

# Лекция 11

## Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.

Геохимические поиски – один из наиболее эффективных и широко применяемых методов выявления и количественной оценки рудных месторождений.

Метод базируется на четырех фундаментальных положениях геохимии и теории геохимического поля и его локальных аномалий.

Разработан и впервые применен в СССР в 30-е годы прошлого столетия .

# Основные положения прогнозно-поисковой геохимии

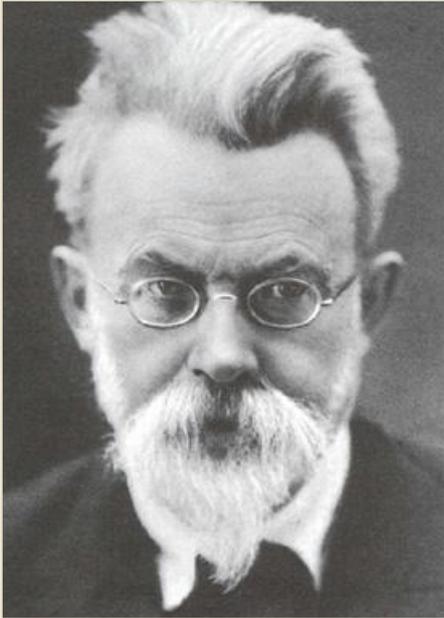
**1** Повсеместное **распространение** ХЭ во всех геосферах

**2** Непрерывная **миграция** ХЭ во времени и в пространстве

**3** **Многообразие** форм и видов существования ХЭ в геосферах

**4** Преобладание **рассеянного** состояния ХЭ над **концентрированным**

ХЭ –  
*химические*  
*элементы*



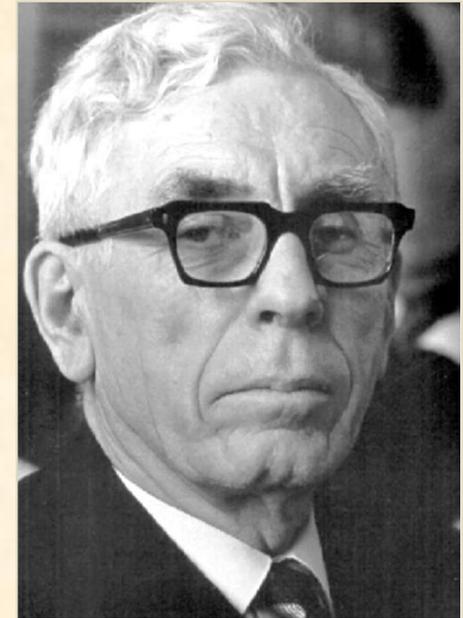
*Владимир Иванович  
Вернадский*

Минералог и кристаллограф, основоположник геохимии, биогеохимии, радиогеологии и учения о биосфере, организатор многих научных учреждений. Автор закона всемирного рассеяния («Парагенезис химических элементов в земной коре» - 1910 г.)



*Николай Ильич  
Сафронов*

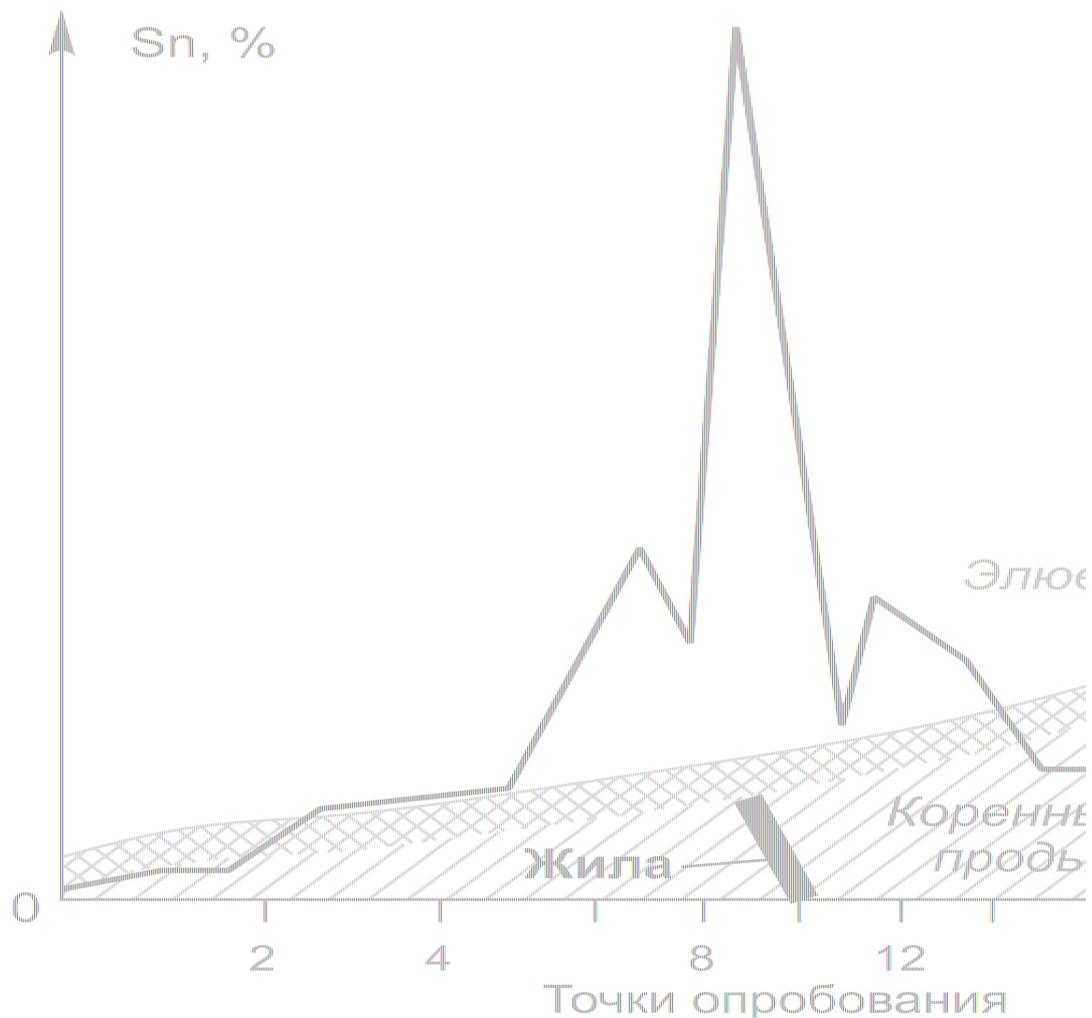
Геофизик, руководитель геологоразведочных работ. Впервые предложил в 1934 г. при поисках оловорудных месторождений в Забайкалье изучать не только геофизические поля, но и геохимические. В 1937 геохимическими методами локализованы оловянные руды месторождения Валькумей на Чукотке.



*Александр Петрович Соловов*

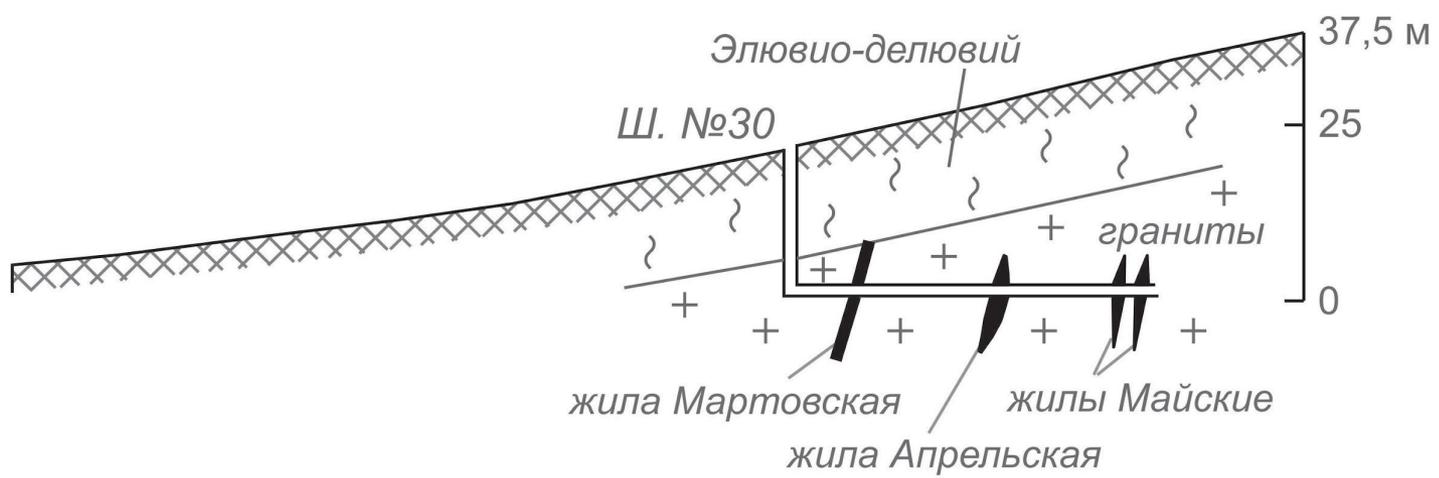
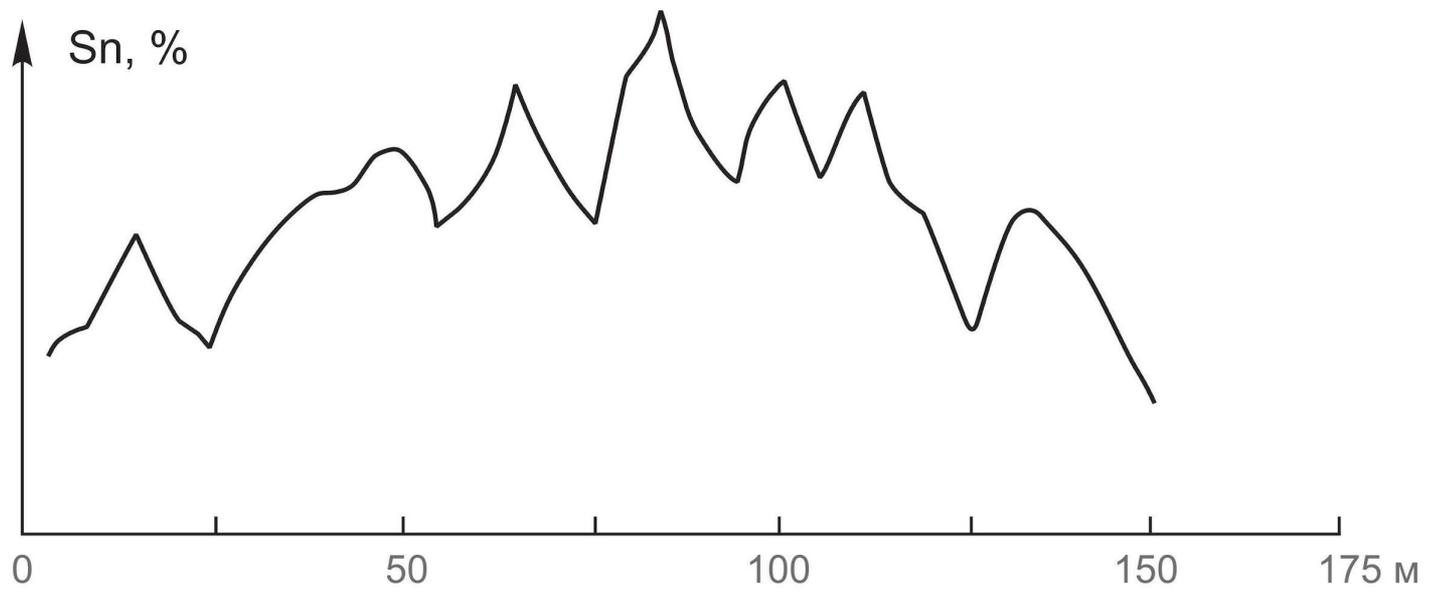
Автор теоретических основ геохимических методов поисков, разработал физико-математические модели вторичных ореолов и потоков рассеяния, предложил методы оценки выявляемых рудных объектов.

График содержаний олова в элювио-делювии в ореоле рассеяния  
вкрест  
оловорудной жилы «Восточная» Хапчерангинского месторождения,  
1934 г.

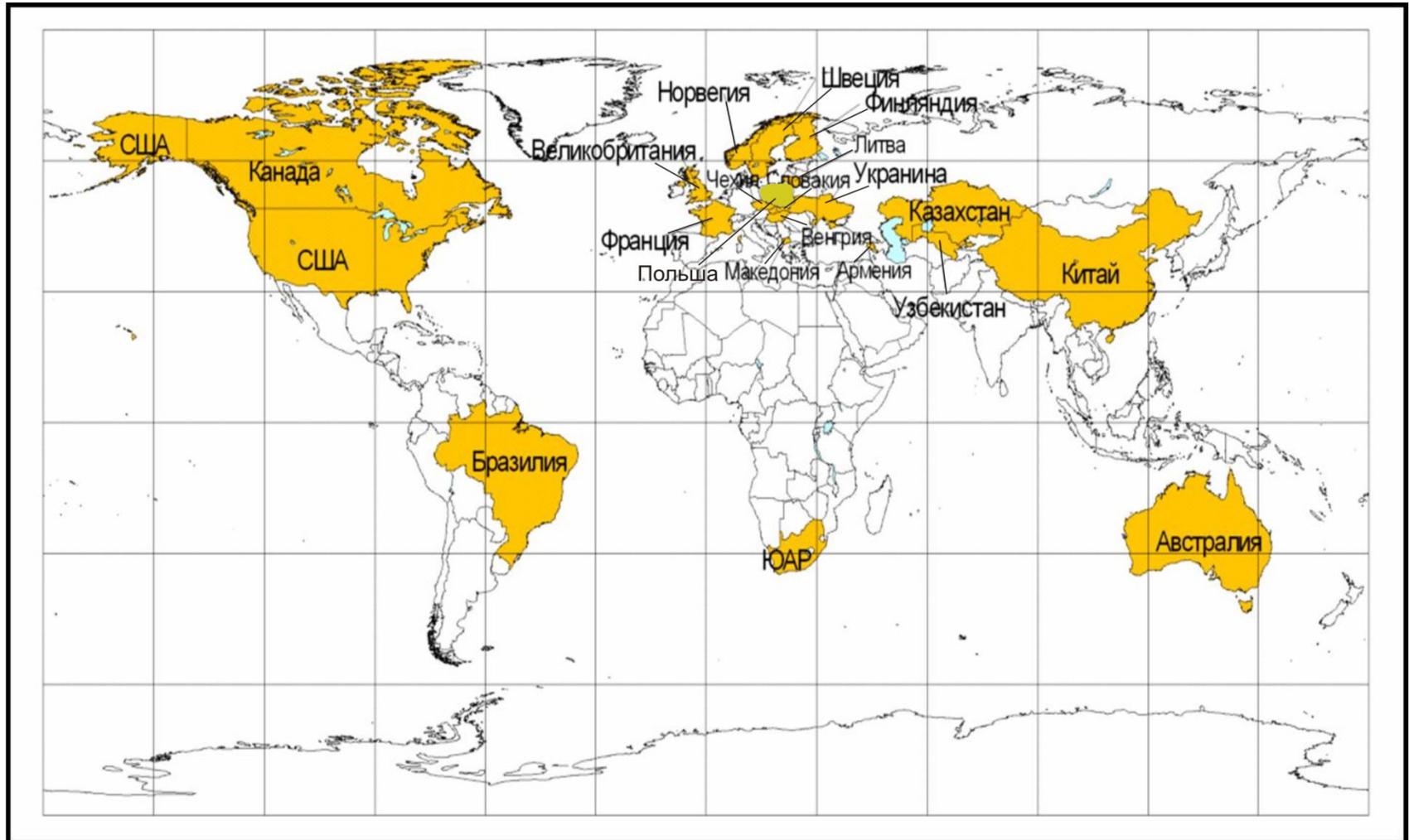


Открытие оловянного месторождения Валькумей (1937-1938 г.).

График содержания олова по профилю через Календарные жилы.



# Страны, осуществляющие государственную поддержку разномасштабных геохимических работ



## Уникальные и крупные месторождения открытые с помощью геохимических методов

Металл	Название	Местоположение	Виды геохимических работ				Год
			ЛПР-200	ВО-50	ВО-10	ПО	
Sn	Валькумей	Чукотка	+	-	+	-	1936-1938
Sn	Арсеньевское	Приморье	-	+	+	-	1957-1958
Pb+Zn	Узунжал	Ц. Казахстан	-	+	+	-	1955-1957
Pb+Zn	Атасуйская группа	Ц. Казахстан	-	+	+	-	1951-1953
Pb+Zn	Ушкатын-III	Ц. Казахстан	-	+	+	-	1959
Pb+Zn	Шалкия	Ю.Казахстан	-	+	+	-	1962
Pb+Zn	Ново-Ленинское	Рудный Алтай	-	-	-	+	1981
Pb+Zn	Леди Лоретта	Австралия	-	+	+	-	1977
Au	Мурунтау	Узбекистан	-	+	+	-	1958
Au	Майское	Чукотка		+	+		1973
Au, Ag	Купол	Чукотка	-	+	+	+	1995
Cu	Актогай, Айдарлы	В.Казахстан	-	+	+	-	1974-1976
Cu	Себу	Филиппины	+	-	+	-	1962
Cu	Салобо	Бразилия	+	+	-	-	
Cu	Эскондида	Чили	+	-	+	-	1979-1981
Mo, W	Южный Коктенколь	Ц.Казахстан	-	+	+	-	1957
Ta	Кентича	Эфиопия	+	-	+	-	1980
Ag	Канимансур	Таджикистан	-	-	-	+	1973-1977

Виды геохимических работ:

**ЛПР-200** - региональные литохимические съемки по потокам рассеяния масштаба 1:200000

**ВО-50** - поисковые литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50000

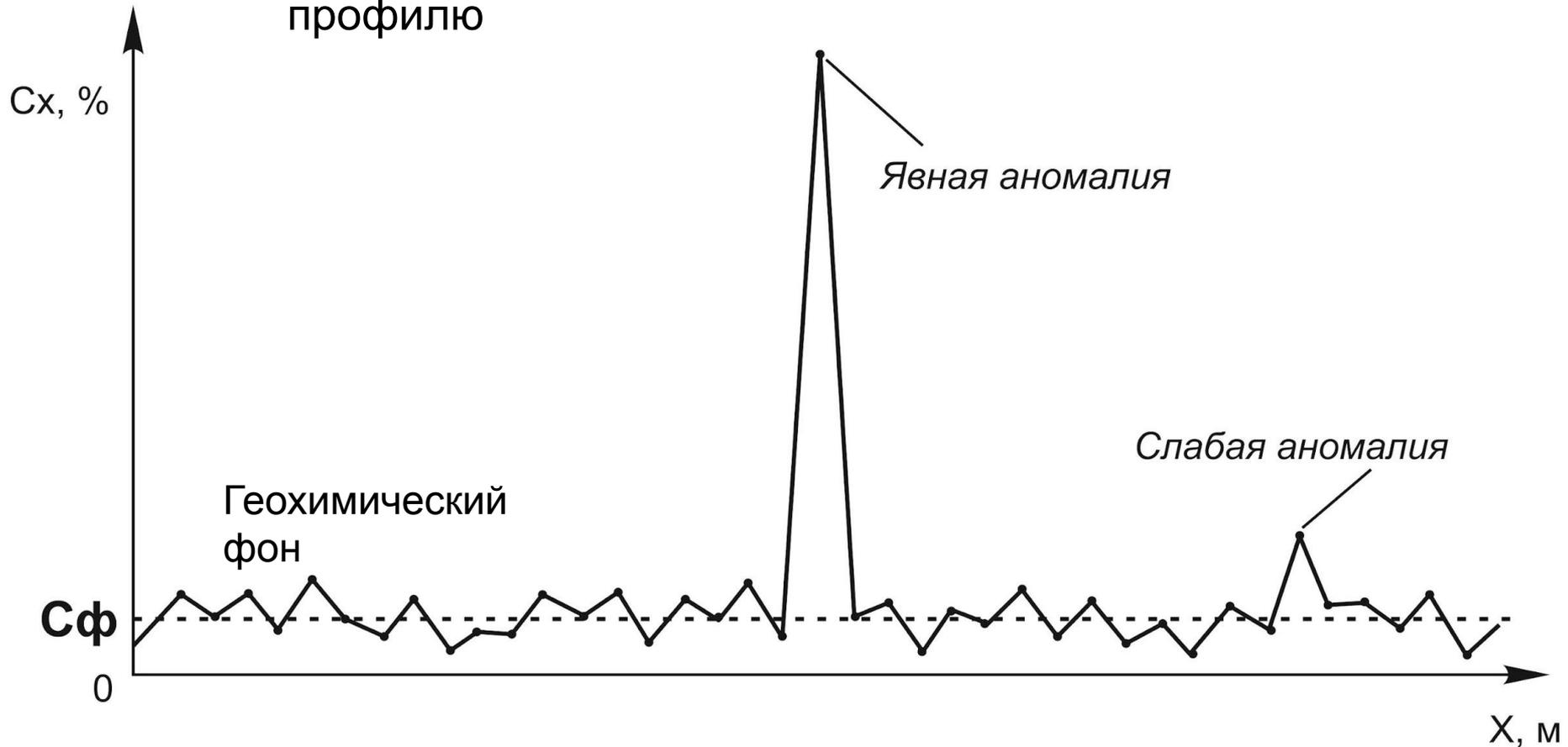
**ВО-10** - детальные литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния масштаба

# Уравнение геохимического поля и его основные составляющие

$$C_i = f(x, y, z, T) > 0$$

$$C_x = f(x)$$

График геохимического опробования по  
профилю



# Статистические параметры геохимического поля

$$n_i = f(C_i)$$

Фоновые участки геохимического поля удобно характеризовать статистической частотой  $n_i$  появления тех или иных содержаний химических элементов

Распределение содержаний ХЭ

в пределах однородного участка в удалении от явных аномалий аппроксимируется

нормальным законом:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$y = f(n_i) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}}$$

среднее арифметическое значение  $\bar{x}$ , которое в пределе при числе данных  $N \rightarrow \infty$  стремится к своему математическому ожиданию  $\mu$

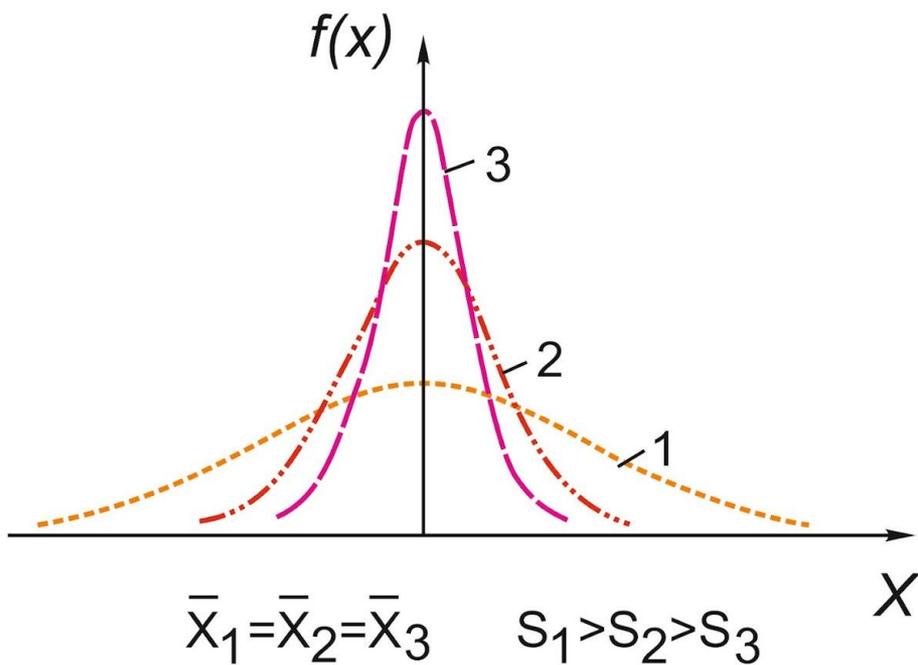
среднее квадратическое или стандартное отклонение случайных значений  $x$  от  $\bar{x}$ ;

$s^2$  – дисперсия  $x$ ;

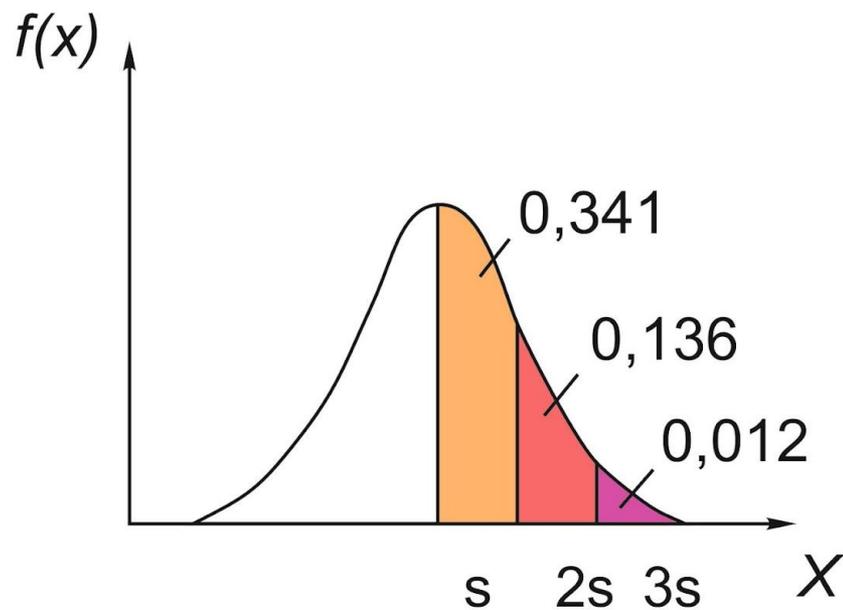
$y = n_i$  – частота в долях от единицы.

# Кривые нормального распределения

с различными значениями  $s$



с вероятностями попадания в интервалы  $X + s, + 2s, + 3s$



Согласно теореме о сложении дисперсий

$$S = \sqrt{S_{\text{прир}}^2 + S_{\text{техн}}^2}$$

Поскольку  $S_{\text{техн}}$  имеет смысл логарифмической величины, статистические распределения содержаний микроэлементов должны аппроксимироваться логнормальным законом

$$x_a = \lg C_A = \overline{\lg C_i} + tS_{\lg}$$

$$x_a = \lg C_A = \overline{\lg C_i} + ts \lg$$

Освобождаясь от логарифмов,  
имеем:

$$C_A = \tilde{C}_x \cdot \varepsilon^t$$

$$\tilde{C}_x = C_\phi \quad \text{– среднее геометрическое содержание элемента в пределах фонового участка}$$

$$\tilde{C}_x = \text{antlg} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lg C_i \right).$$

Величину  $\varepsilon = \text{antlg}_{\lg}$  принято именовать «стандартным множителем»

$$C_{AI} = \tilde{C}_x \cdot \varepsilon^3$$

Критерию «трех стандартных отклонений» ( $+3s_{\lg}$ )

Зависимость нижеаномального от характера распределения повышенных содержаний

$$C_{A,m} = \tilde{C}_x \cdot \varepsilon^{3/\sqrt{m}}$$

где  $m = 2, 3, \dots, 9$  – число смежных точек с содержаниями  $C_x \geq C_{A,m}$ , объединяемых общим контуром.

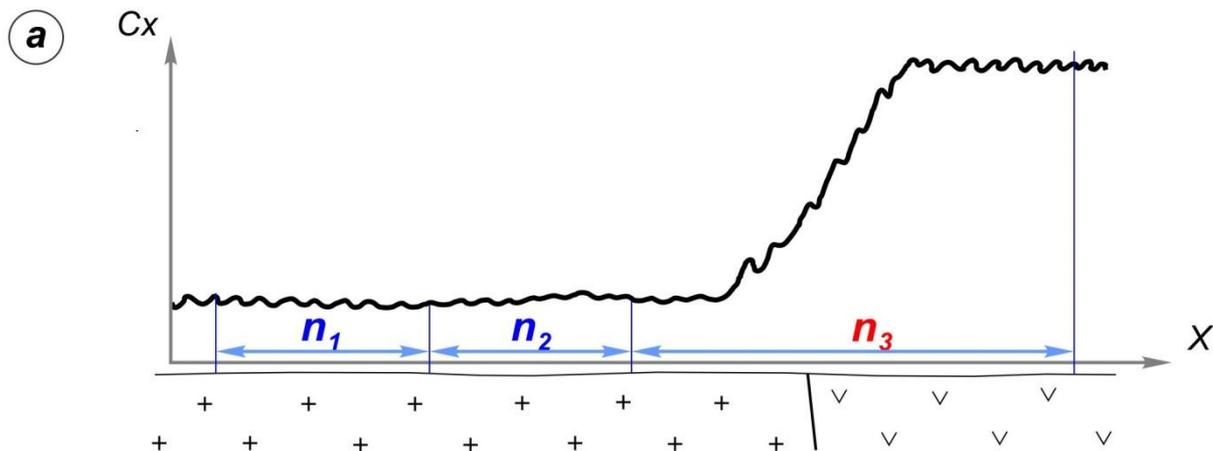
**Контрастность геохимической  
аномалии  
«Уровень полезного сигнала к уровню  
шума»**

$$\gamma = \frac{C_{\max} - C_{\phi}}{s}$$

Для микрокомпонентов, распределенных логнормально:

$$\gamma = \frac{\lg C_{\max} - \lg C_{\min}}{s_{\lg}} = \frac{1}{\lg \varepsilon} \lg \left( \frac{C_{\max}}{C_{\phi}} \right)$$

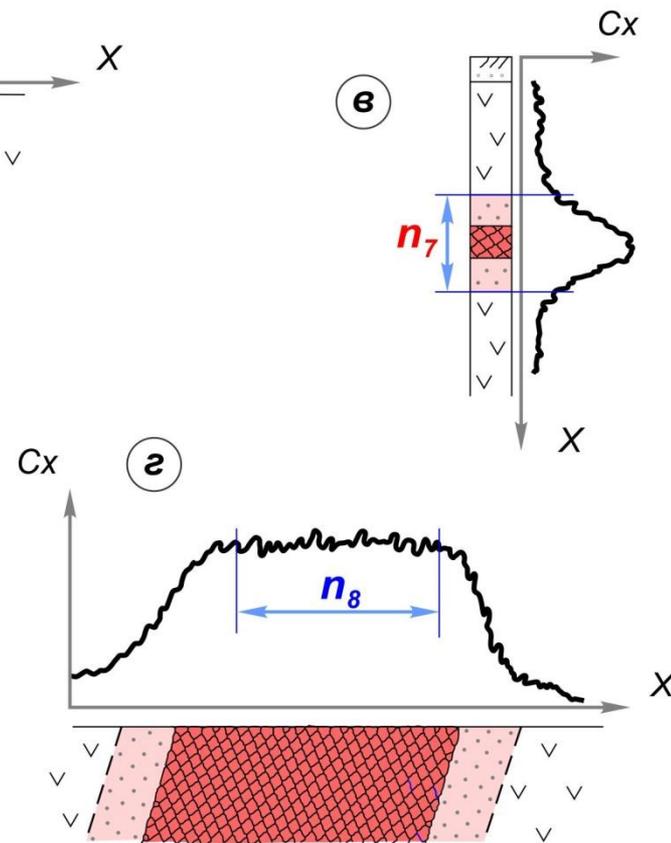
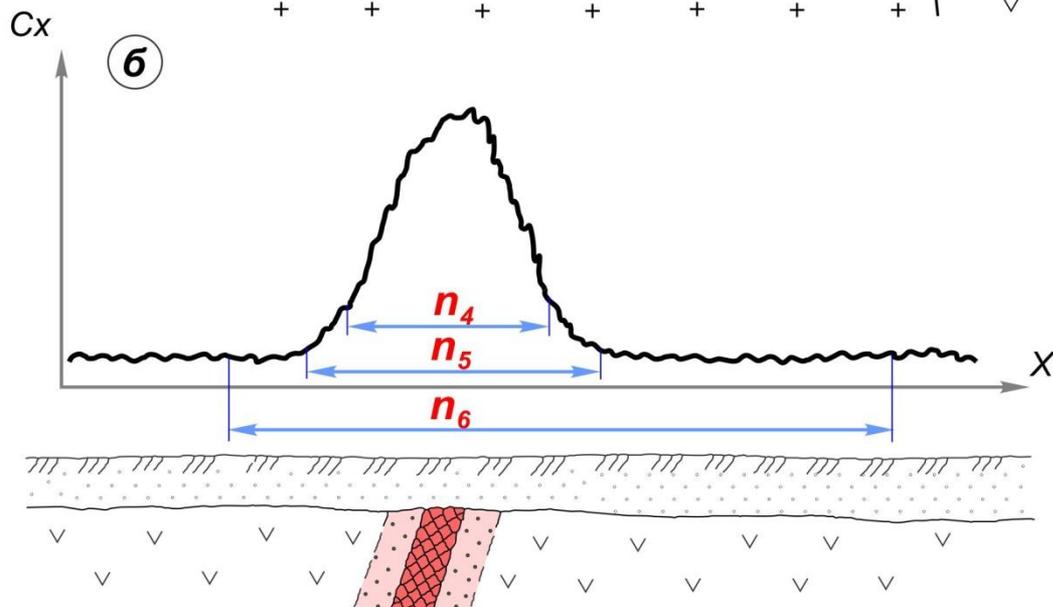
# Однородные «случайные» и неоднородные пространственно-упорядоченные содержания рудного элемента



Выборки:

$n$  - однородные

$n$  - неоднородные



# Непараметрические и параметрические

геохимические показатели

## Непараметрические показатели

не поддаются строгому определению, величины их произвольно изменяются с увеличением точности исследований или заранее известны

1. Средние содержания ХЭ в геохимических аномалиях:

$C_a$

2. Максимальное содержание в аномалии:

$C_{max}, \%$

3. Размер геохимической аномалии:

«2а», м

4. Площадь аномалии:

S, м<sup>2</sup>

5. Объём аномалии:

V, м<sup>3</sup>

**Геохимические параметры** – объективные показатели, численные значения которых уточняются с увеличением точности исследований

1. Коэффициент концентрации

$$K_k = C_{max}/C_{\phi} * C_a/C_{\phi}$$

1. Контрастность аномалии

$$\gamma = C_{max} - C_{\phi}/s$$

$$\gamma = 1/\lg \varepsilon * \lg(C_{max}/C_{\phi})$$

3. Линейная продуктивность

(Количество металла (м%) в данном сечении аномалии):

$$M = 2a( C_A - C_{\phi} )$$

4. Площадная продуктивность

(Количество металла (м<sup>2</sup>%) в данном контуре):

$$P = S( C_A - C_{\phi} )$$

5. Продуктивность (прогнозные ресурсы)

(Количество металла (т) в объеме конкретной аномалии):

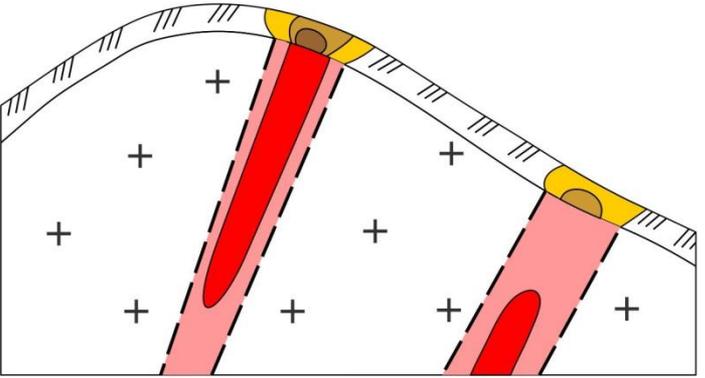
$$Q = V( C_A - C_{\phi} )$$

# Объекты поисков – месторождения полезных ископаемых

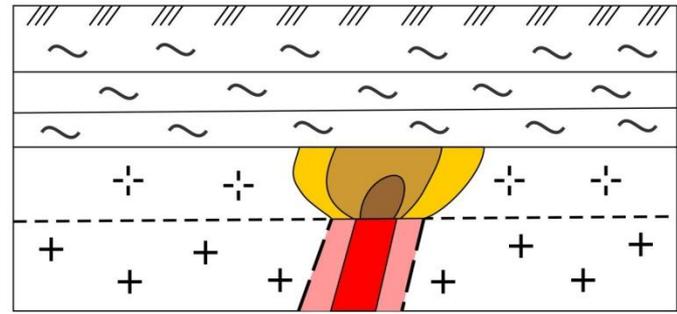
Главный принцип – последовательное приближение к объекту поисков за счет увеличения детальности наблюдений и выбора среды опробования

# Рудные месторождения в различных условиях залегания

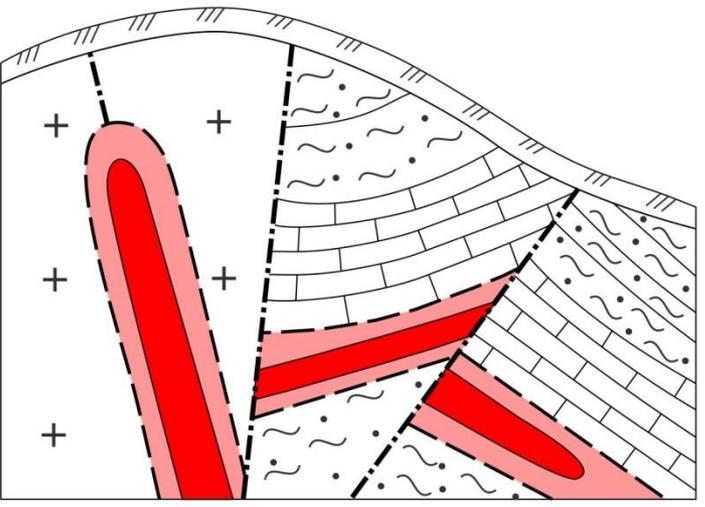
Выходящие на поверхность



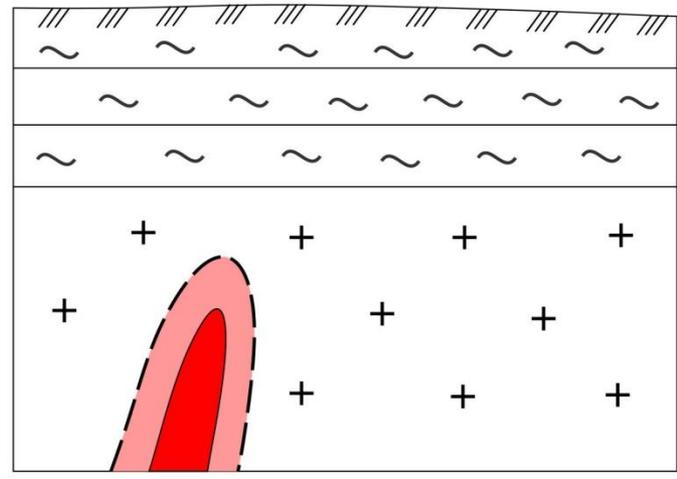
Погребенные

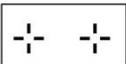
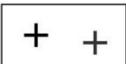
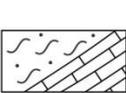


Слепые

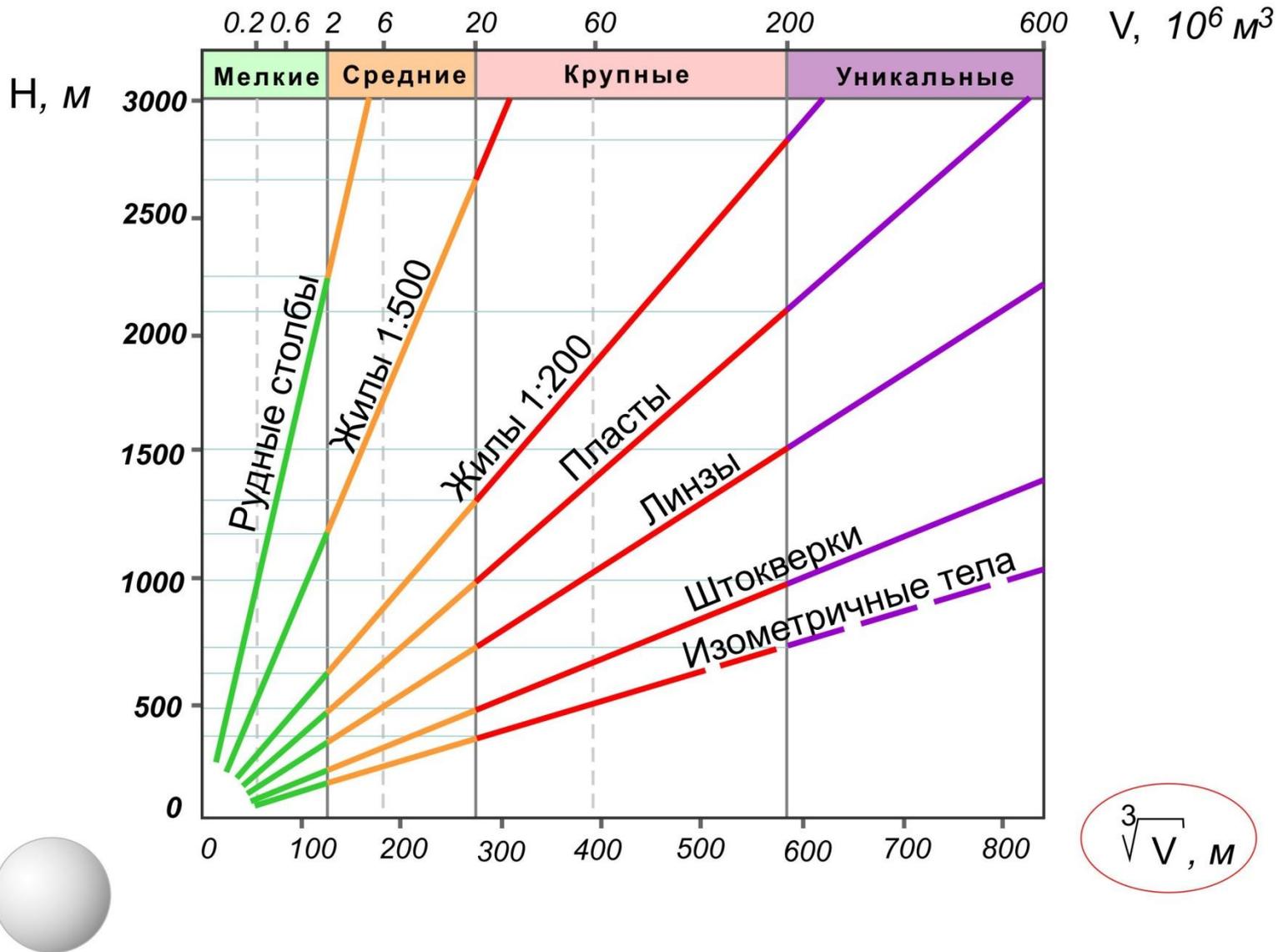


Слепые погребенные



-  современный элювио-делювий
-  дальнеприносные отложения
-  древний элювио-делювий
-  вторичные остаточные ореолы рассеяния
-  рудные тела и их первичные ореолы
-  } рудовмещающие породы
-  }

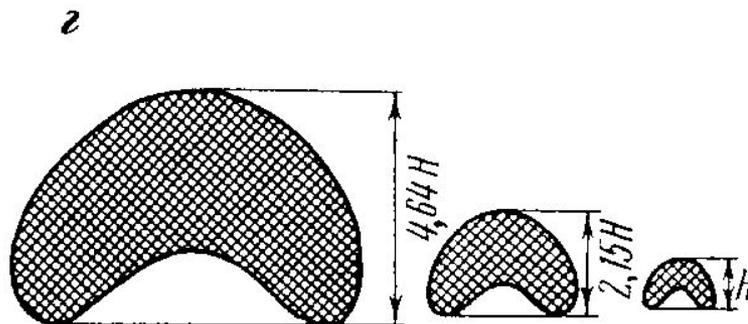
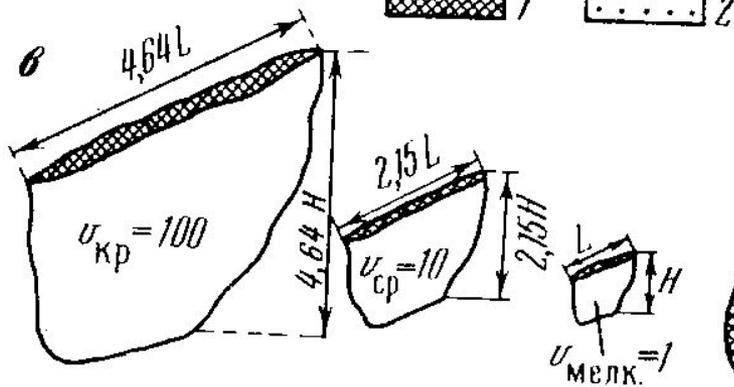
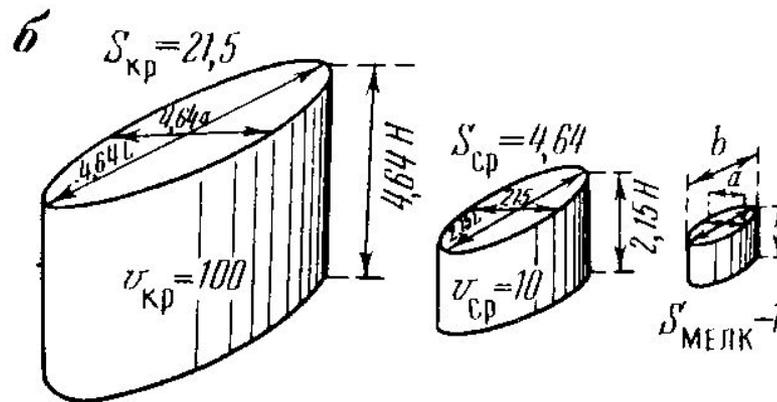
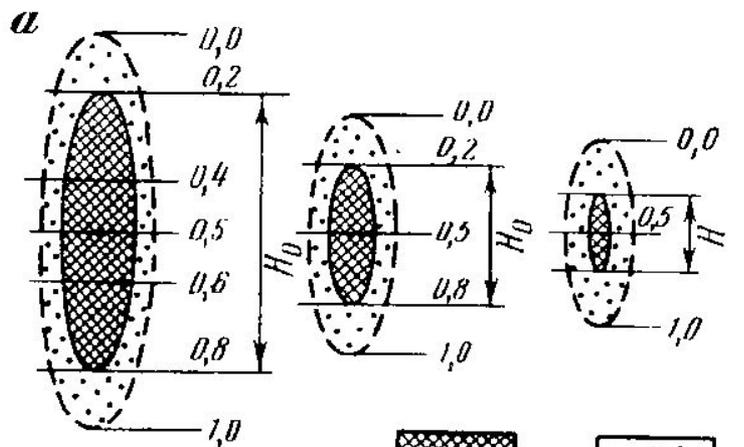
# Геометризация рудных тел различной морфологии



**Десятичная классификация рудных  
месторождений  
по масштабу запасов  
(по В.И. Красникову с дополнениями)**

Полезное ископаемое	Запасы, тонны			N
	Мелкие	Средние	Крупные	
Железные руды	$n.10^7$	$n.10^8$	$n.10^9$	2-5
Бокситы, фосфориты	$n.10^6$	$n.10^7$	$n.10^8$	2-5
Марганцевые и хромитовые руды, плавиковый шпат	$n.10^5$	$n.10^6$	$n.10^7$	1-3
Медь, свинец+цинк, никель (сульф.), ниобий ( $Nb_2O_5$ )	$n.10^4$	$n.10^5$	$n.10^6$	1-5
Молибден, вольфрам ( $WO_3$ ), олово, никель (силик.), сурьма	$n.10^3$	$n.10^4$	$n.10^5$	1-3
Ртуть, бериллий ( $BeO$ ), кобальт, серебро, уран, висмут	$n.10^2$	$n.10^3$	$n.10^4$	1-3
Редкие и рассеянные элементы	$n.10^1$	$n.10^2$	$n.10^3$	1-9
Золото, платина	$n.10^0$	$n.10^1$	$n.10^2$	1-5

# Фигуры подобия: рудные жилы, линзы, пласты, штокверки



# **Этапы и стадии геологоразведочного процесса**

**Этап I. Работы общегеологического и  
минерагенического назначения.**

**Стадия 1. Региональное геологическое  
изучение недр и прогнозирование  
полезных ископаемых.**

**Этап II. Поиски и оценка месторождений.**

**Стадия 2. Поисковые работы.**

**Стадия 3. Оценочные работы.**

**Этап III. Разведка и освоение  
месторождений.**

**Стадия 4. Разведка месторождения.**

**Стадия 5. Эксплуатационная разведка.**

# Виды геохимических съемок, среда и условия

Виды съемок	Среда опробования	Условия отбора	Фации
Лито-химические	Донные осадки конечных водоемов стока	На поверхности	озерные отложения
			прибрежно-морские отложения
	Аллювий рек	На поверхности	русловой современный
			пойменный и старичный
	Продукты выветривания коренных пород	На поверхности	элювий, делювий, почвы)
		На некоторой глубине от поверхности-	представительный горизонт в современном чехле
			погребенная кора выветривания
	Коренные породы	На поверхности	придонные образования ледников (тиллевые съемки)
			в коренных обнажениях
		На глубине	в полотне канав и траншей
Гидро-химические	Поверхностные воды	Приповерхностный слой	речные
			озерные
			морские
	Подземные воды	Придонный слой	выходы родников и источников
На поверхности		водоносные горизонты, не имеющие водообмена с поверхностью	
Атмо-химические	Приземная атмосфера	На глубине	на высоте 0-1000 м
			почвенный воздух
	Подземная атмосфера	глубинные газы разломов	
Биогео-химические	Растительность	Лесная	листья, корни, плоды
		Луговая	стебли
		Тундровая	мхи, лишайники
		Водная	водоросли, водные мхи
		Антропогенная	Рудеральная
	Живые организмы		печень рыб, лягушек и др.

## Последовательность и методика литохимических ПОИСКОВ

Вид работ	Масштаб съемки	Площадь съемок, км <sup>2</sup>	Среда пробоотбора	Плотность поисковой сети	Категории прогнозных ресурсов
Рекогносцировочные съемки	1:1 000 000 и мельче	Миллионы – многие сотни тысяч	Отложения конечных водоемов стока. Аллювий крупных рек	1 проба на 100-250 км <sup>2</sup>	P <sub>3</sub> (?)
Региональные съемки - поиски по потокам и вторичным ореолам рассеяния	1:200 000	Сотни тысяч – десятки тысяч	Аллювий горных рек и ручьев. Элювио-делювий рудовмещающих пород	1 проба/км <sup>2</sup>	P <sub>3</sub>
Поисковые съемки по вторичным остаточным и наложенным ореолам рассеяния	1:50 000	Тысячи – десятки тысяч	Элювио-делювий рудовмещающих пород. В закрытых районах – перекрывающие отложения	40 проб/км <sup>2</sup>	P <sub>2</sub>
Детальные поисково-оценочные съемки по вторичным остаточным ореолам рассеяния (в том числе погребенным)	1:10 000 и крупнее	Десятки - сотни	Элювио-делювий вмещающих пород. В закрытых районах – древняя кора выветривания (глубинные съемки масштаба 1:25000)	500 проб/км <sup>2</sup> – 4000 проб/км <sup>2</sup> . 80 скв./км <sup>2</sup> . По 10-20 проб из скважины	P <sub>1</sub>
Детальные поиски по первичным ореолам (в пределах рудных полей известных месторождений)	1:1 000 – 1:2 000	Единицы – первые десятки	Коренные рудовмещающие породы по горным выработкам и керну скважин	Сплошное опробование секциями 2-5 м	P <sub>1</sub> -C <sub>2</sub>

# Расчеты поисковых сетей (формулы А.М. Шурыгина)

Число точек	Вид уравнения	Вероятность выявления
1	$\Pi^1 = 1 - e^{-S/\Delta s}$	$\Pi^1_{кр} = 0,99$
2	$\Pi^2 = 1 - e^{-S/\Delta s} (1 + S/\Delta s)$	$Scp/\Delta s = 4,61$
.....		$\Pi^1_{ср} = 0,715$
i	$\Pi^i = 1 - e^{-S/\Delta s} [1 + (S/\Delta s) + 1/2(S/\Delta s)^2 + \dots + 1/(i-1)!(S/\Delta s)^{i-1}]$	$\Pi^1_{млк} = 0,291$
	$Scp: Scp: Смелк = 21,5:4,64:1$	