



**МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА  
МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
ОСВОЕНИЕ, ВОСПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

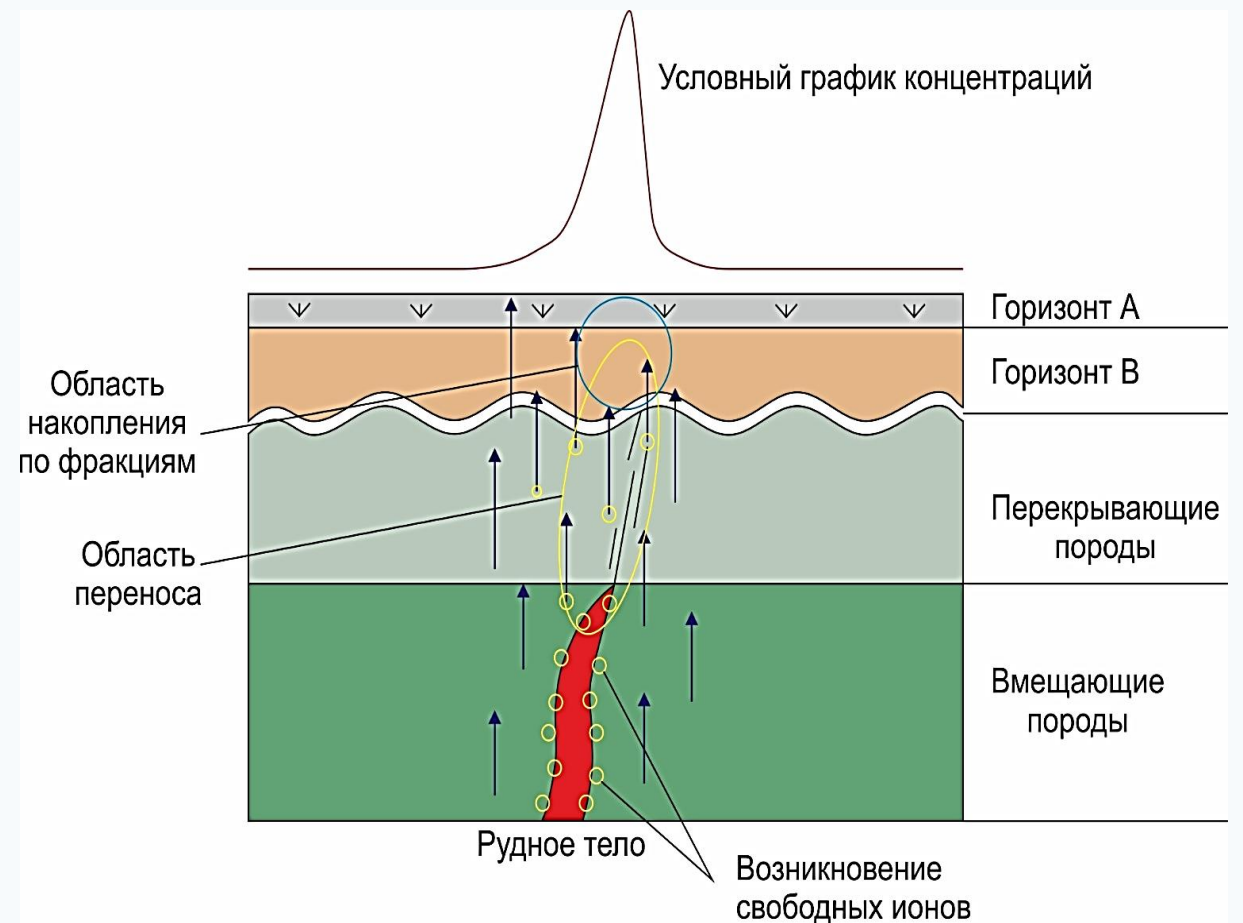
Москва, ФГБУ «ВИМС», 21–22 ноября 2023

# **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ КАРТИРОВАНИЯ СОРБЦИОННО-СОЛЕВЫХ ОРЕОЛОВ (КСО) И ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОЛУЧАЕМЫХ ДАННЫХ**

# ФОРМИРОВАНИЕ СОРБЦИОННО-СОЛЕВЫХ ОРЕОЛОВ

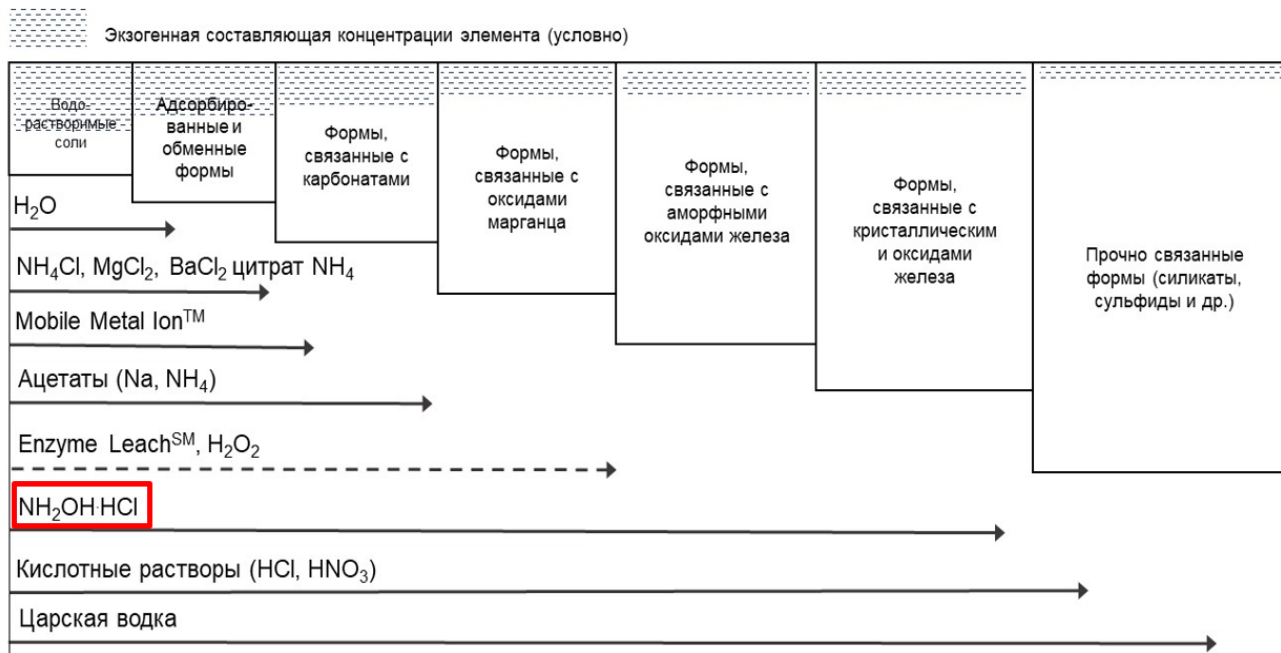
- Вторичные ореолы рассеяния образуются в результате гипергенного разрушения месторождения и его первичного ореола с последующей миграцией образовавшихся продуктов разрушения. В зависимости от формы миграции химических элементов выделяются механические, солевые и комплексные ореолы рассеяния.
- Образование сорбционно-солевых форм химических элементов обусловлено преимущественно химическим выветриванием
- Эволюция сорбционно-солевых форм элементов проявляется в их перемещении к поверхностным горизонтам рыхлых отложений и далее в приземную атмосферу. Точный механизм подобного массопереноса до сих пор остается дискуссионным:
  - газово-конвективная пузырьковая миграция (фильтрация газов в сухих средах и квазифильтрация в обводненных средах);
  - диффузия, фильтрация подземных вод, капиллярный подъем;
  - электромиграция, т.е. ионная миграция под действием естественных электрических полей, связанных с залежами полезных ископаемых и их окислением;
  - физико-химическая миграция элементов под действием изменения физико-химических параметров среды ( $P_h$  и  $E_h$ ) и биогенных процессов над рудными, а также нефтегазовыми объектами.

**Считается, что ведущую роль в формировании надрудных наложенных сорбционно-солевых ореолов локальных рудных объектов, погребенных под рыхлыми отложениями, играет восходящий конвективный или квазиконвективный массоперенос\***

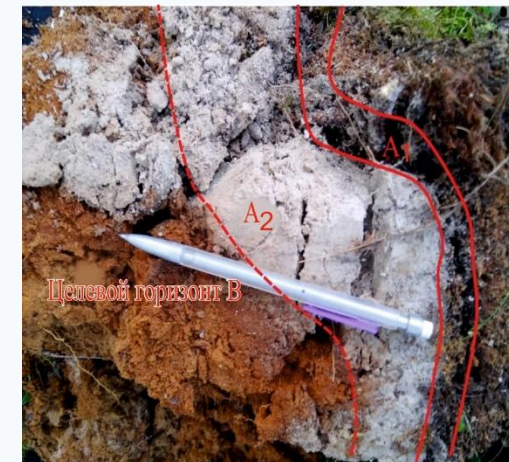
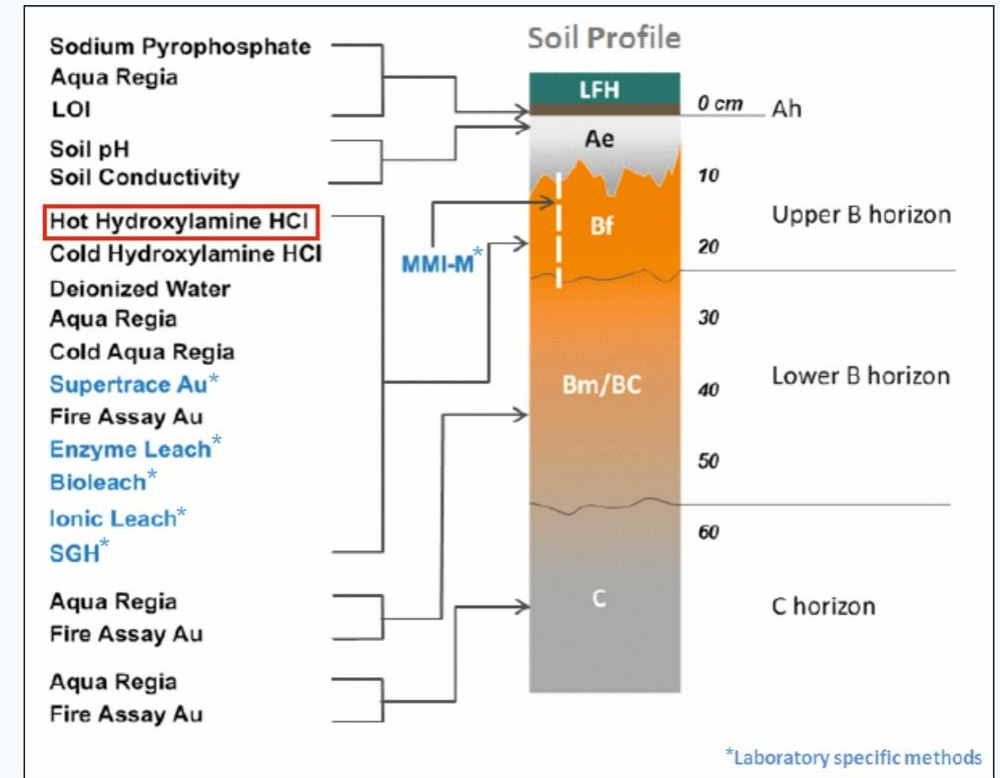


\*С.В. Соколов (ВСЕГЕИ) и др. Концептуальная модель образования наложенных сорбционно-солевых и нанохимических ореолов // Региональная геология и металлогения, № 61, 2015

- Обнаружение наложенных ореолов на дневной поверхности определяется выбором такой методики анализа литохимических проб, которая позволяла бы усиливать контрастность аномалий
- Выявление геохимических аномалий возможно путём избирательного частично-фазового извлечения в раствор легкоподвижных форм нахождения рудных элементов
- Для такого вида анализа в ФГБУ «ВИМС» разработан метод КСО, где в качестве экстрагирующего реагента использован солянокислый раствор гидроксиламина, позволяющий переводить в раствор все подвижные формы элементов и не затрагивать при этом минеральную матрицу материала проб



Метод КСО апробирован для районов Центрального Верхоянья, Западной Чукотки, Забайкалья и Зимнебережного района с различными ландшафтно-геохимическими обстановками



Отбор проб на КСО осуществляется из горизонта В – окрашенного иллювиального горизонта, формирующегося в нижней и средней частях почвенного профиля за счет вмывания в него относительно подвижных минеральных, органо-минеральных и органических веществ. Обогащен оксидами и гидроксидами Fe и Mn



# МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ КСО

## Общая последовательность проведения работ

- Для анализа отбираются пробы из нижнего почвенного горизонта В
- Пробы высушиваются до воздушно-сухого состояния и просеиваются через сито 1,0 мм
- Из фракции < 1,0 мм (навеска 3 г) готовится вытяжка путём смачивания пробы 0,25М раствором  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ .
- Вытяжка помещается на 2 часа в шейкер-инкубатор при  $t=60^\circ\text{C}$
- После центрифугирования раствор направляется на количественный ICP-MS анализ
- Через каждые 30 анализов для выявления и исключения погрешностей проводится калибровка прибора
- Лабораторно-аналитические работы выполняются как по общей технологии, так и по технологии, специально разработанной для поисков золоторудных месторождений
- Чувствительность метода КСО на золото составляет Аи до 0,000025 г/т (0,025 ppb)



## Протокол испытания химического состава проб, выполненного в АСИЦ ВИМС

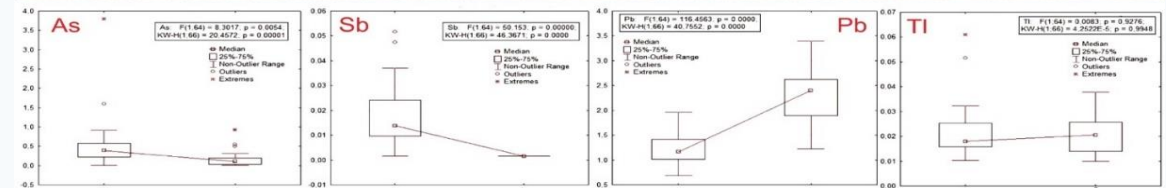
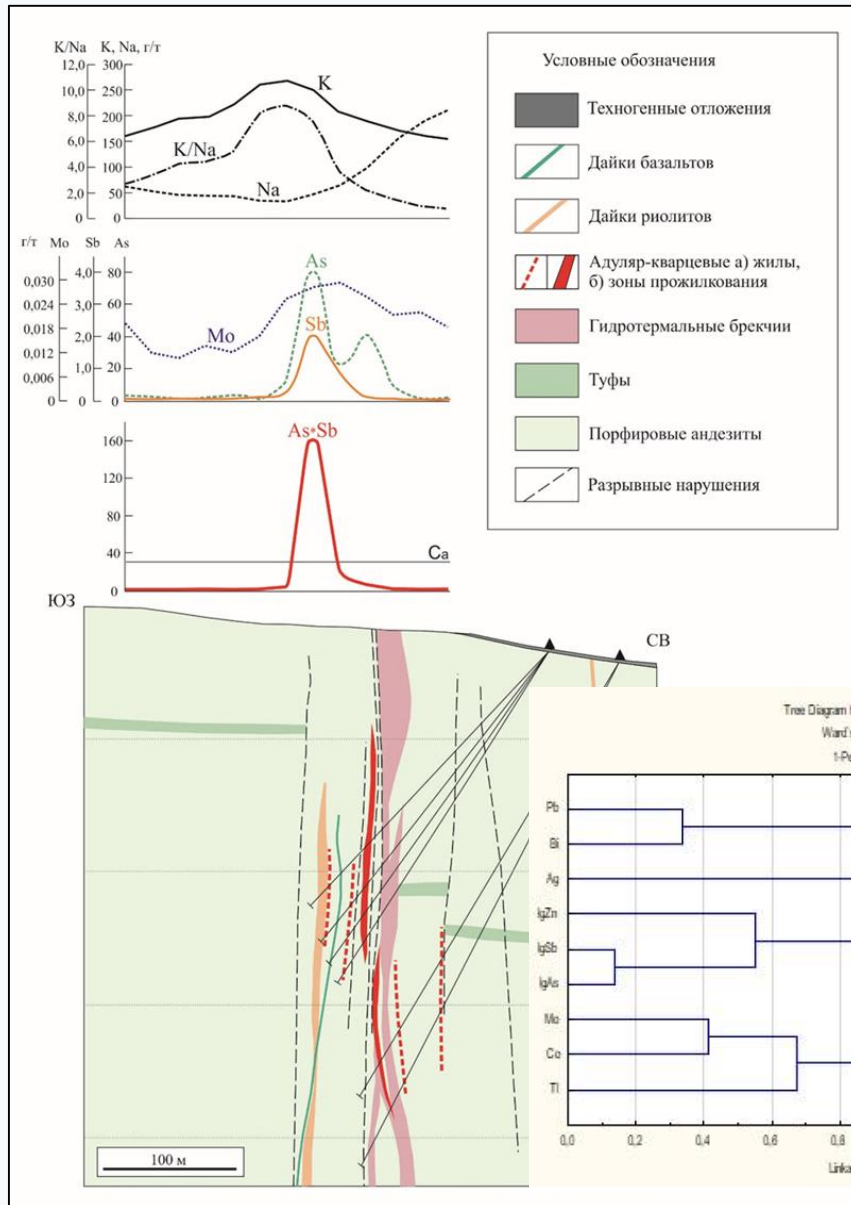
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени П.М. Филаровского» (ФГУП «ВИМС») <small>Федеральный научный центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ФГП РФ</small>	
Аналитический сертификационный испытательный центр (АСИЦ) <small>Аналитический отдел</small>	
119017, Россия, Москва, Старомонетный пер. 31 Тел: (495) 950-30-10, 950-30-20 Факс: (495) 950-34-34 E-mail: lab@vims.gov.ru www.vims.gov.ru	
<b>ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА</b>	
<b>№ 440-ХГ-ПС2 (01-1-0017)/12пч03 (1-145)</b>	
9 января 2019 года	
Заказчик	<b>ФГБУ «ВИМС» Сектор методики поисков месторождений</b>
Адрес	119017, Москва, Старомонетный переулок, д.31
На 51 листе, Лист 1	
На содержание	Примесного состава
Объект анализа	➤ Почвы
Образец	➤ Порошковые пробы серого цвета в полиэтиленовых пакетах. Средняя масса брутто – 100 г.
Маркировка	➤ Пакеты с пробями маркированы согласно описи проб
Пробовозбор	➤ осуществлялся Заказчиком
Методы и методики анализа	➤ Количественный химический анализ (КХА) на содержание примесного состава: масс-спектральный с индуктивно-связанной плазмой по технологии методики ИСАМ № 499 АЭС/МС
Аппаратура	➤ масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой iCAP Qc ("Thermo Scientific", США), ➤ весы ВР-221S ("Сартоломс", Россия)
Кол-во проб:	➤ по описи: 145 проб, фактически: 145 проб.
<p><b>Примечания:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Результаты анализа приведены на абсолютно-сухую пробу.</li> <li>2. Погрешность определений соответствует нормам погрешности при определении химического состава по III категории точности (рядовой химический анализ) ОСТ 41-08-212-04.</li> </ol> <p style="text-align: center;">Результаты испытаний приведены в таблице на листах 2-51</p>	
Зав. Аналитическим отделом	 Губанова Т.Ю.
	

## Ограничения для использования метода КСО

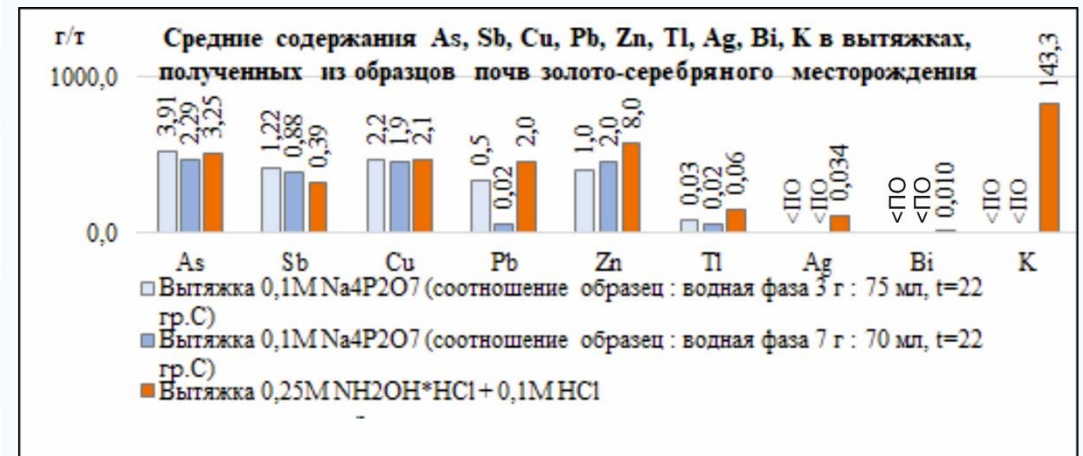
- Метод ограниченно применим в высокогорных ландшафтах со слабым развитием почвенных покровов и преобладанием петроземов
- Метод ограниченно применим в техногенно-загрязненных и нарушенных ландшафтах

# ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

По результатам обработки данных КСО получены высококонтрастные аномалии As, Sb, Mo, K/Na над скрытым рудным телом и зоной минерализации с Au-Ag оруденением. Глубина залегания – 100 м

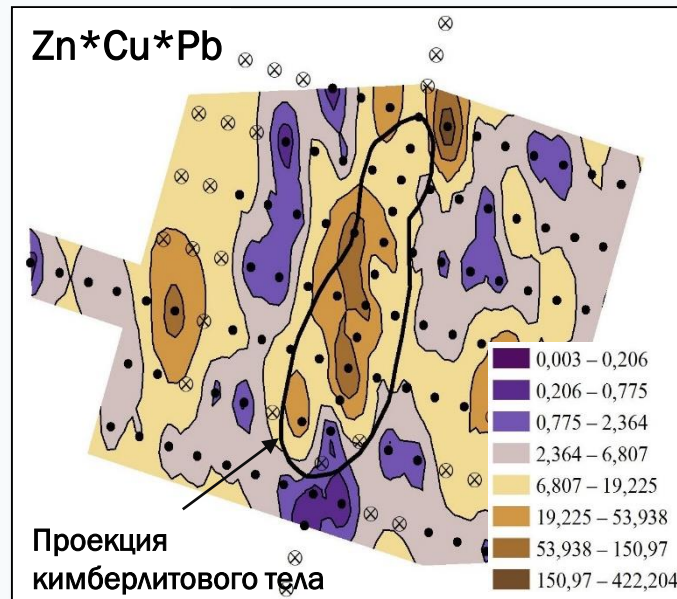
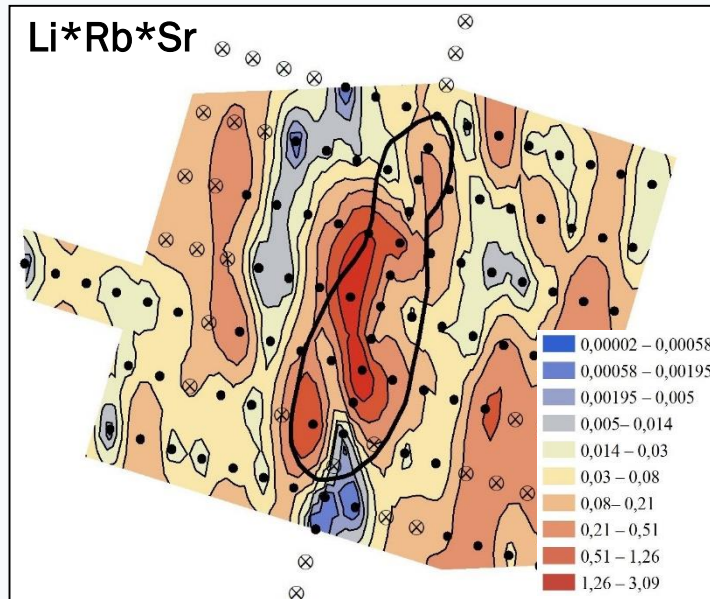
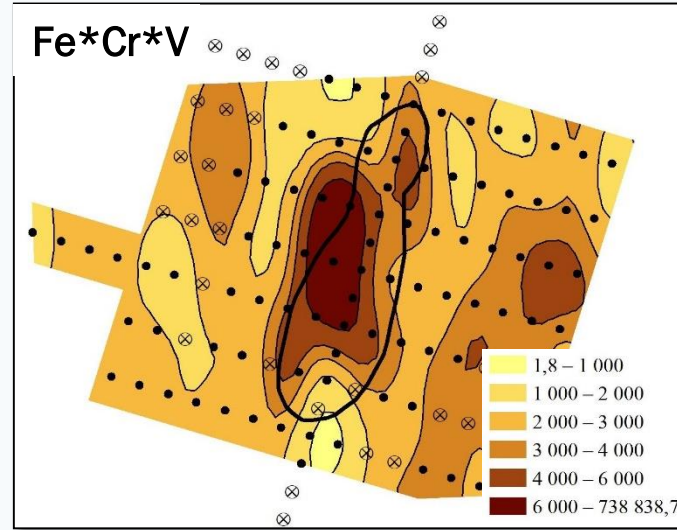
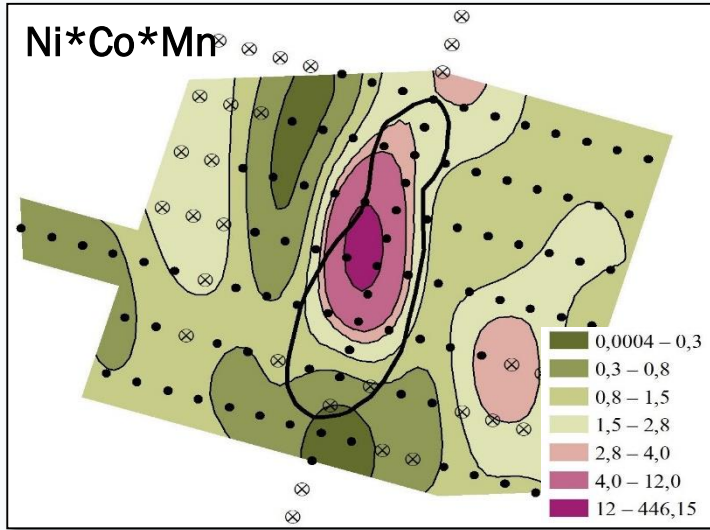


Оценка влияния ландшафтных обстановок при опробовании методом КСО

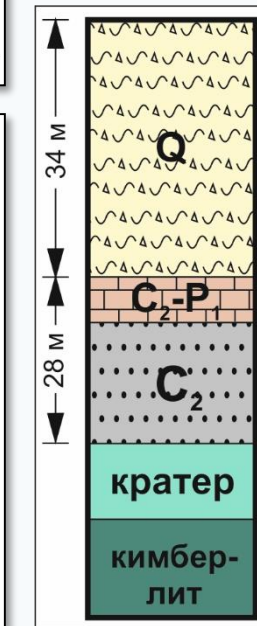
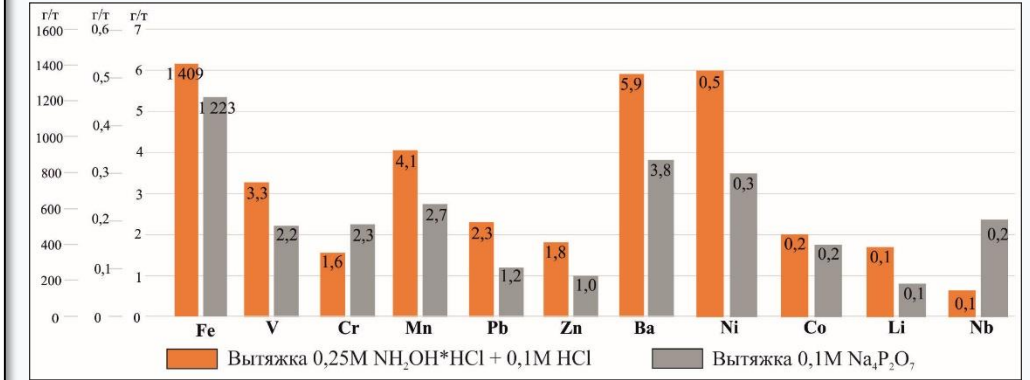


Сравнительный анализ результатов методов КСО и МГФ





Сравнительный анализ результатов методов КСО и МПФ

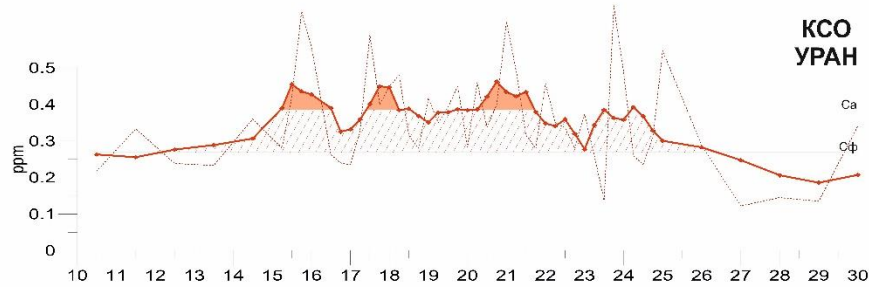
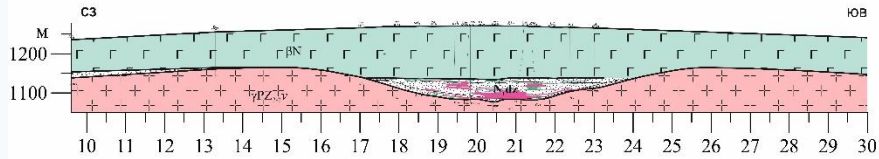


Обобщенный разрез района работ

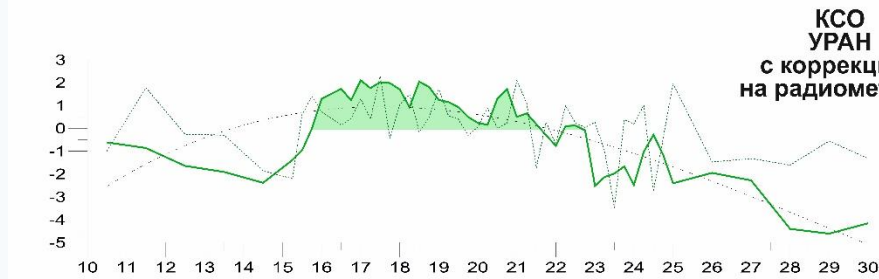
- Работы проводились на 6 известных кимберлитовых телах
- Мощность перекрывающих отложений от 30 до 65 м
- Наибольшую индикаторную роль играют элементы группы железа – Fe, Mn, Cr, V и транзитные Co и Ni, установленные над всеми 6 телами
- В половине случаев выявлены аномалии Zn, Cu, Pb, Bi и Li, Rb и Sr.
- Над одним телом выявлены специфические аномалии Nb и Hf, а также Sb.
- Характерна высокая контрастность выявленных аномалий и тяготение их эпицентров к жерловым фациям

# СКРЫТЫЙ УРАНОВЫЙ ОБЪЕКТ ПЕСЧАНИКОВОГО ТИПА

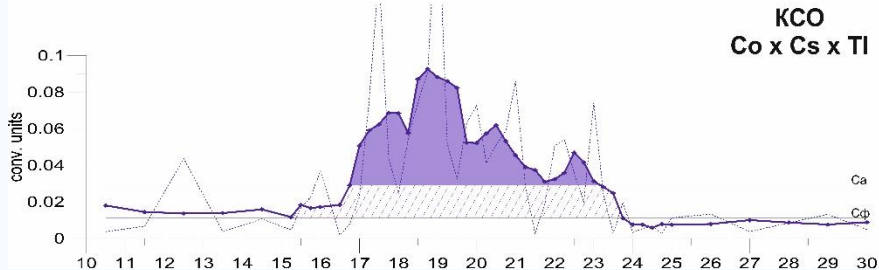
Линия 42 (I) через рудную палеодолину



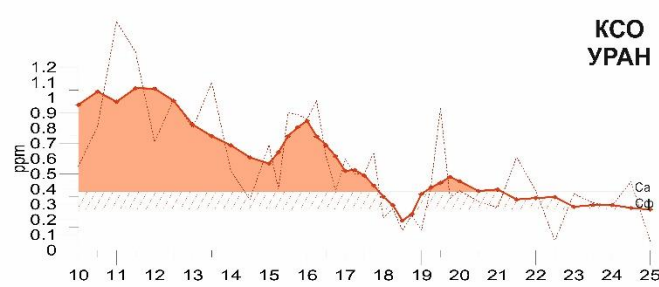
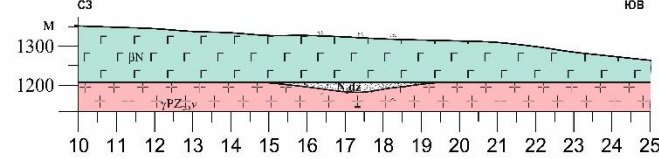
КСО  
УРАН  
с коррекцией  
на радиометрию



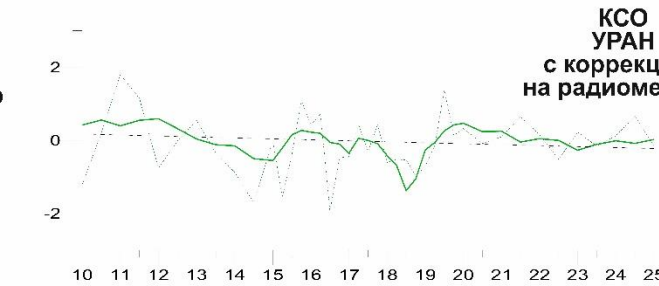
КСО  
Со x Cs x Tl



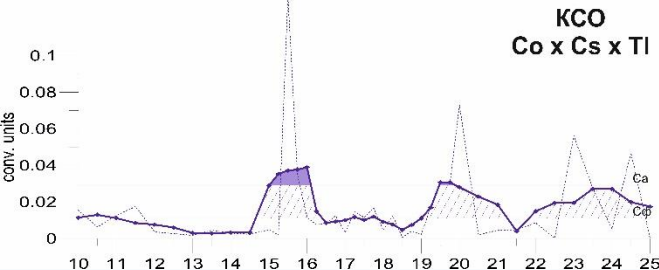
Линия 70 (II) через безрудную палеодолину



КСО  
УРАН  
с коррекцией  
на радиометрию



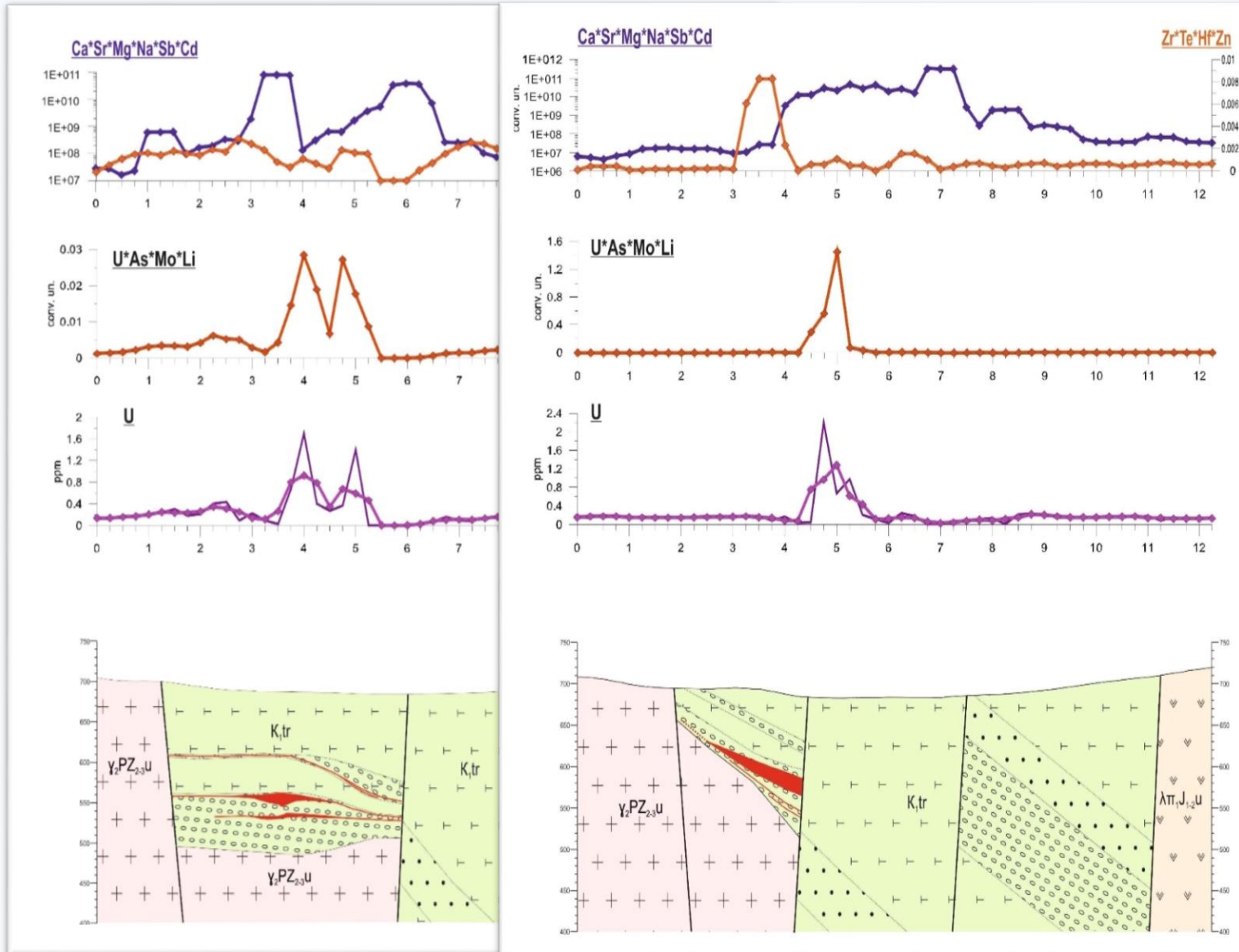
КСО  
Со x Cs x Tl



- Месторождение локализовано под платобазальтами в проницаемых обводнённых вулканогено-осадочных отложениях неогена в палеодолине северного простирания врезанной в кристаллический фундамент
- Мощность покрова платобазальтов составляет 150-200 м
- Положение оруденной части долины фиксируется с поверхности слабоконтрастной аномалией урана, эпицентр которой на 75-100 м смещен от центра палеодолины
- Для снятия влияния поверхностного источника поступления урана в ВОР необходимо вводить поправку на интенсивность поверхностного гамма-излучения
- Рудная палеодолина, помимо собственно урана, отчетливо картируется аномалиями Со, Cs и Tl.
- В безрудной части долины аномалии Со, Cs и Tl образуют рисунок т.н. «rabbit ear», связанный вероятно с проницаемыми зонами разрывных нарушений, по которым в неогене закладывалась рудовмещающая палеодолина



# ВЫЯВЛЕНИЕ СТРАТИФОРМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ КСО



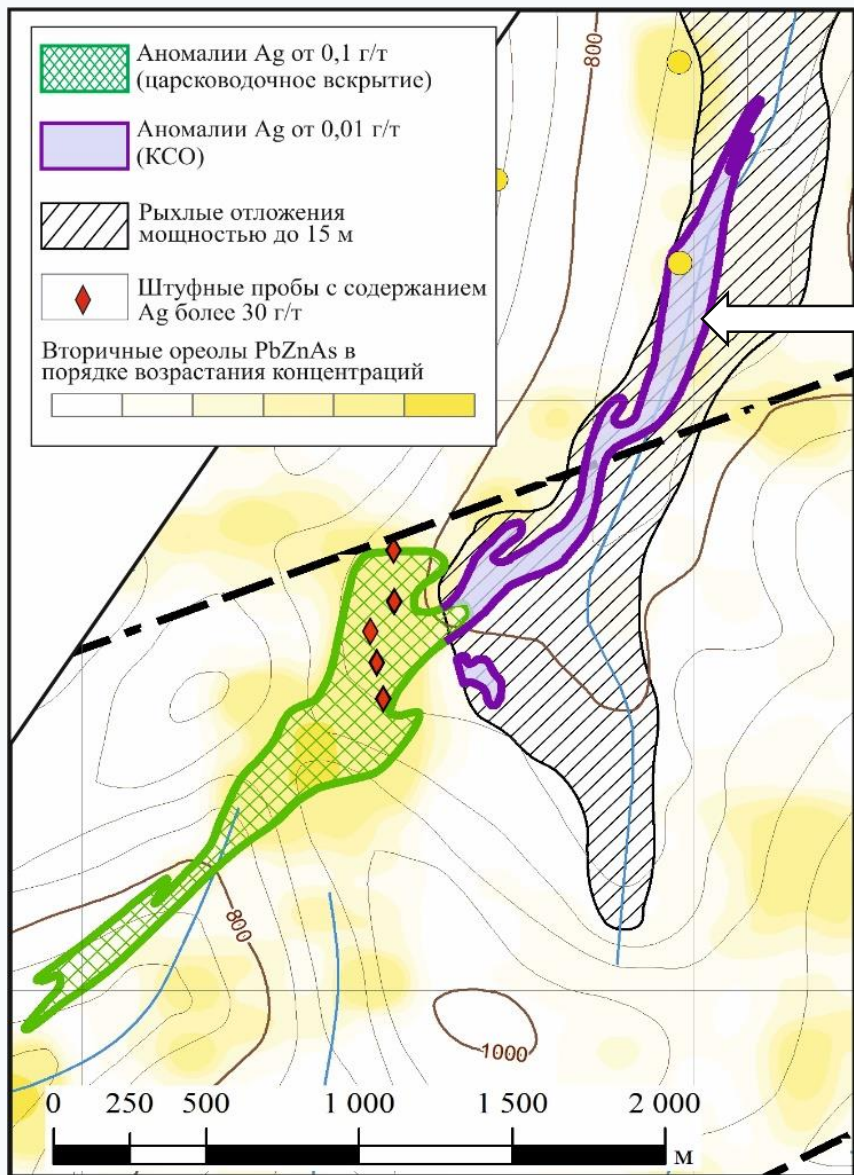
- Скрытые под покровом андезибазальтов на глубинах 70-150 м ураноносные рудные тела пластообразной морфологии, локализованные в вулканогенно-осадочном чехле надежно выявляются геохимическим опробованием по методике КСО
- На всех шести пройденных профилях над проекциями рудных тел выявлены контрастные положительные аномалии U и его ближайших элементов-спутников — Mo, As и Li.
- Отмечается некоторое смещение аномалий и тяготение пиковых содержаний к разрывным нарушениям, что может быть объяснено максимальной проницаемостью данных зон для миграции химических элементов от рудного тела к дневной поверхности.
- Рудная ассоциация часто сопровождается повышенными концентрациями Ca, Sr, Mg, Na, Sb, Cd, Zr, Hf, Te, Zn и пониженными Mn, Ti, Cs, фиксирующими как положение собственно уранового оруденения, так и область его первичного ореола.

Условные обозначения

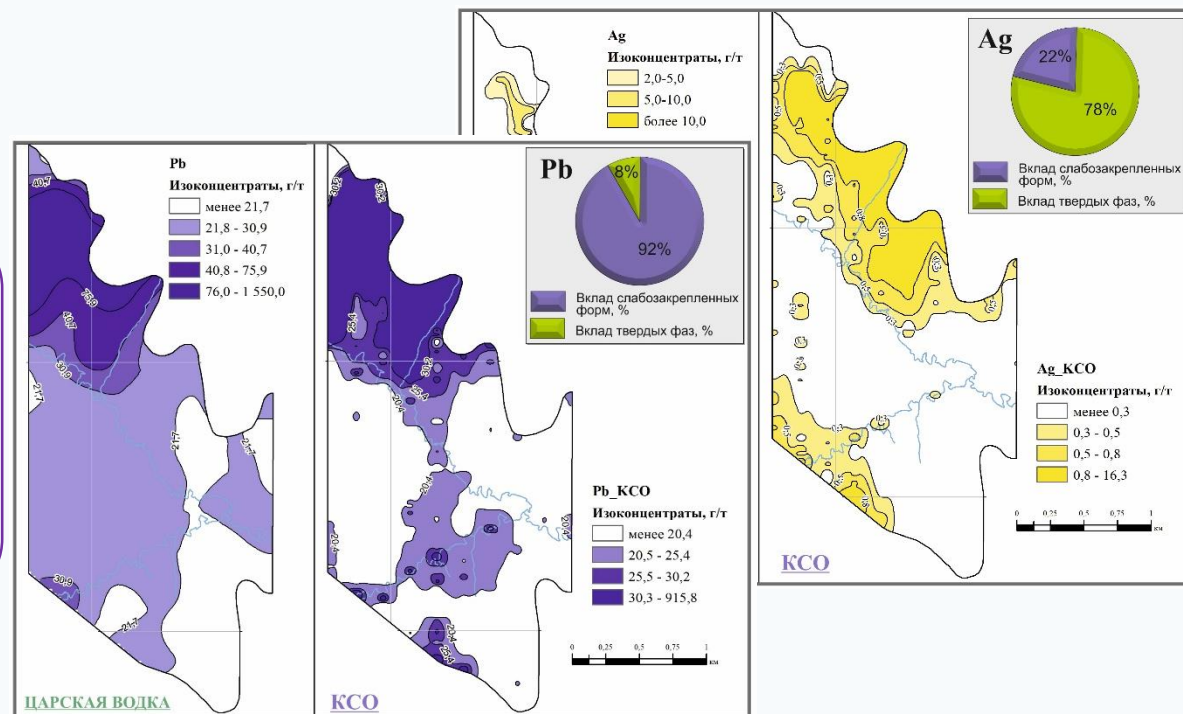
	Дайки андезибазальтов, базальтов		Надаровская свита. Сланцы, метапесчаники
	Тургинская серия а) андезибазальты и базальты, б) конгломераты, в) песчаники		Тектонические нарушения
	Ургуйский комплекс. Первая фаза. Кварцевые порфиры.		Контуры ураноносных рудных залежей штокерво-жильной морфологии
	Удинский комплекс. Первая фаза. Граниты, гранодиориты		Контуры ураноносных рудных залежей пластовой морфологии с а) кондиционным оруденением, б) забалансовым оруденением



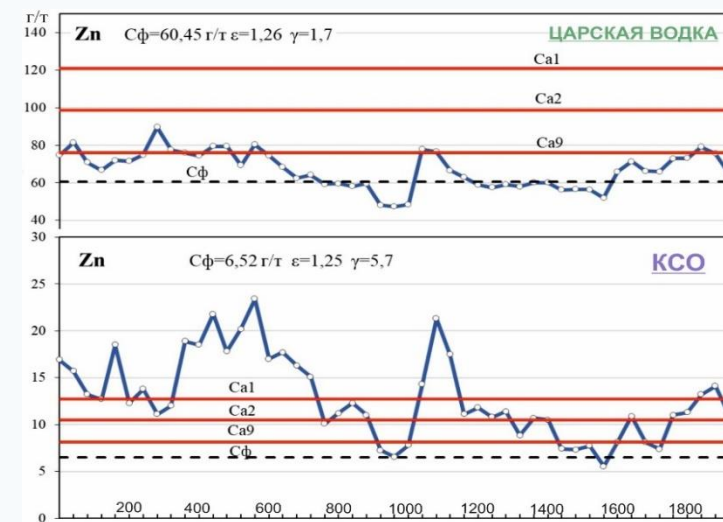
# ПЛОЩАДНЫЕ АНОМАЛИИ КСО В СРАВНЕНИИ ТРАДИЦИОННЫМ МЕТОДОМ, АГ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ



Под чехлом рыхлых отложений прослежена аномалия серебра, не выявленная в результате традиционного опробования вторичных ореолов рассеяния



- Преимуществом методики КСО является большая контрастность аномалий серебра и сопутствующих цветных металлов, превышающая таковую для традиционного метода до 3-х раз, а также часто большая эффективная ширина аномалий
- Значительная доля подвижных форм нахождения элементов в почвах определяет принципиальную применимость химического фракционирования по методу КСО для выявления сорбционно-солевых геохимических аномалий, связанных с потенциально рудоносными зонами



# ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

---

**В состав алгоритма интерпретации входит набор последовательно выполняемых операций:**

- 1) Сбор, систематизация и ввод в базу данных результатов лабораторно-аналитических исследований
- 2) Оценка контроля качества первичной информации
- 3) Оценка параметров геохимического поля
- 4) Составление геохимических подвыборок и их вариационно-статистическая обработка
- 5) Проведение корреляционного, кластерного и факторного анализов
- 6) Выявление вторичных моноэлементных аномалий и аномальных геохимических полей (АГХП) элементов-индикаторов оруденения
- 7) Расчет геохимических показателей и параметров
- 8) Обобщение всех полученных данных с привлечением результатов геофизических, минералогических и других исследований

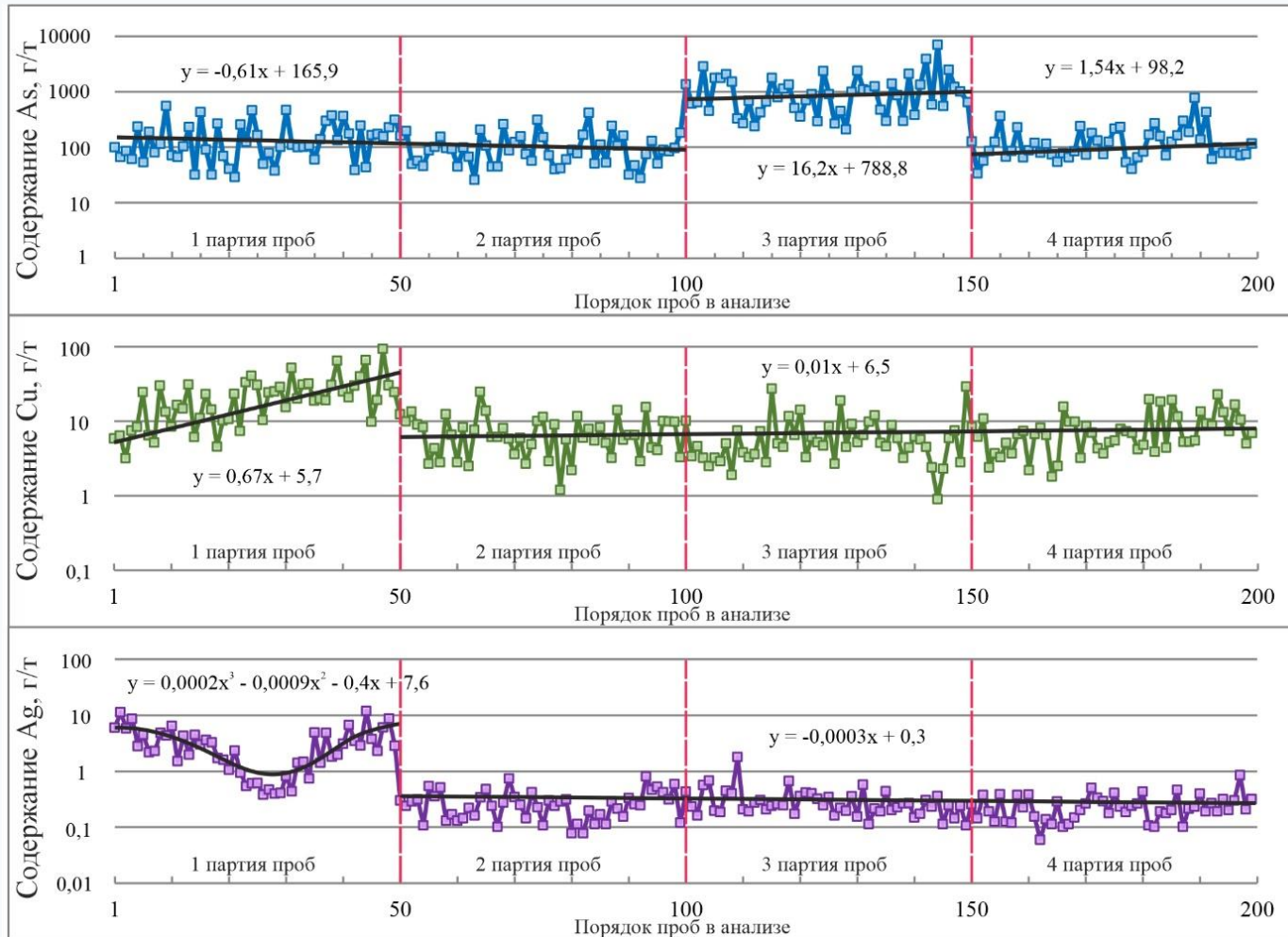
Графическая обработка данных – построение карт-разносок содержаний химических элементов, карт моноэлементных аномалий, карт мультипликативных или, реже, аддитивных аномалий, карт факторных значений и др.

# КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

## 1. Расчет систематической и случайной погрешности в парах рядовых и контрольных проб

Систематическое расхождение ( $S_{\text{сист}} = 10^{\Delta_{\text{сист}}}$ ) не требует исключения в пределах 0,9-1,1

Случайное расхождение ( $S_{\text{случ}} = 10^{\Delta_{\text{случ}}}$ ) не должно превышать 1,6



## 2. Оценка внутрилабораторных трендов (систематического расхождения и лабораторного дрейфа между партиями испытаний или внутри каждой партии)

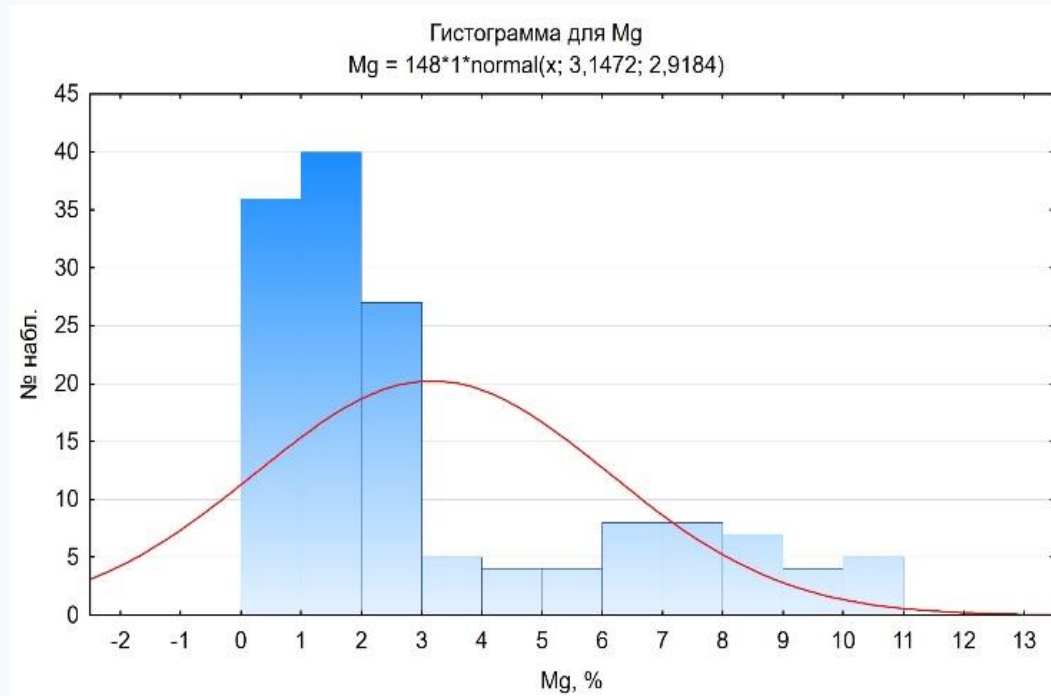
Графики логарифмированных значений содержаний химических элементов в геохимических пробах в порядке выполнения анализов: а) и б) с линейным трендом, в) с полиномиальным трендом



# ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

1. Очистка базы данных от выбросов (например, методом Тьюки)
  2. Оценка принадлежности выборок к нормальному или логнормальному закону распределения
- Условие применимости нормального распределения содержаний или их логарифмов принимается соблюдение неравенств:

Для графического представления о распределении вероятностей значений концентраций строятся гистограммы и графики квантилей



Гистограмма с бимодальным распределением магния

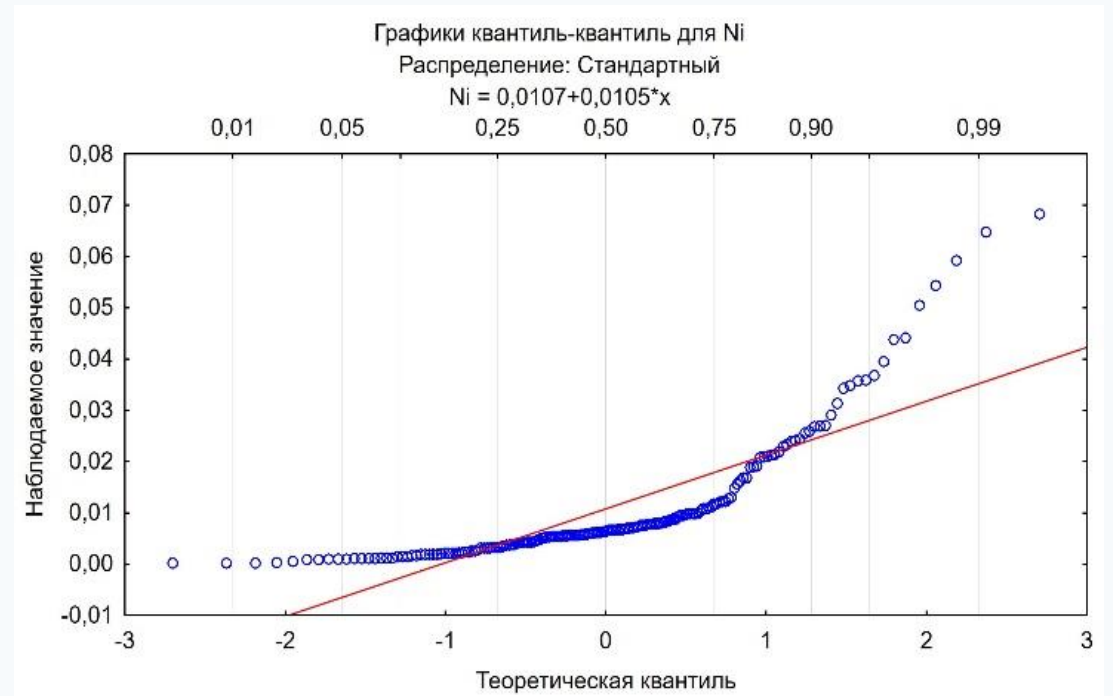


График квантилей с логнормальным распределением никеля

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

- Картирование сорбционно-солевых ореолов является одним из немногих прямых методов, работающих при поисках скрытых, слабо проявленных и погребенных под чехлом аллохтонных отложений объектов
- При небольшой степени перекрытия, применение методов частично-фазовой экстракции, к которым относится КСО, в профильном варианте позволяет повысить контрастность аномалий полученных по традиционной схеме опробования вторичных ореолов рассеяния
- Перечень видов полезных ископаемых, для которых возможно применение данной технологии за счет проведения опытно-методических работ постоянно расширяется, и на данный момент включает золото, серебро, полиметаллы, уран и кимберлиты
- Чувствительность анализа даёт возможность получать значимые содержания для более чем 50 определяемых химических элементов, а также индивидуально выбирать блоки интересующих элементов, снижая при этом чувствительность анализа
- Стандартизация и относительная простота методик пробоотбора, пробоподготовки и анализа обеспечивает максимальную компенсацию возможных ошибок
- Верный подход к интерпретации данных позволяет получать максимально надежную геолого-поисковую информацию
- ФГБУ «ВИМС» выполняет весь комплекс работ, предусмотренных методикой КСО