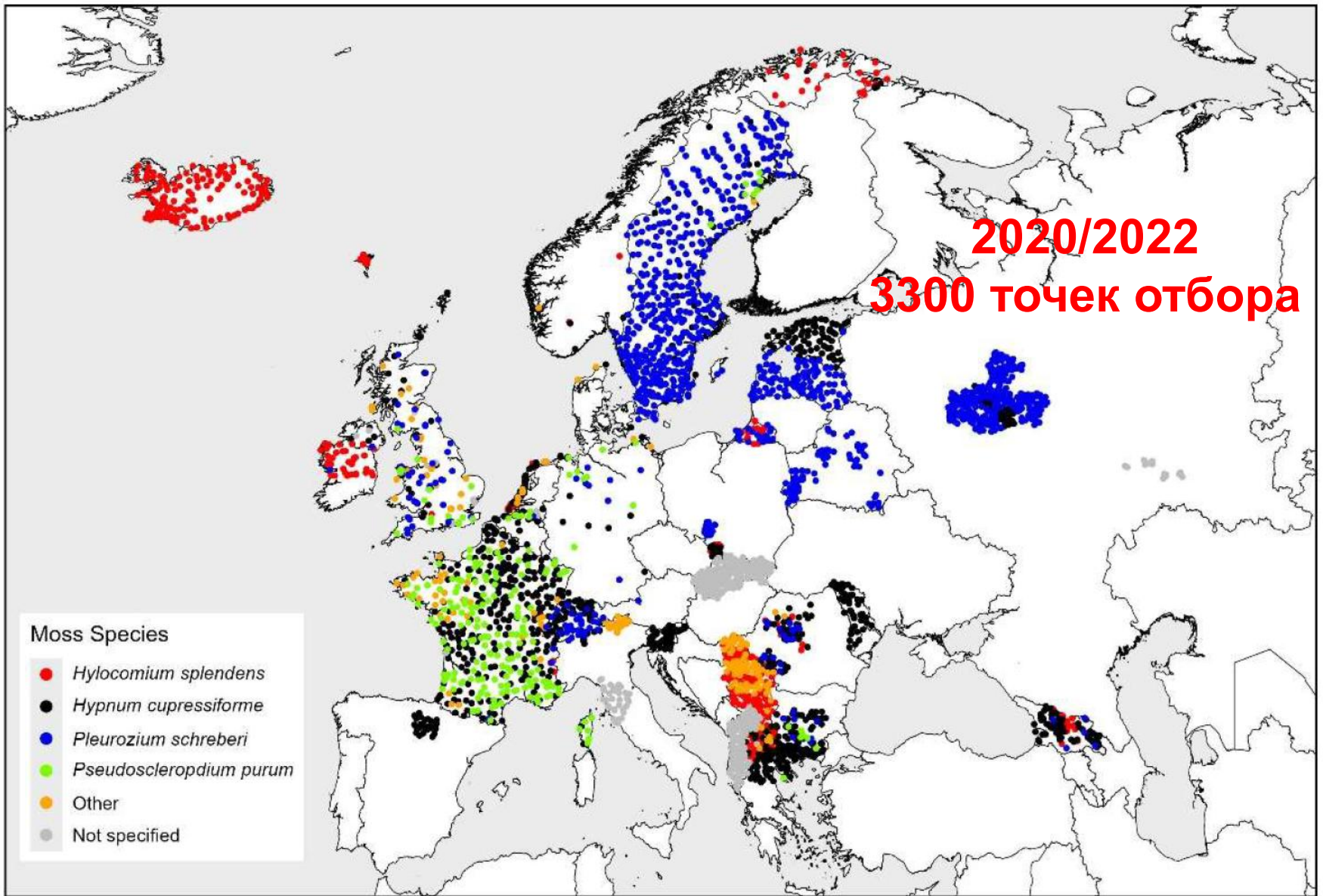
# Научные направления

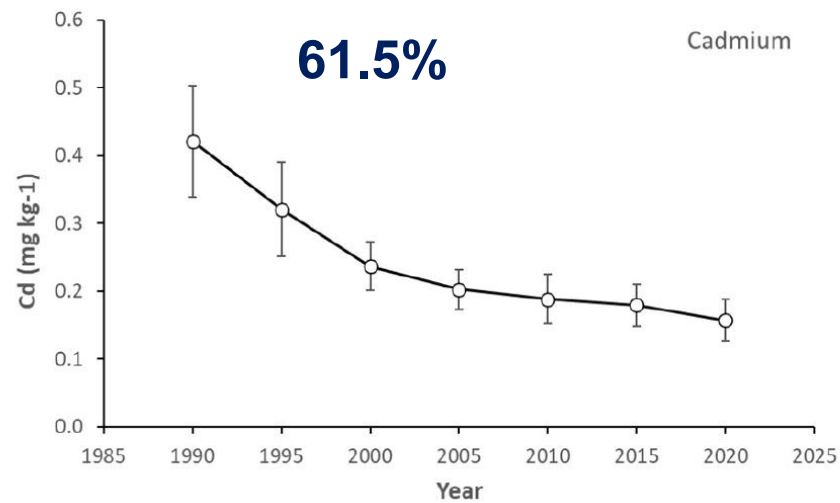
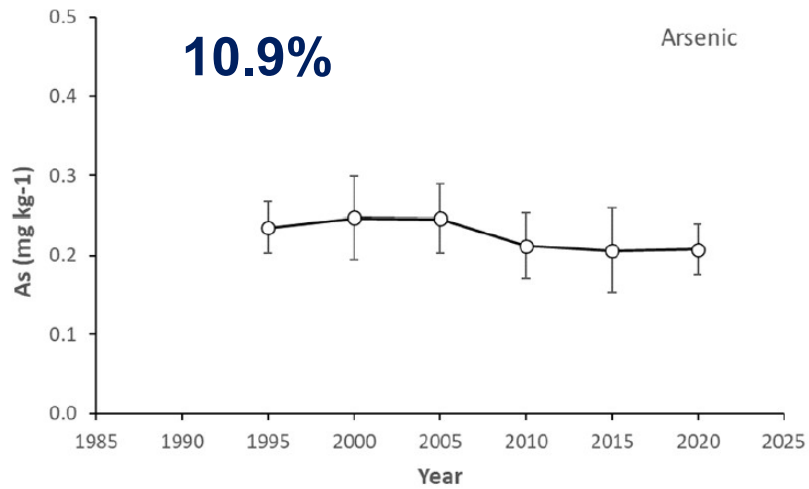
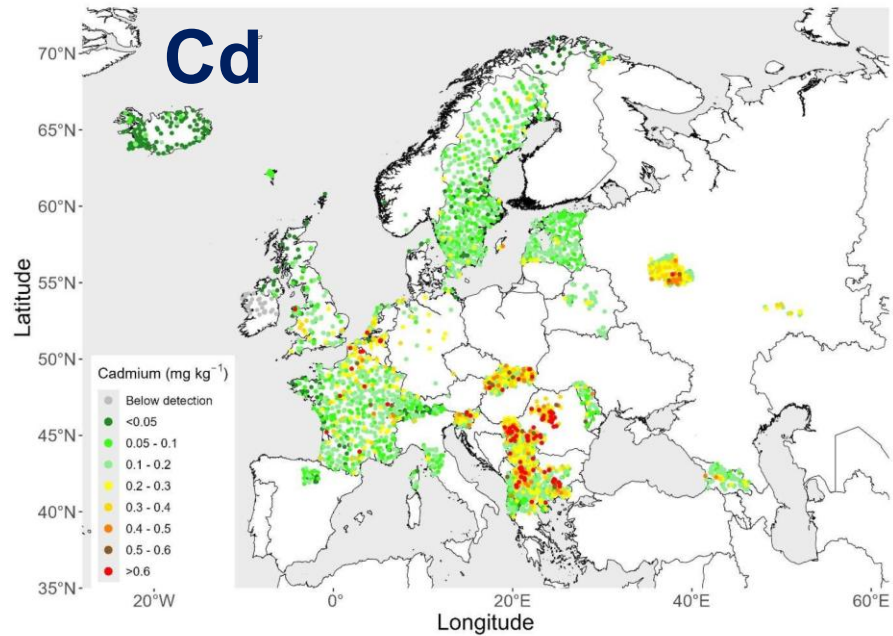
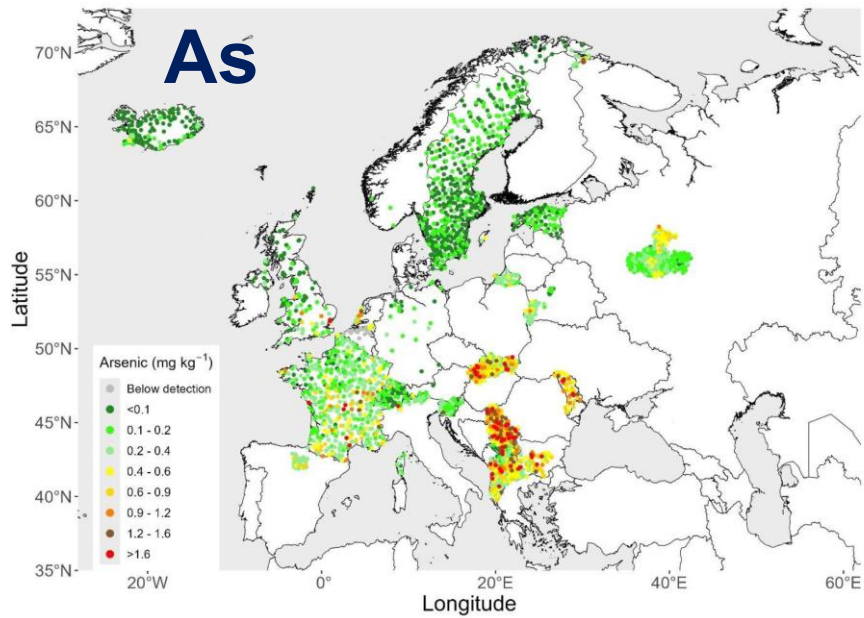


# Оценка загрязнения воздуха

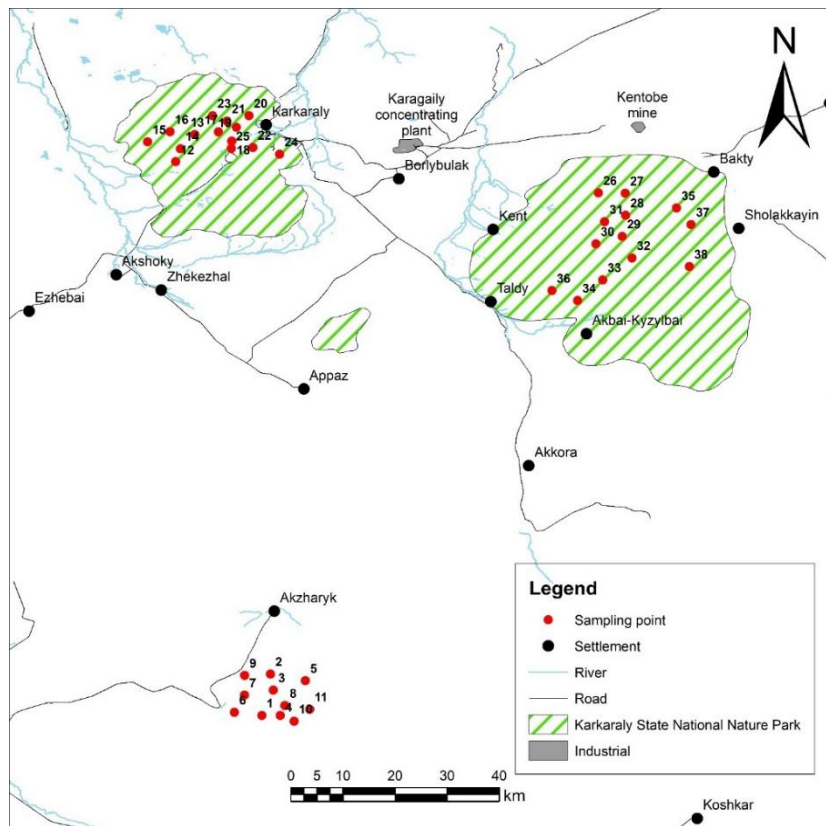








# Карагандинская область



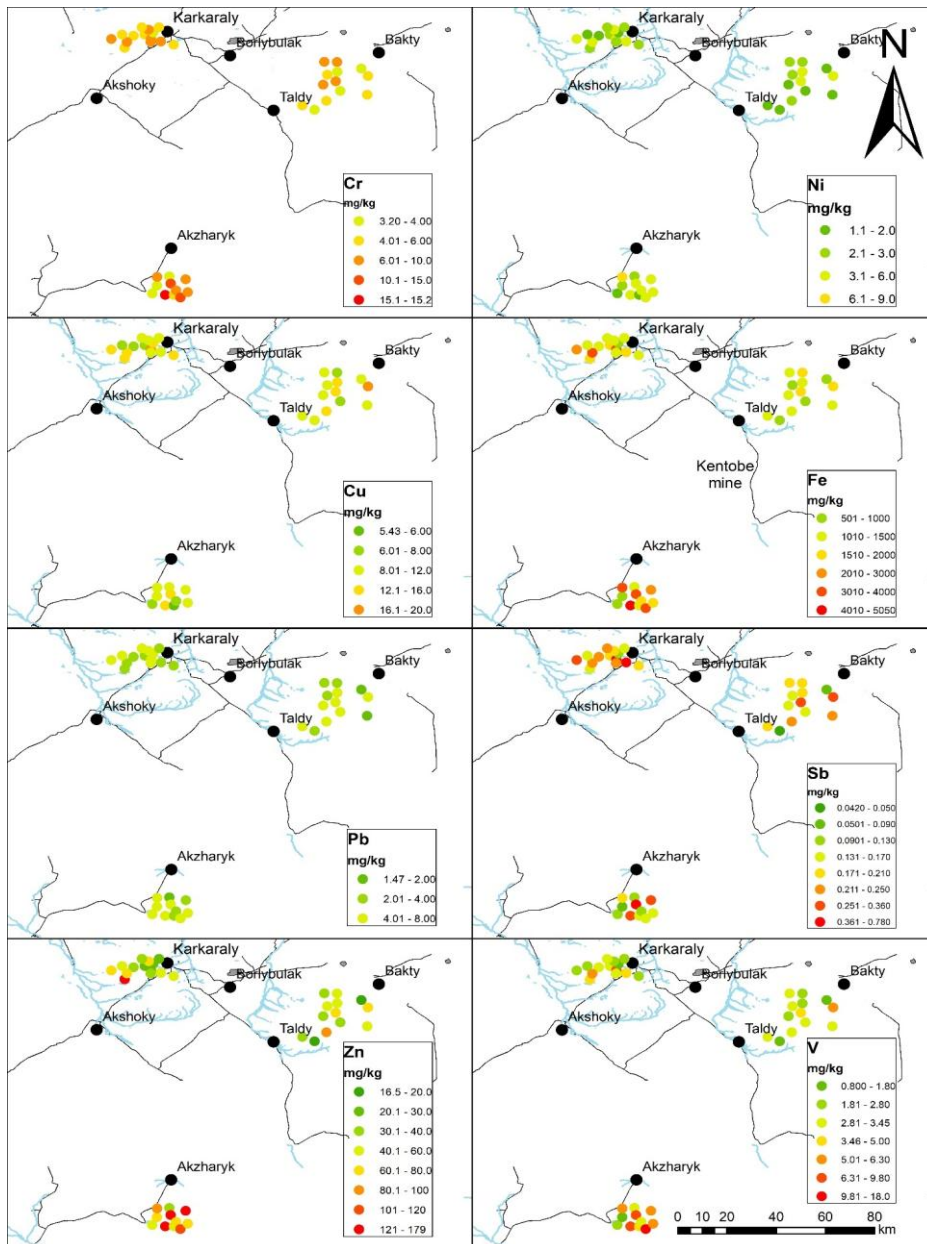
Карта пробоотбора



Карагандинская область



Каркаралинский национальный парк



**Добыча полезных ископаемых**



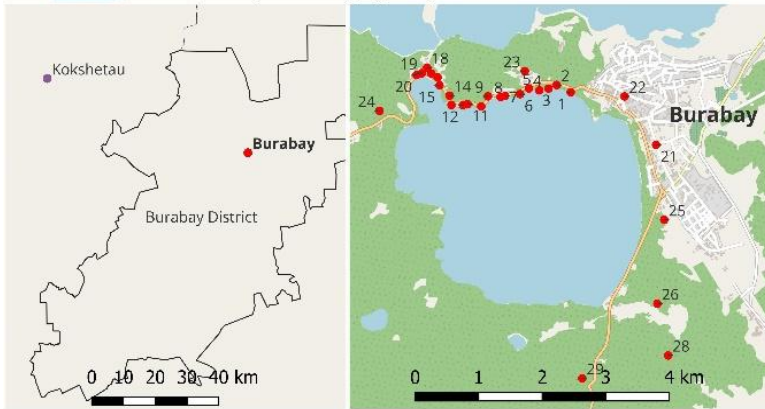
**Металлургическая промышленность**



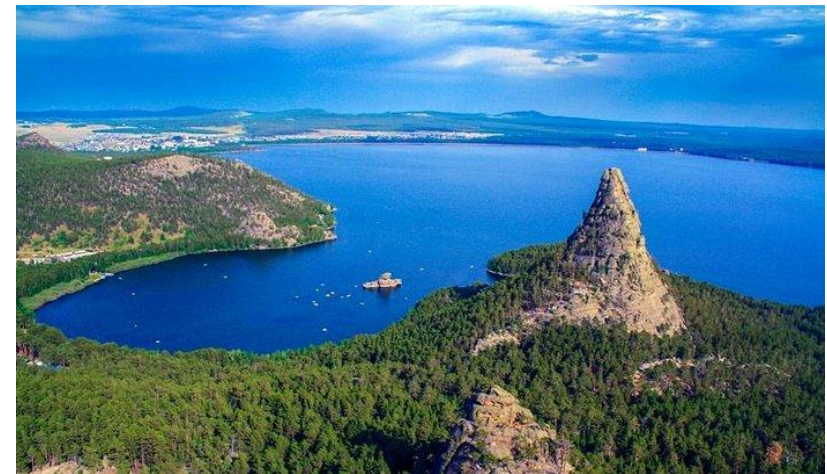
**Транспорт**

**Содержание Cr, Ni, Cu, Fe, Pb, Sb, Zn и V в мхах, собранных в Карагандинской области.**

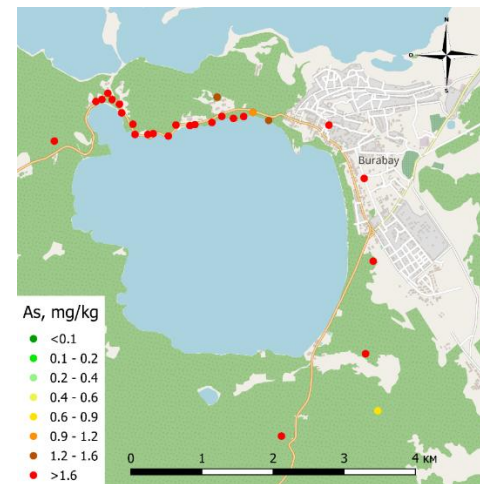
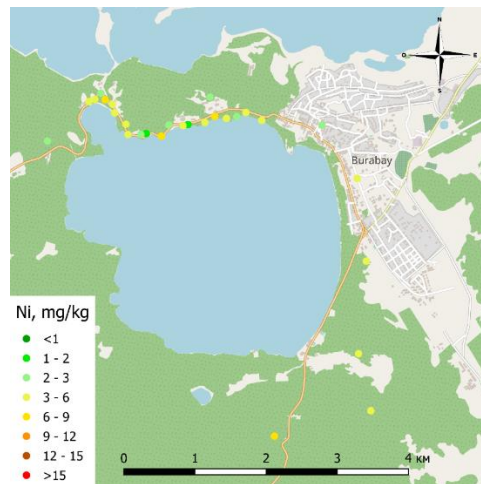
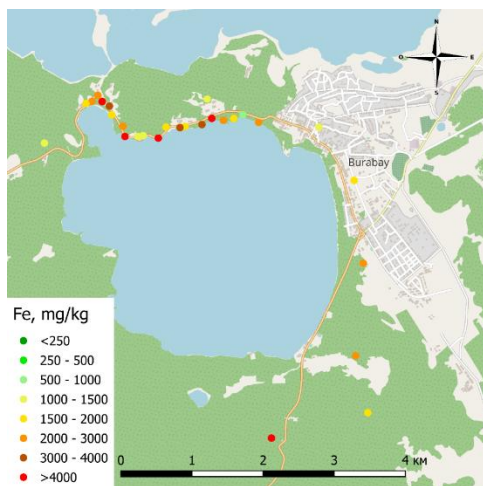
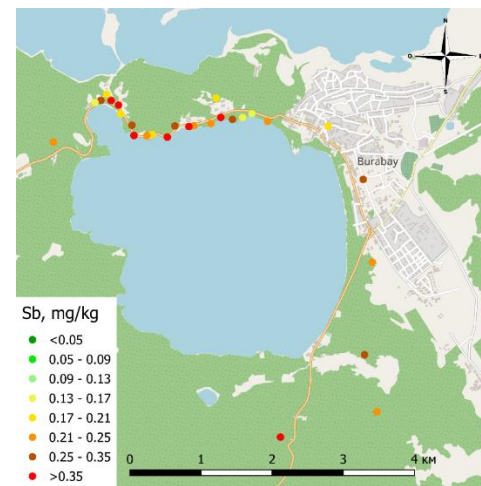
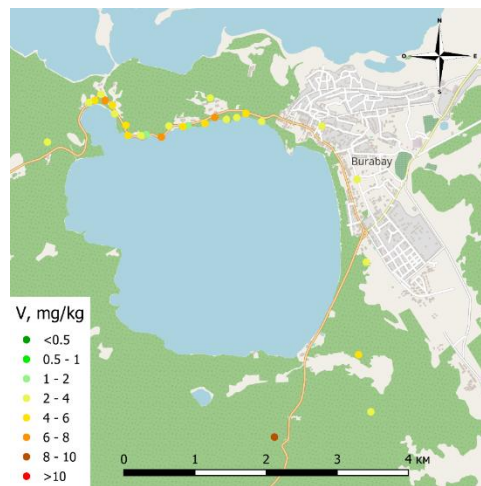
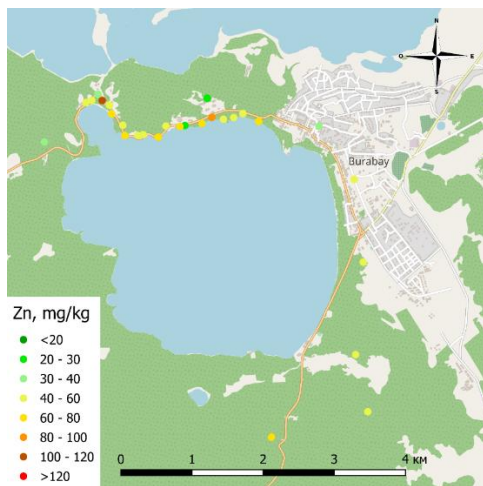
# Национальный парк Бурабай



Карта пробоотбора



Национальный парк Бурабай



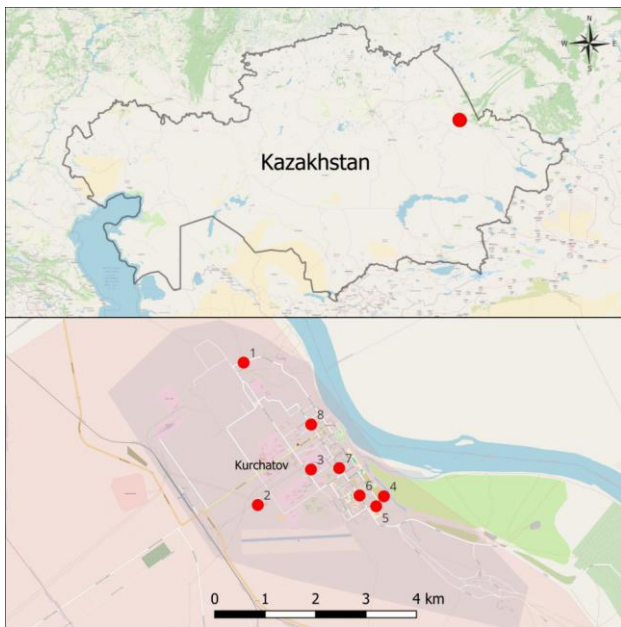
**Карты пространственного распределения уровней Cr, Ni, Co, Zn, V, Fe, As, Sb, определенных в образцах мха, собранных в Государственном национальном природном парке Бурабай.**

# Активный биомониторинг

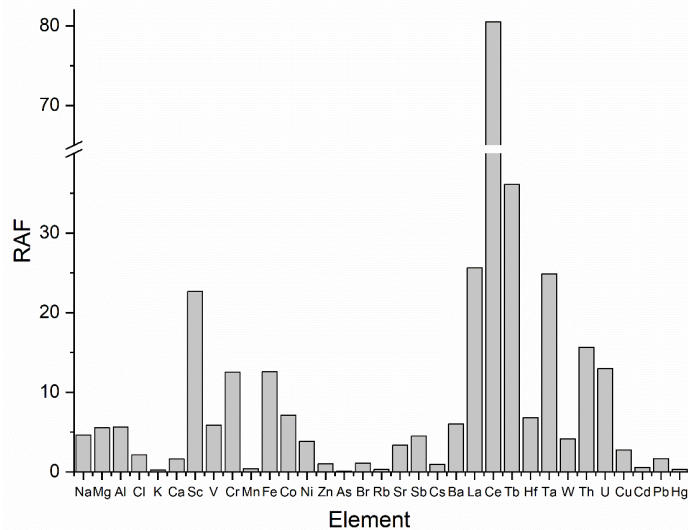


*Sphagnum girgensohnii* Russow

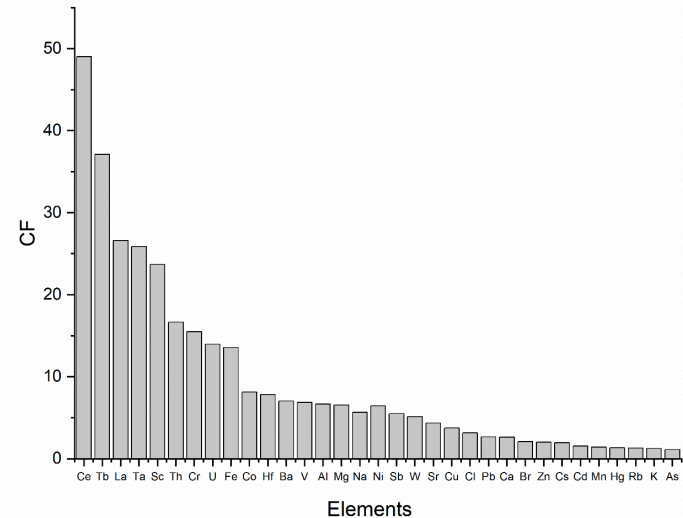




The map of moss bags exposure sites in in the Kurchatov, Kazakhstan



Mean RAF values for elements in moss samples exposed in Kurchatov

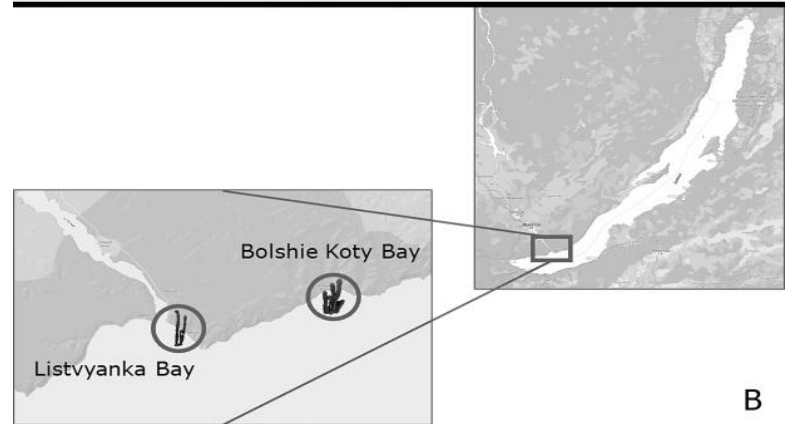


Mean CFs values for elements in moss samples exposed in Kurchatov

# Водный биомониторинг



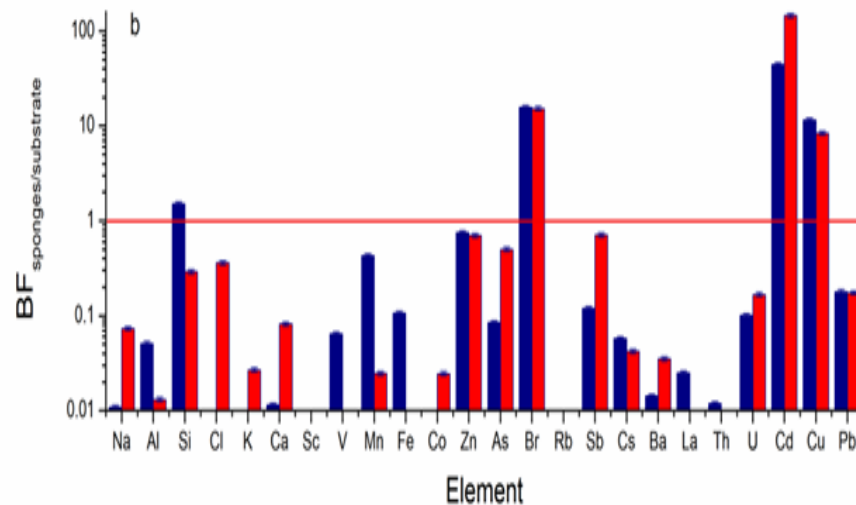
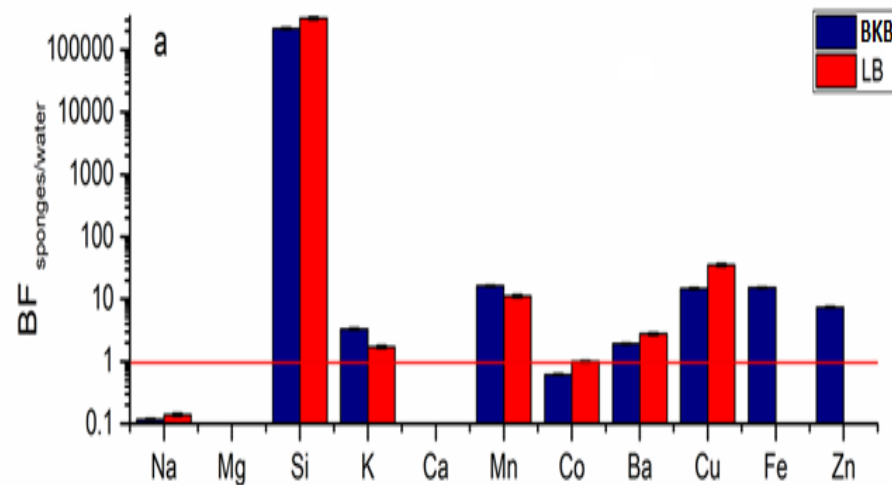
A



B

## Концентрации элементов в воде о. Байкал (Na, Mg, K, и Ca в мг/л, остальные элементы в мкг/л)

Элемент	Большие коты	Листвянка	ПДК*
Na	2.25±0.007	2.42±0.001	200
Mg	5.26±0.02	5.68±0.002	50
Si	0.53±0.004	0.32±0.001	10000
K	0.35	0.45±0.01	-
Ca	13.8±0.001	14.7±0.07	-
Mn	1.5±0.006	2.1±0.01	100
Fe	20±0.25	<6	300
Co	0.7±0.1	0.5±0.005	100
Zn	7±0.08	<3.2	1000
Sr	95±0.8	96±0.1	7000
Mo	2.9±0.2	1.8±0.2	250
Ba	9±0.07	10±0.02	700
Hf	0.3±0.03	<0.1	-
Cu	11±0.09	8±0.02	1000



**Значения фактора бионакопления в системах  
(а) вода-губки и (б) субстрат-губки**

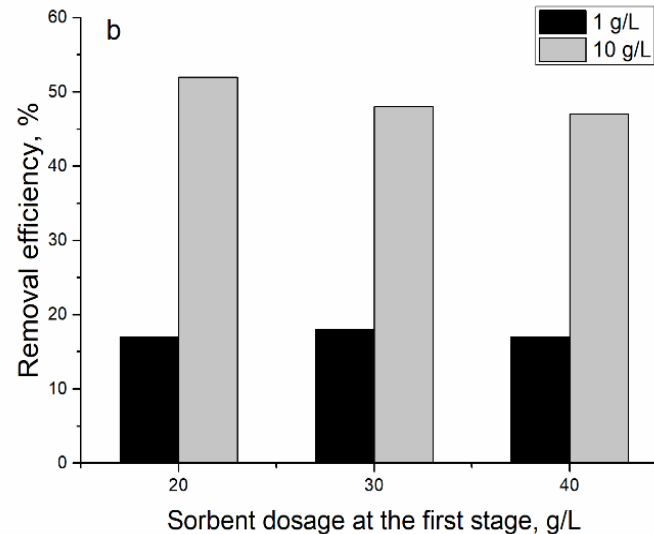
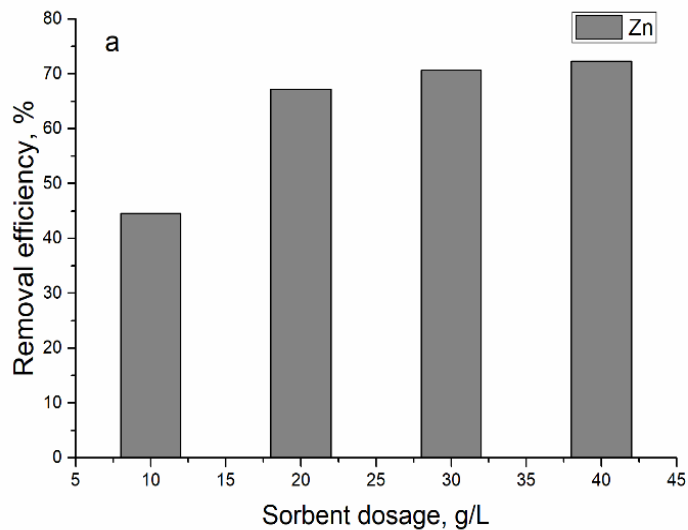
# Очистка сточных вод

  
*Saccharomyces cerevisiae*

C, pH

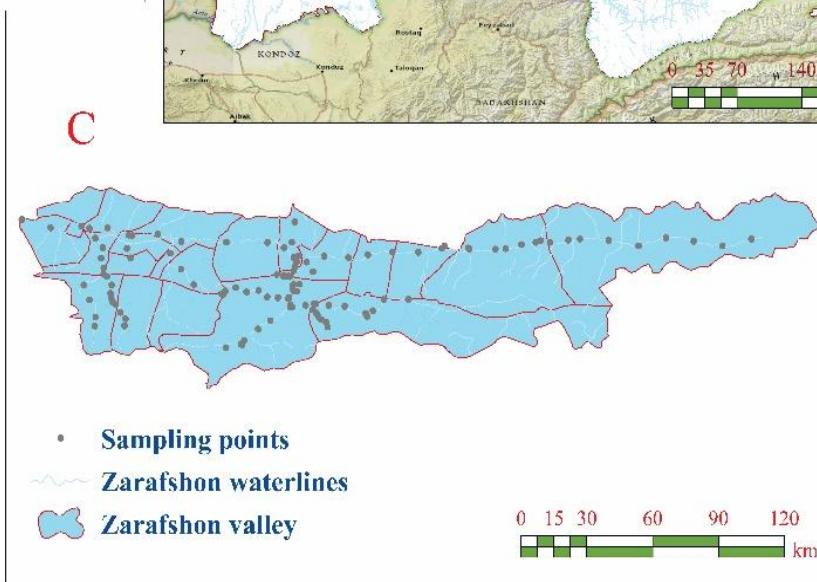
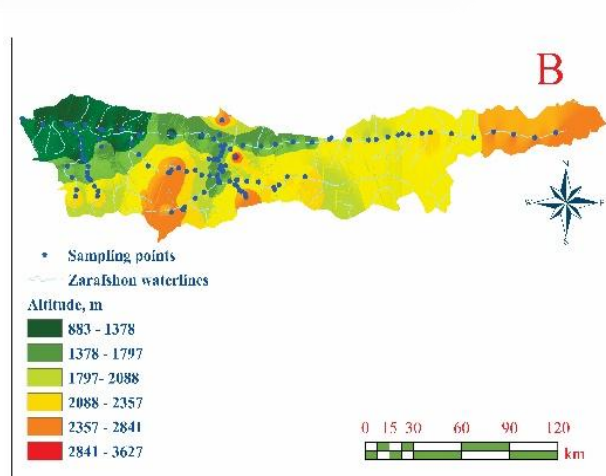


AAS: Cu  
NAA: other elements

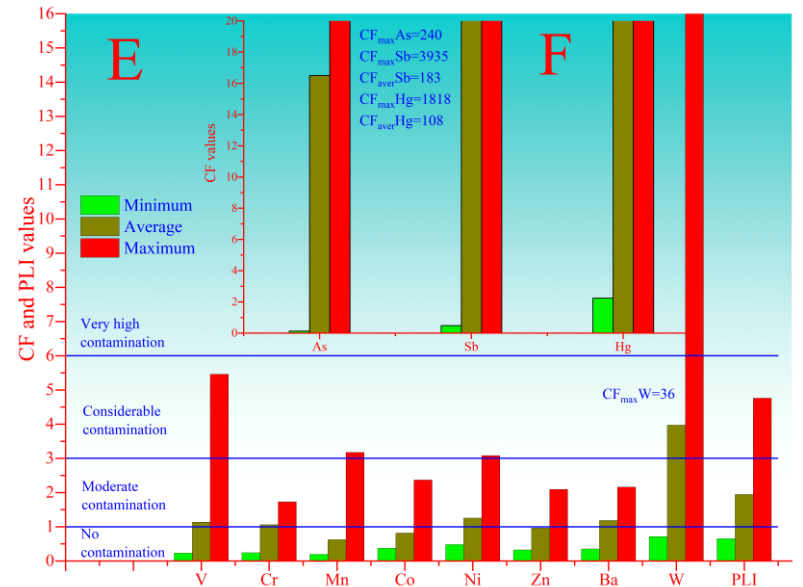
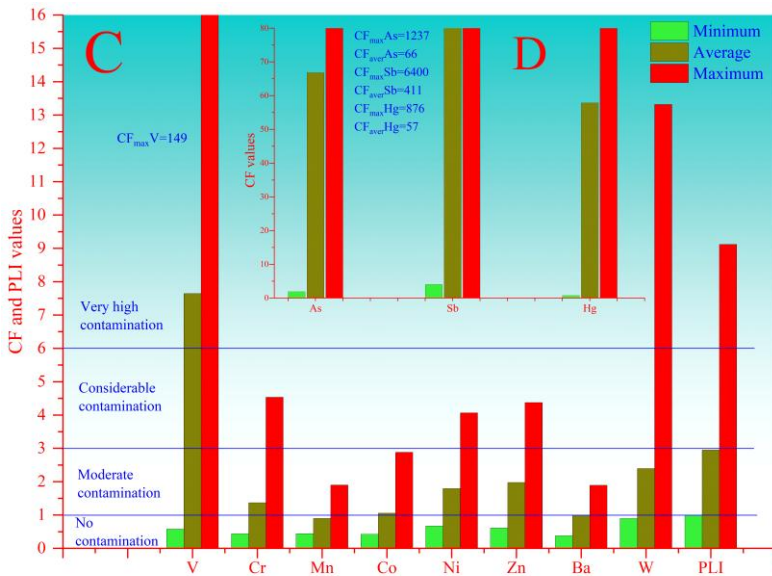
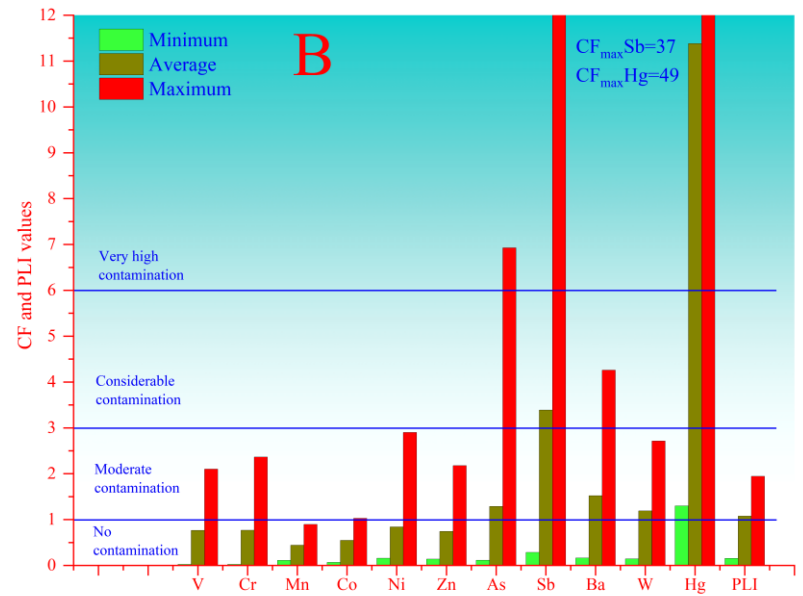
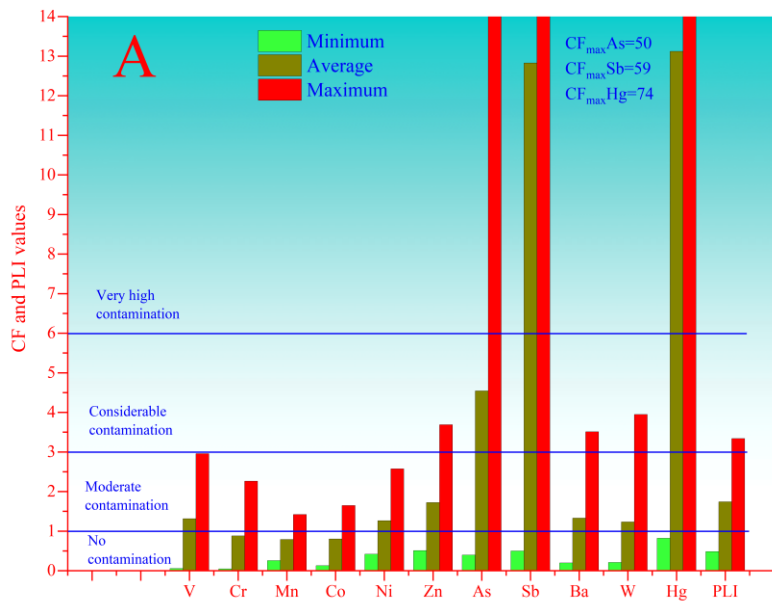


Removal of zinc ions from industrial effluent at different sorbent dosage  
(at T 20 °C; adsorption time 1h)

# Оценка загрязнения почв



Карта исследуемой территории

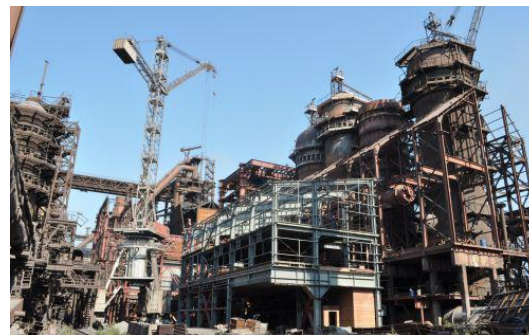


**Значения CF и PLI неэкспонированной почвы (A) и донных отложений (B), а также почв (C и D) и отложений (E и F), подверженных антропогенному воздействию**

# Биоремедиация почв



Косогорский  
металлургический завод



Тулачермет



Проспект Ленина



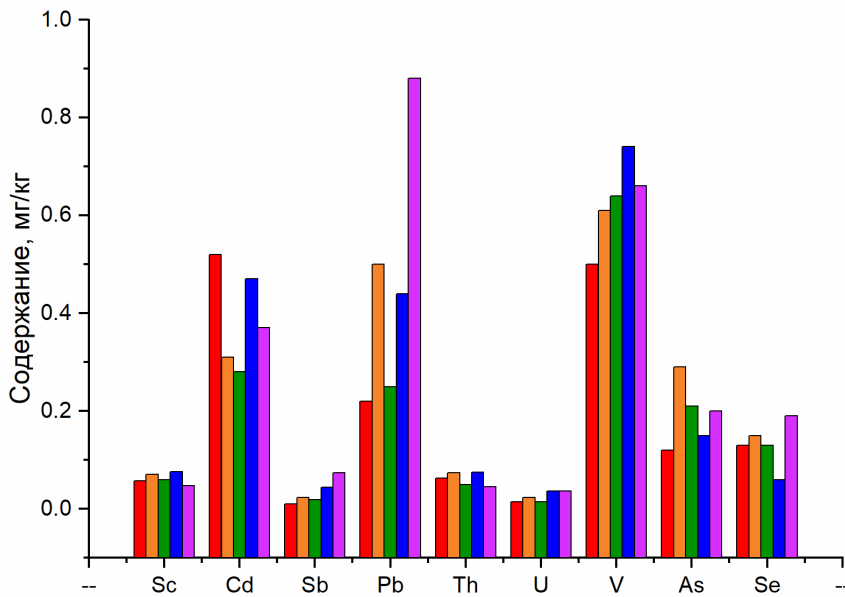
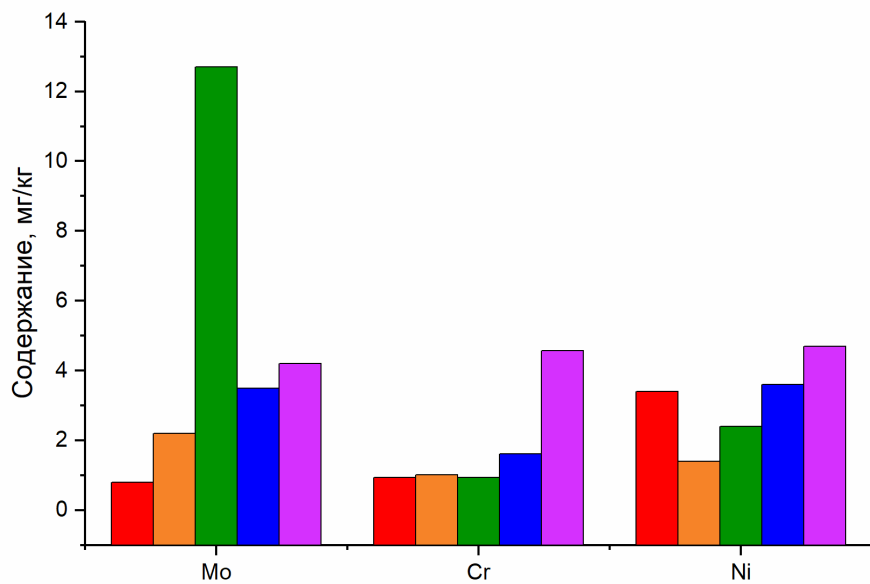
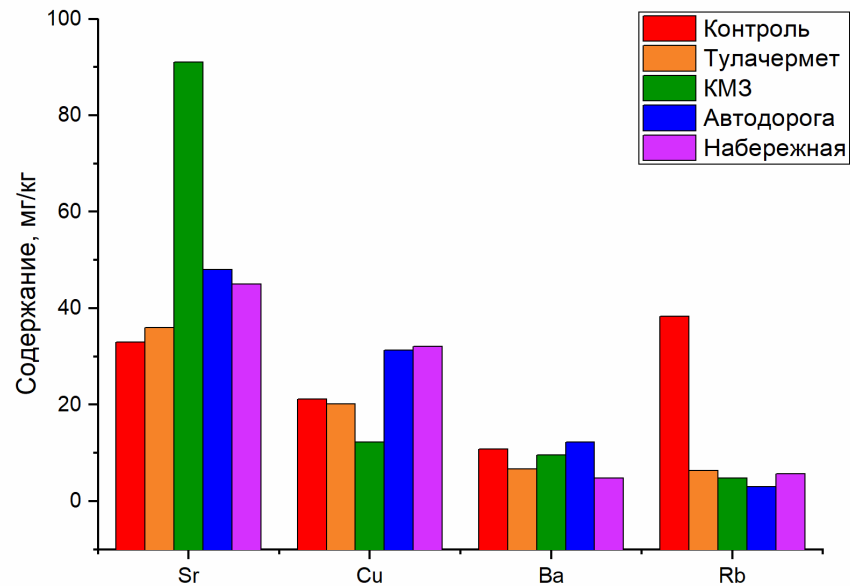
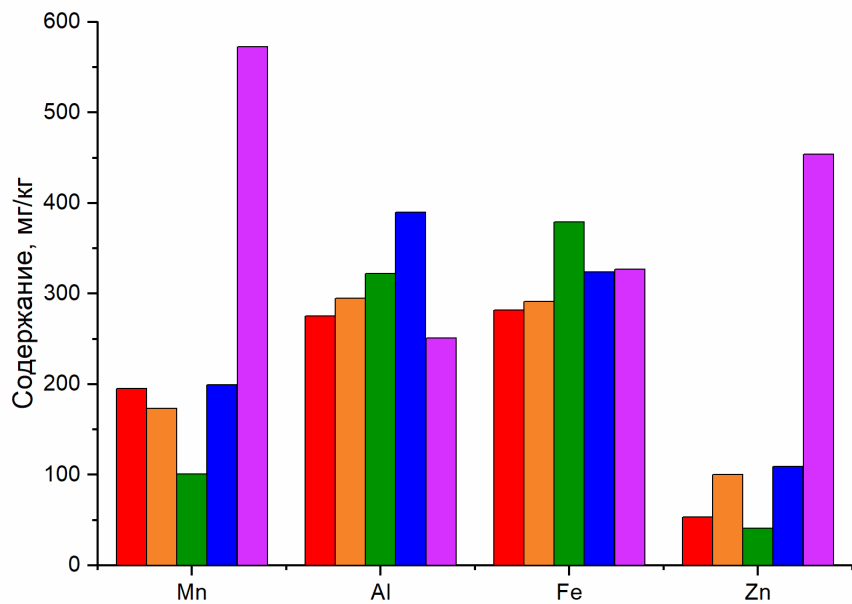
Контроль



Набережная

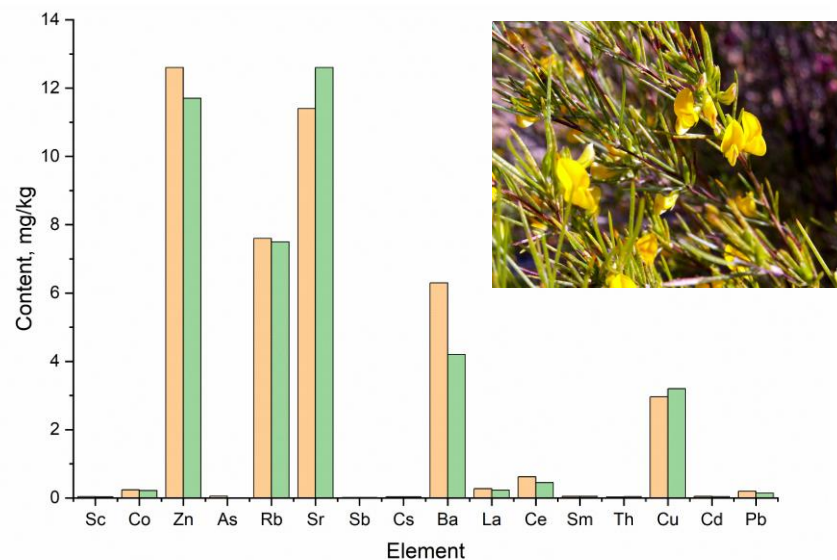
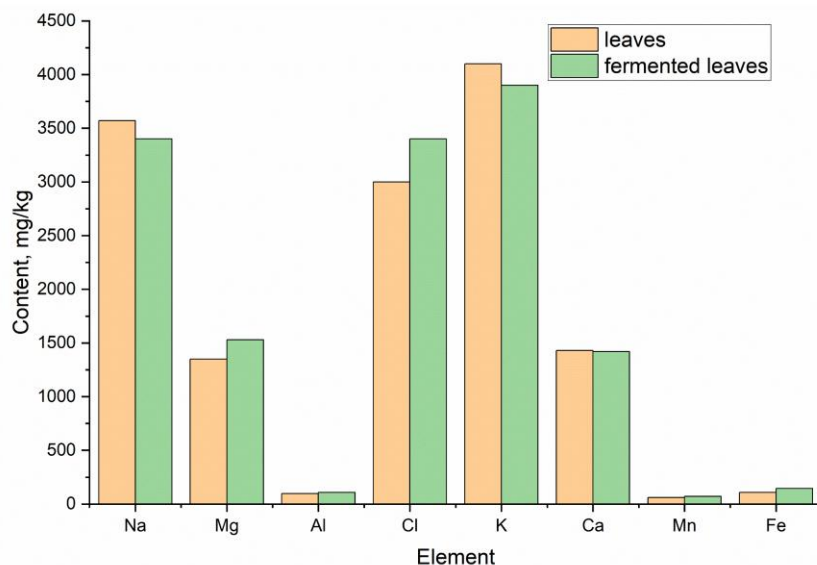
## Содержание химических элементов в урбаногемах, мг/кг

Элемент	Ясная поляна	КМЗ	Тулачермет	автодорога	набережная
Mn	900 ± 87	6600 ± 260	950 ± 87	700 ± 58	1600 ± 156
Fe	39250 ± 1960	45,750 ± 2290	116650 ± 5830	45300 ± 2260	97700 ± 8754
V	65 ± 3.2	55 ± 4	145 ± 7.2	59 ± 2.9	91 ± 5
Cr	116 ± 8	137 ± 12	117 ± 4.5	70 ± 2.8	1260 ± 80
Ni	41 ± 3	45 ± 4	42 ± 3.3	35 ± 2.8	285 ± 23
Cu	29 ± 2	52 ± 4	27 ± 0.8	30 ± 0.9	1188 ± 89
Zn	23 ± 2	192 ± 9	71 ± 3.6	106 ± 5.3	4579 ± 230
Pb	28 ± 2	71 ± 6	24 ± 0.7	36 ± 1.1	185 ± 14
As	5.1 ± 0.4	9.9 ± 0.5	4.3 ± 0.2	5.4 ± 0.3	12.5 ± 0.6

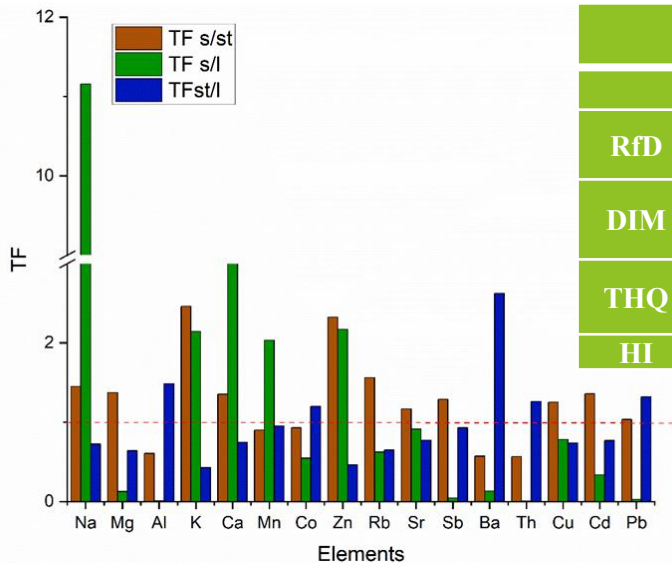


## Накопление элементов в растениях

# Массовая доля элементов в листьях ройбуша, собранных на ферме в Западно-Капской провинции Южной Африки.



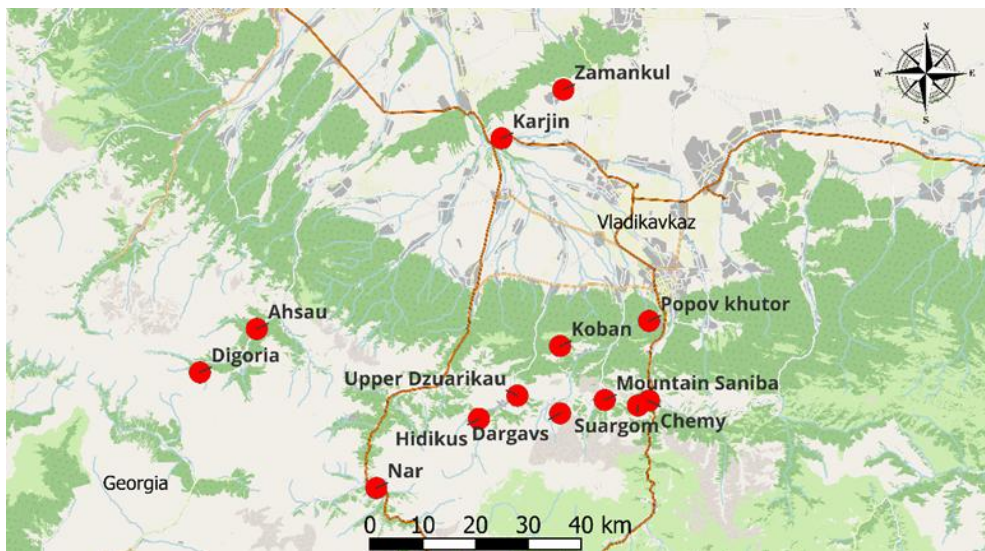
## The RfD, DIM and THQ values for selected elements



	Element									
	Al	Mn	Fe	Co	Zn	Sb	Cu	Cd	Pb	
RfD	7	0.14	0.7	0.03	0.3	0.003	0.04	0.003	0.0004	
DIM	1.4E-02	9.5E-03	1.9E-02	2.9E-05	1.6E-03	1.3E-06	4.3E-04	5.6E-06	1.9E-05	
THQ	0.002	0.068	0.028	0.0009	0.0052	0.00044	0.01067	0.0019	0.048	
HI	0.16									

## Факторы переноса основных и микроэлементов из почвы в листья ройбуша

# Медицинские растения



Карта отбора лекарственных растений в  
Республике Северная Осетия



*Mentha longifolia*



*Origanum vulgare*



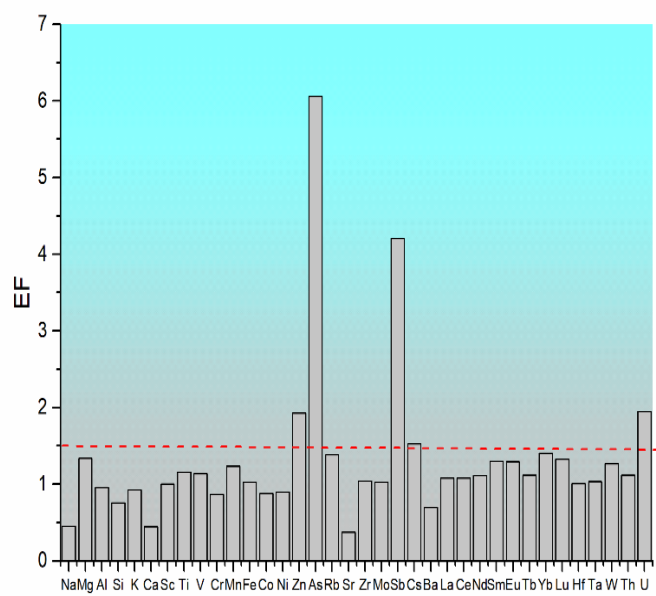
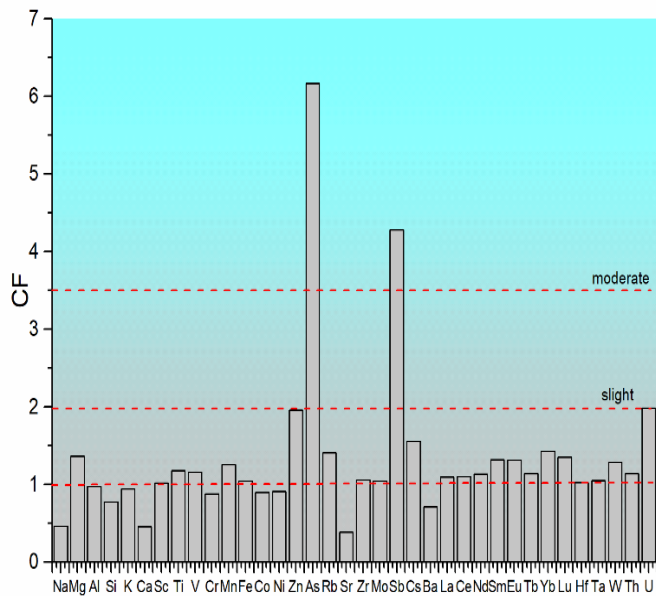
*Hypericum perforatum*



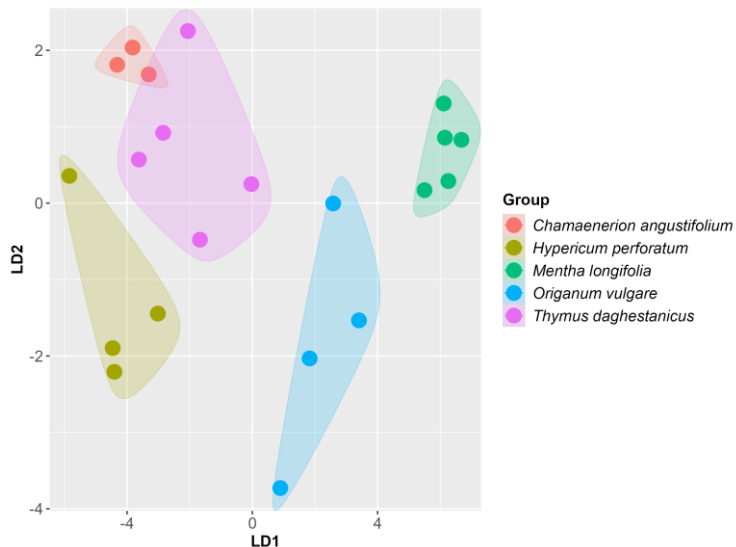
*Thymus daghestanicus*



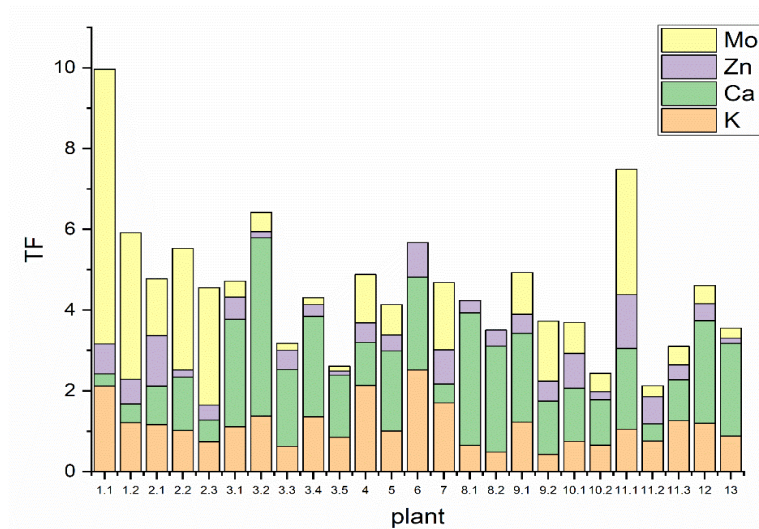
*Chamaenerion angustifolium*



**Средние значения КЗ и ФН для образцов почв, отобранных в различных зонах Северной Осетии**

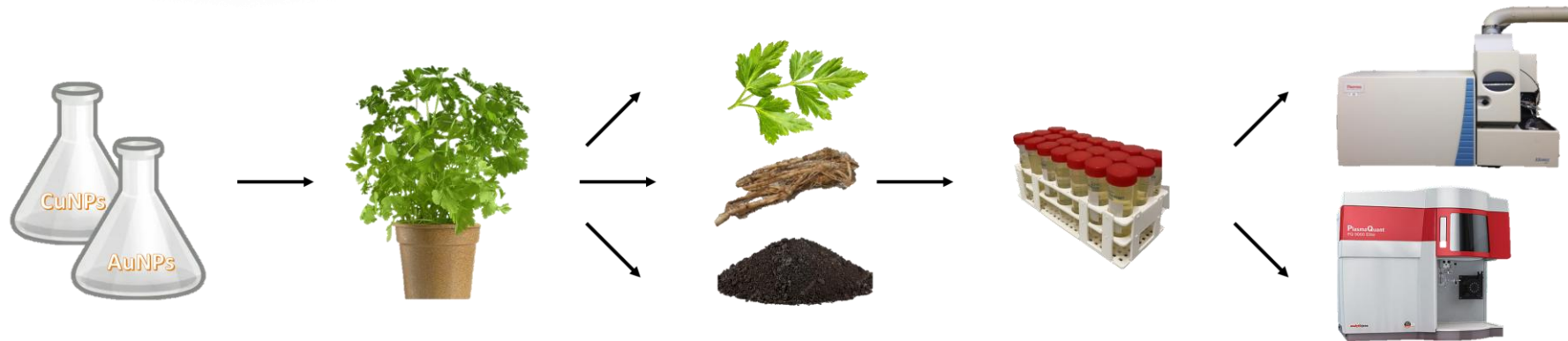


**Дискриминантный анализ для образцов растений**

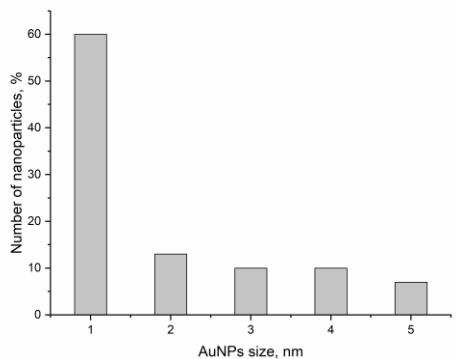
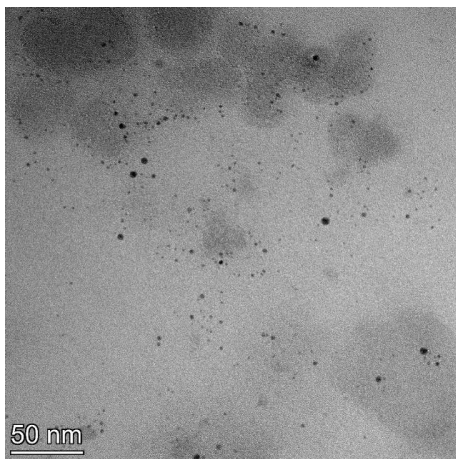


**Фактор переноса для К, Са, Zn and Мо**

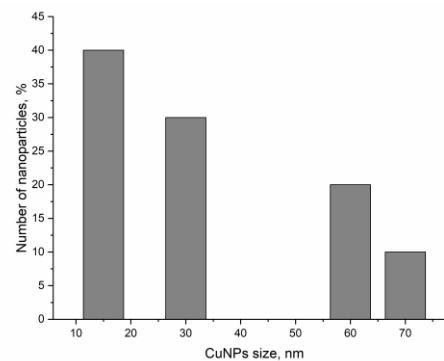
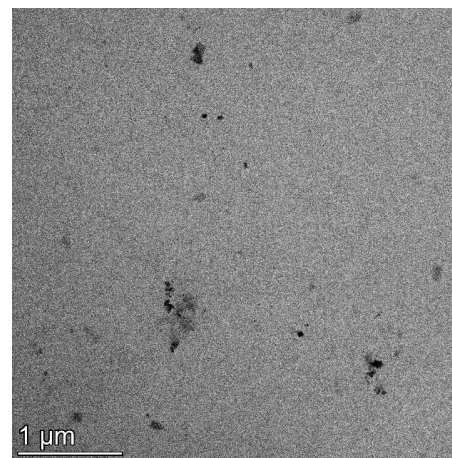
# Влияние наночастиц на растения

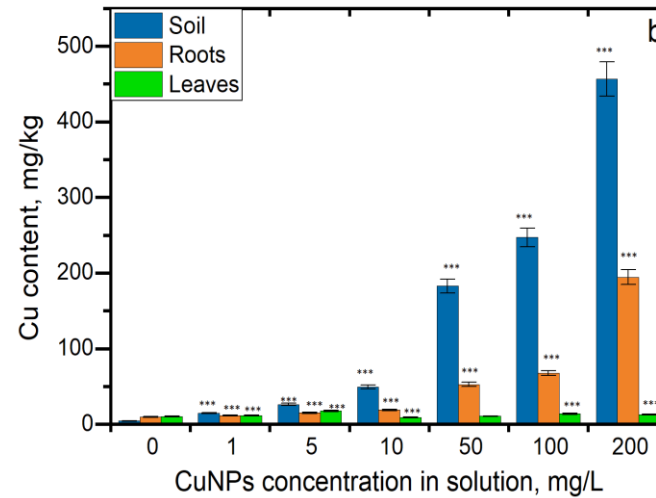
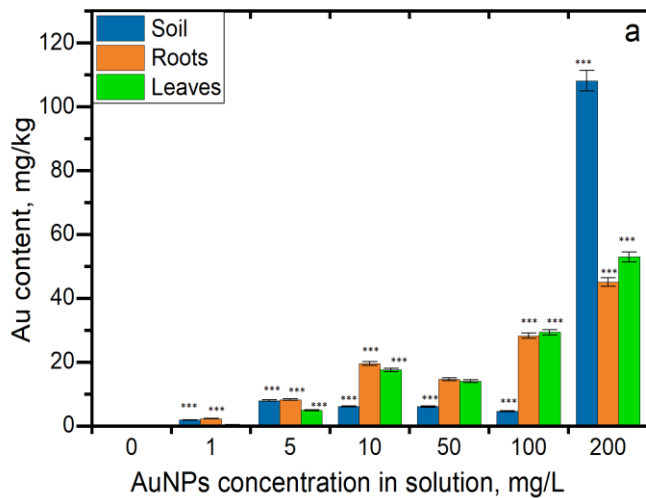


## AuNPs

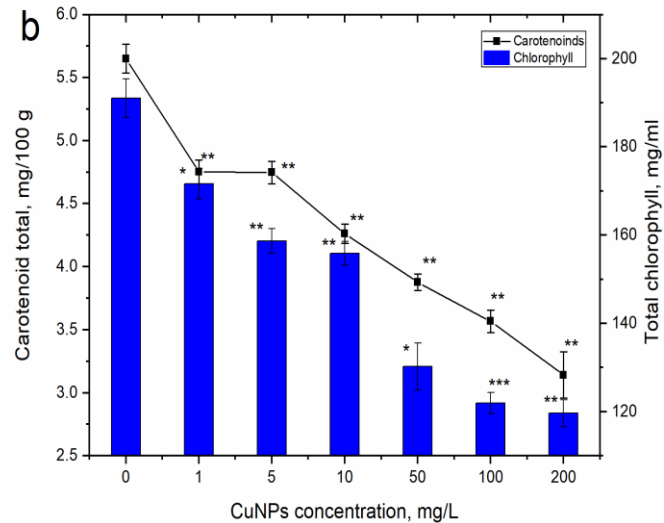
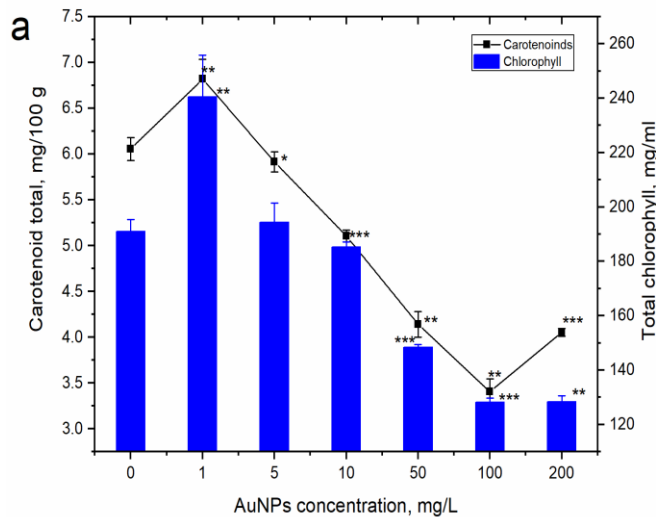


## CuNPs





**Содержание меди и золота в сегментах петрушки (a) AuNPs и (b) CuNPs**

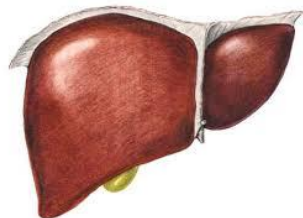


**Изменение содержания каротенов и хлорофилла в листьях петрушки (a) AuNPs и (b) CuNPs**

# Влияние наночастиц на животных



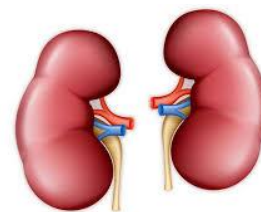
кровь



печень



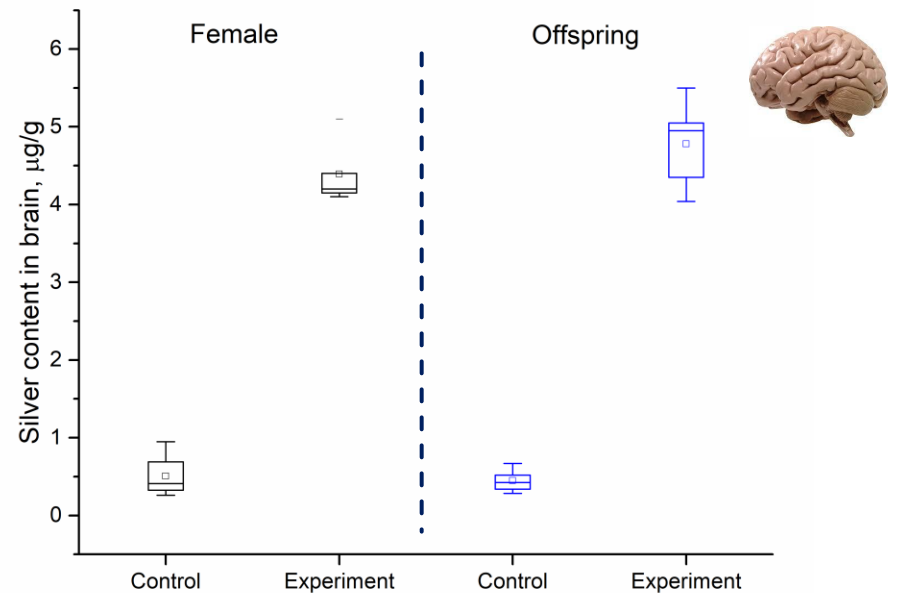
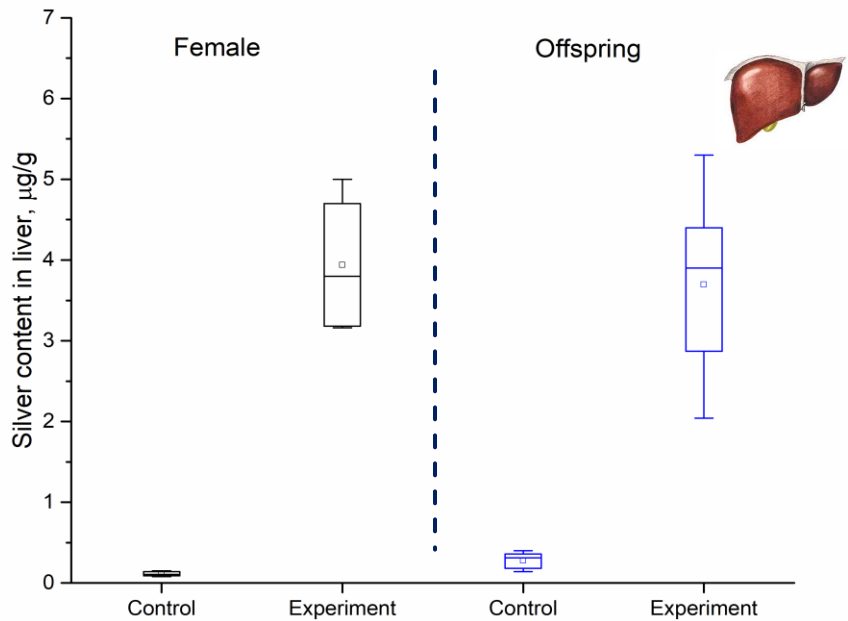
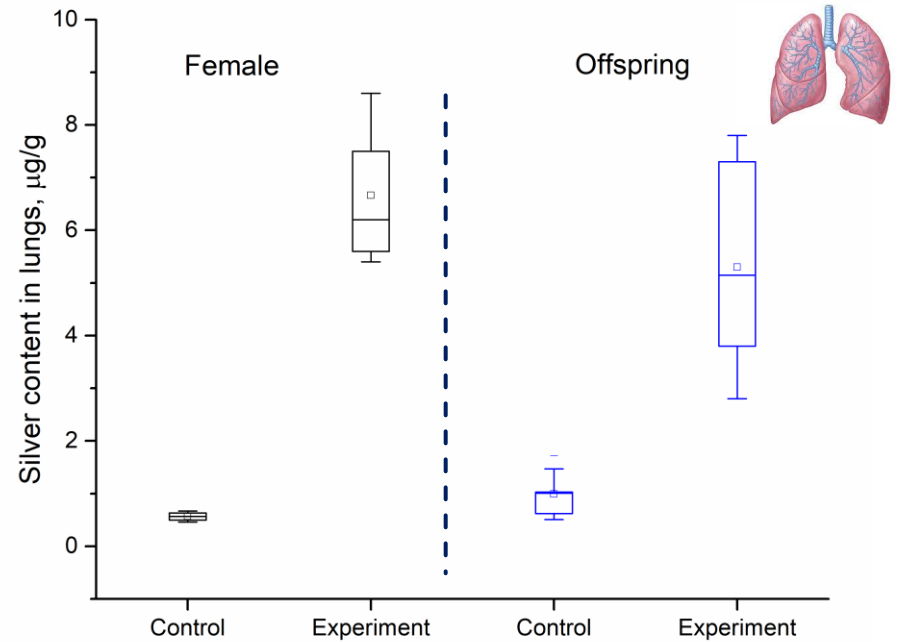
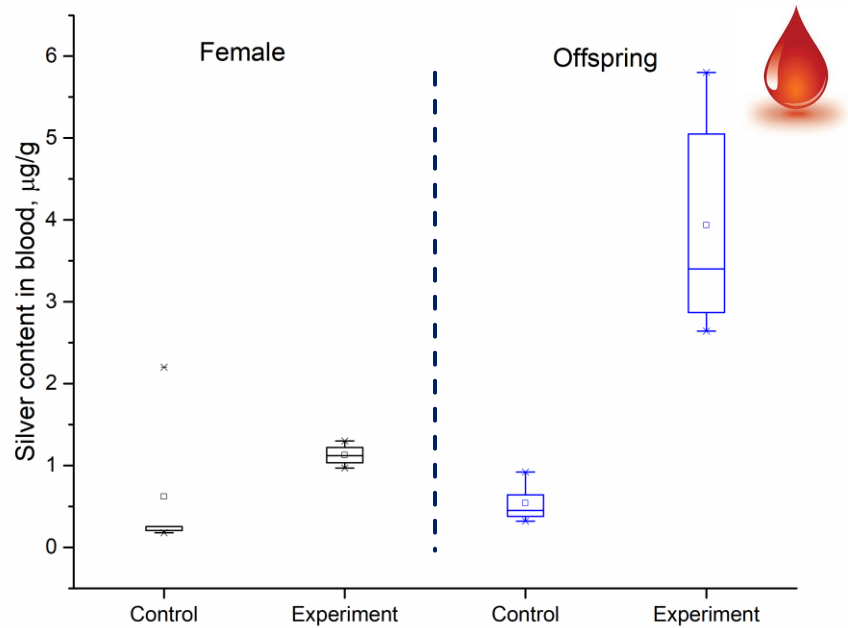
легкие



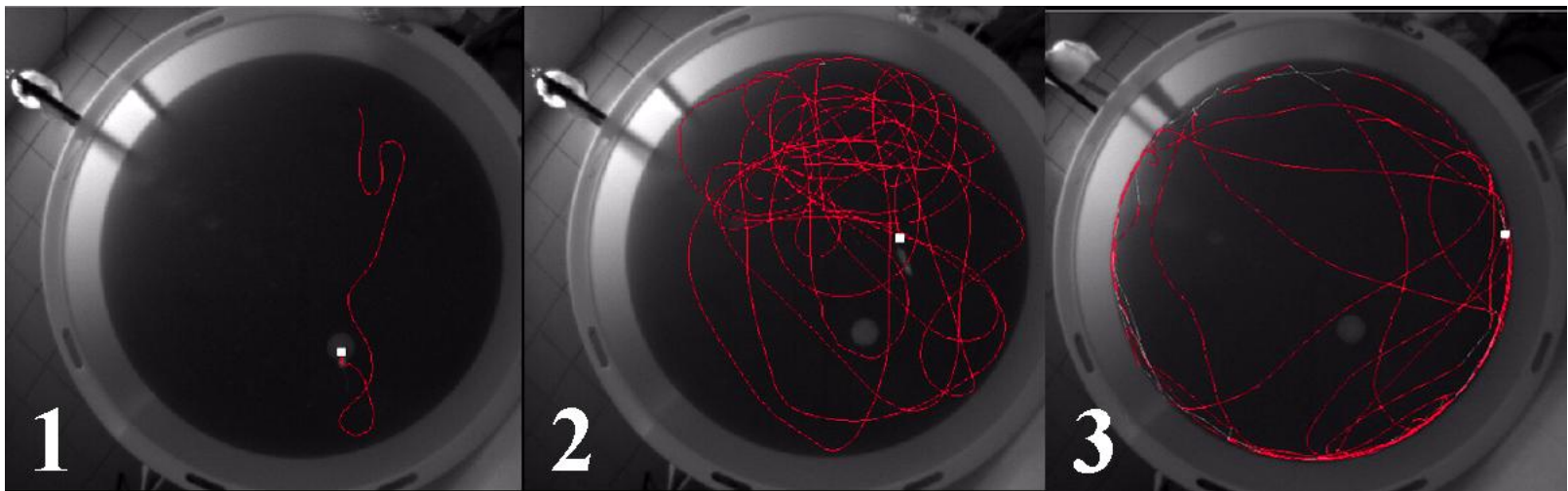
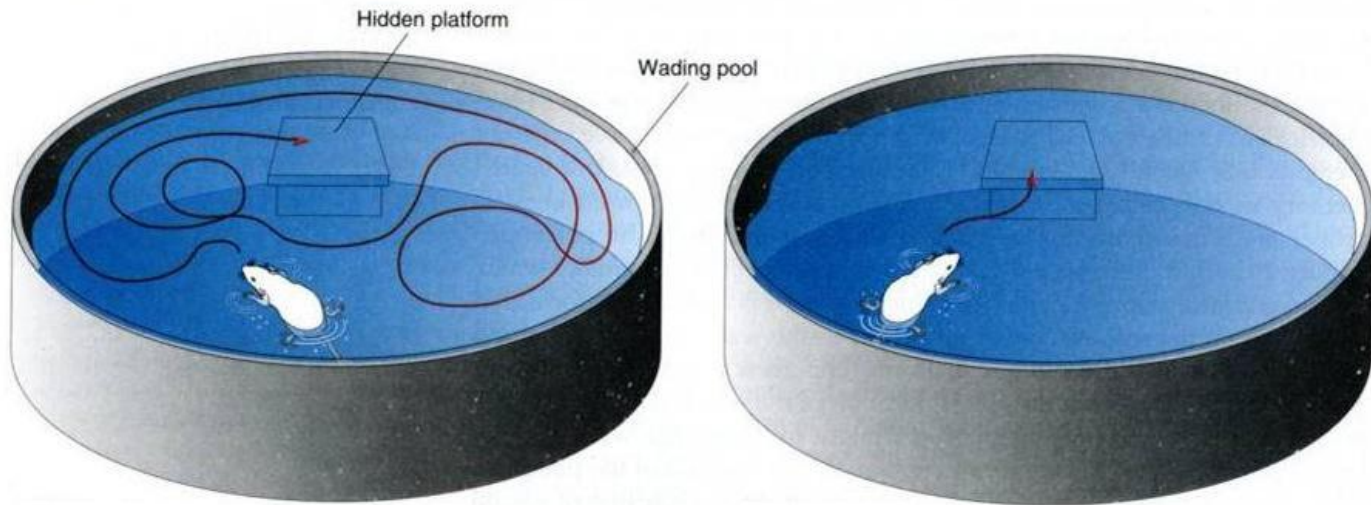
почки



мозг

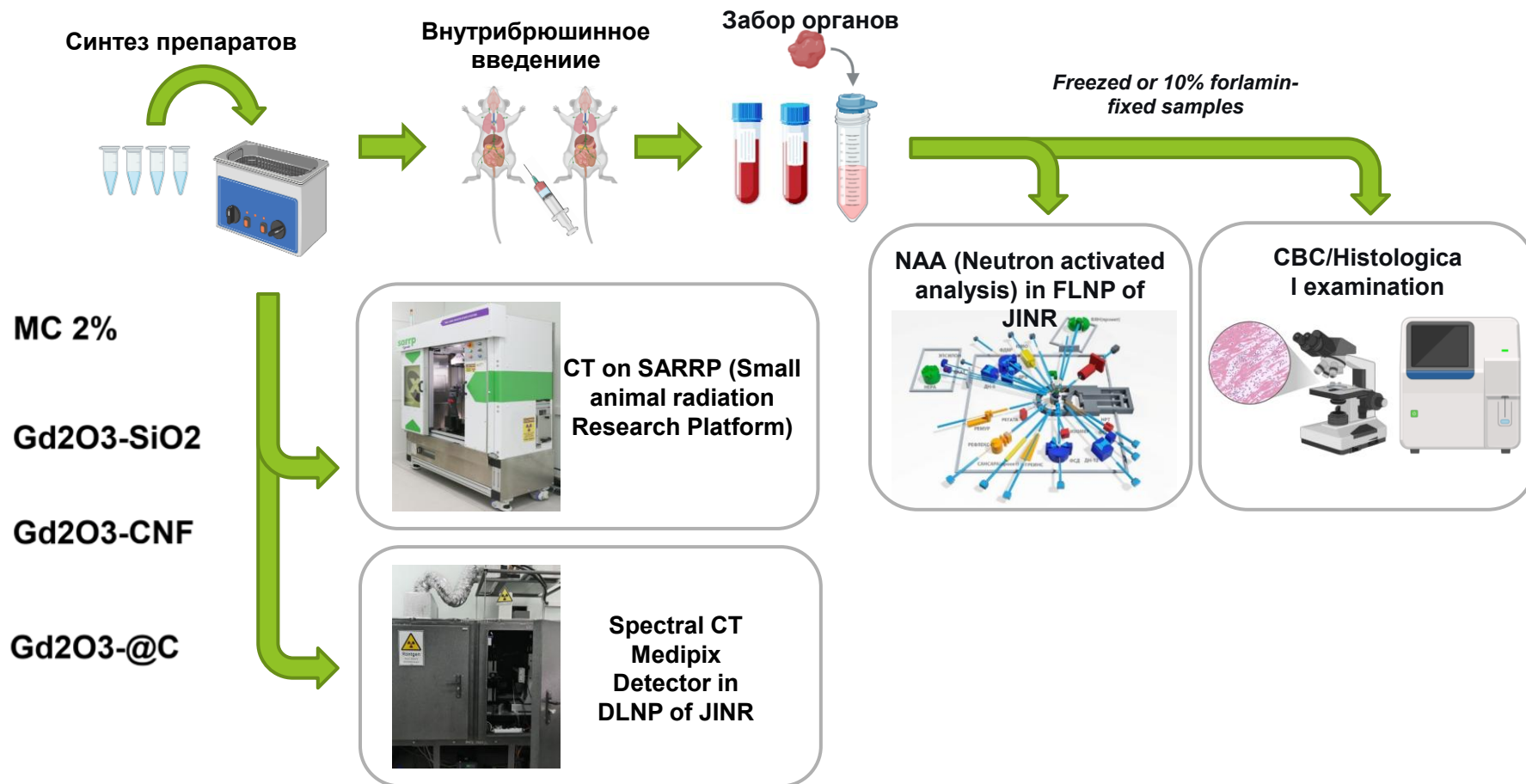


**Содержание серебра в органах самок и их потомства**



**Примеры траекторий движения животных с разными типами поведения в тесте Морриса: 1 – направленный поиск, 2 – случайный поиск, 3 – тигмотаксис (стратегия неспособных особей)**

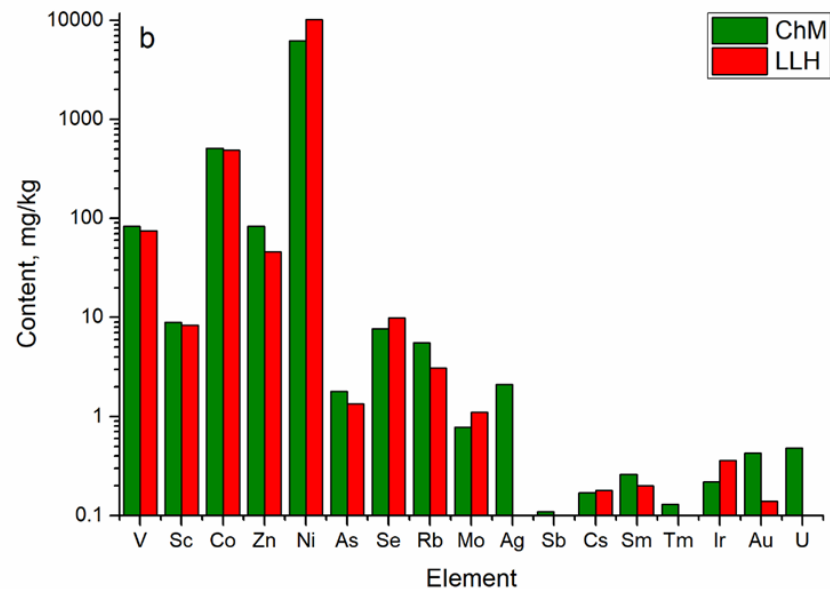
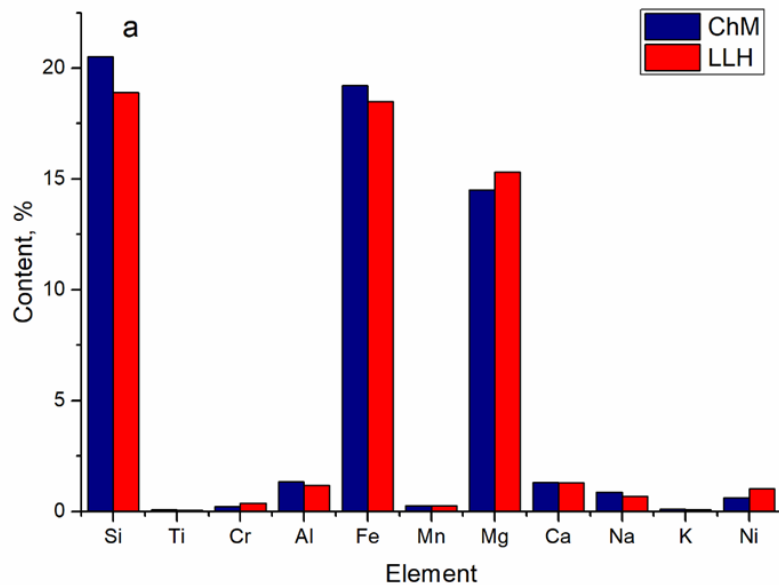
# Тестирование препаратов на основе гадолиния



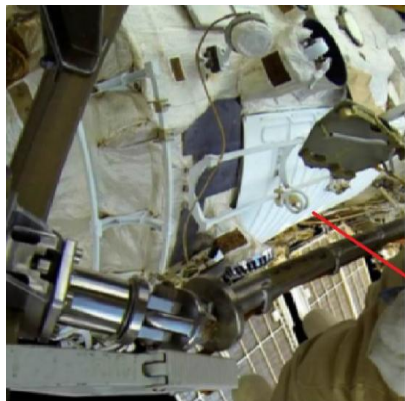
# Объекты внеземного происхождения



## Челябинский метеорит

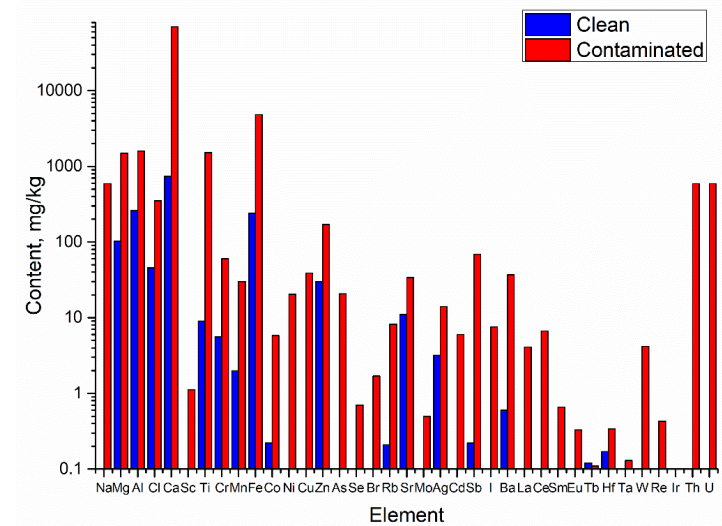
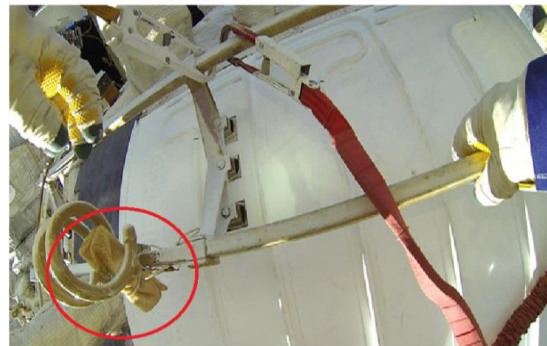


## Содержание макро (а) и микроэлементов (б) в Челябинском метеорите



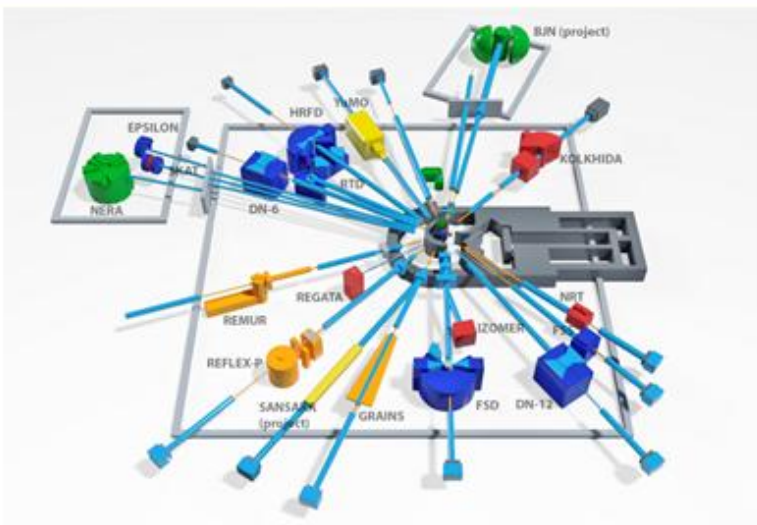
direction of movement

2312



Элементный состав ткани, мкг/г.





Work schedule of the IBR-2 reactor in 2021

**IBR-2 Status:** OFF

**Current cycle:** CANCELED

### Useful information

- [IBR-2 INSTRUMENTS](#) with the list of REFERENCES and RESPONSIBLE
- [CONFERENCE CMR@IBR-2](#)
- [FLNP USER GUIDE](#)
- [FLNP ANNUAL REPORTS](#)
- [FLNP DNICM LABORATORY EQUIPMENT](#)

Information for RNF grant applicants/Информация для грантозаявителей РФ

[ОБЪЕКТ ИНФРАСТРУКТУРЫ - ИБР-2](#)

## News of IBR-2 User Club

2024/05/07

Dear IBR-2 users,

FLNP Directorate cordially invites you to the [FLNP JINR – CSNS IHEP \(China\) Workshop on the neutron scattering technology and multi-disciplinary research](#)

## NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

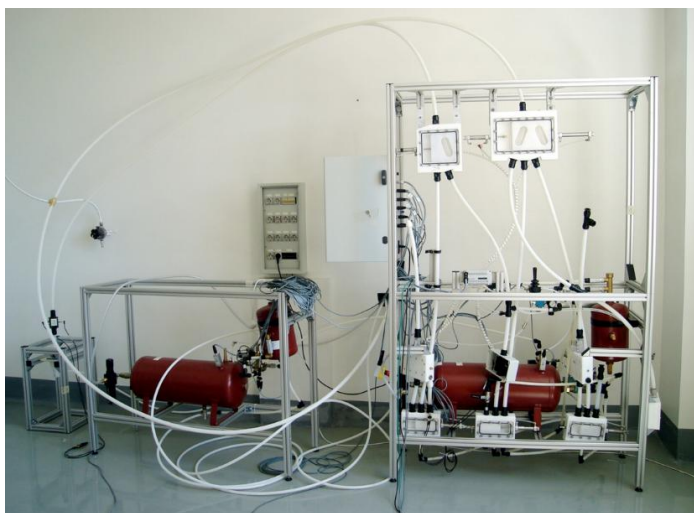
### REGATA

Determination of the elemental composition of environmental, geological, biological, and other types of samples

ФР.1.31.2021.41736 МП ОИЯИ 01-2021. Determination of the content (mass fraction) of chemical elements (Na, Al, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, As, Sr, Rb, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Tb, Hf, Ta, Th, U) in solid and technological samples by the instrumental neutron activation. No. of attestation certificate: 348/2021-01.00115-2013 (31.05.2021)

**Dr. Inga Zinicovskaia**  
[inga@jinr.ru](mailto:inga@jinr.ru)  
[zinikovskaia@mail.ru](mailto:zinikovskaia@mail.ru)

**Модернизация установки нейтронно-активационного анализа на реакторе КИР ВВР-К в Институте ядерной физики, Алматы будет выполнена при поддержке Полномочного Представителя Республики Казахстан Саябека Куанышбековича Сахиева.**



**Спасибо за внимание!**

