



Теллур

ГРУППА КОМПАНИЙ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Санкт-Петербург, Россия

Алексей МАРЧЕНКО

(ООО «Теллур Северо-Восток»)

**Геохимические поиски скрытых рудных месторождений:
методы, опыт применения, результативность**

**III Научно-практическая конференция
«МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ:
ОСВОЕНИЕ, ВОСПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ»**

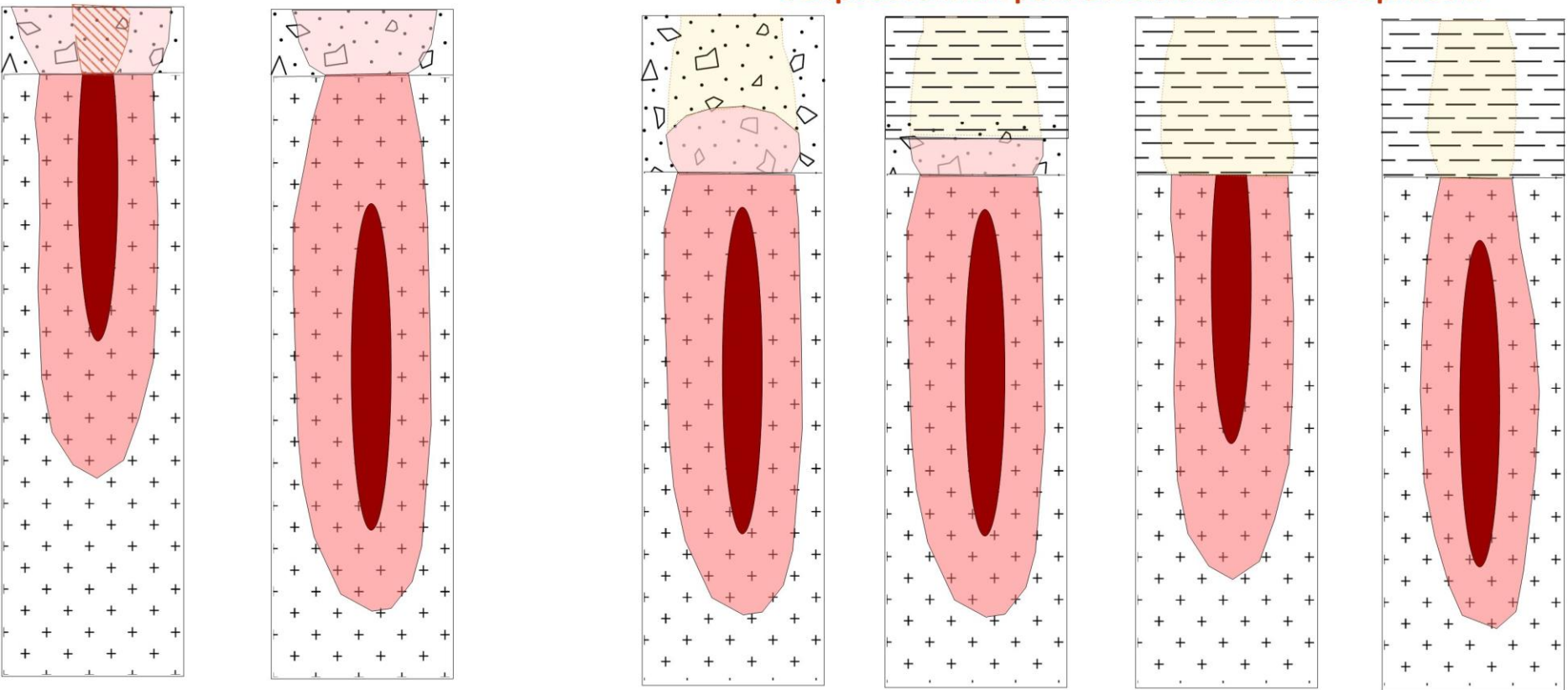
Москва, ФГБУ «ВИМС», 2023

Открытость либо скрытость рудных месторождений с точки зрения их поисков геохимическими методами

По условиям применения геохимических методов поисков по вторичным ореолам рассеяния:

Открытые территории,
применяются стандартные
литохимические методы поисков
по остаточным вторичным ореолам

Закрытые территории,
применяются **глубинные поиски с бурением**
либо **специальные литохимические методы поисков**
по наложенным вторичным ореолам
с опробованием рыхлых отложений с поверхности

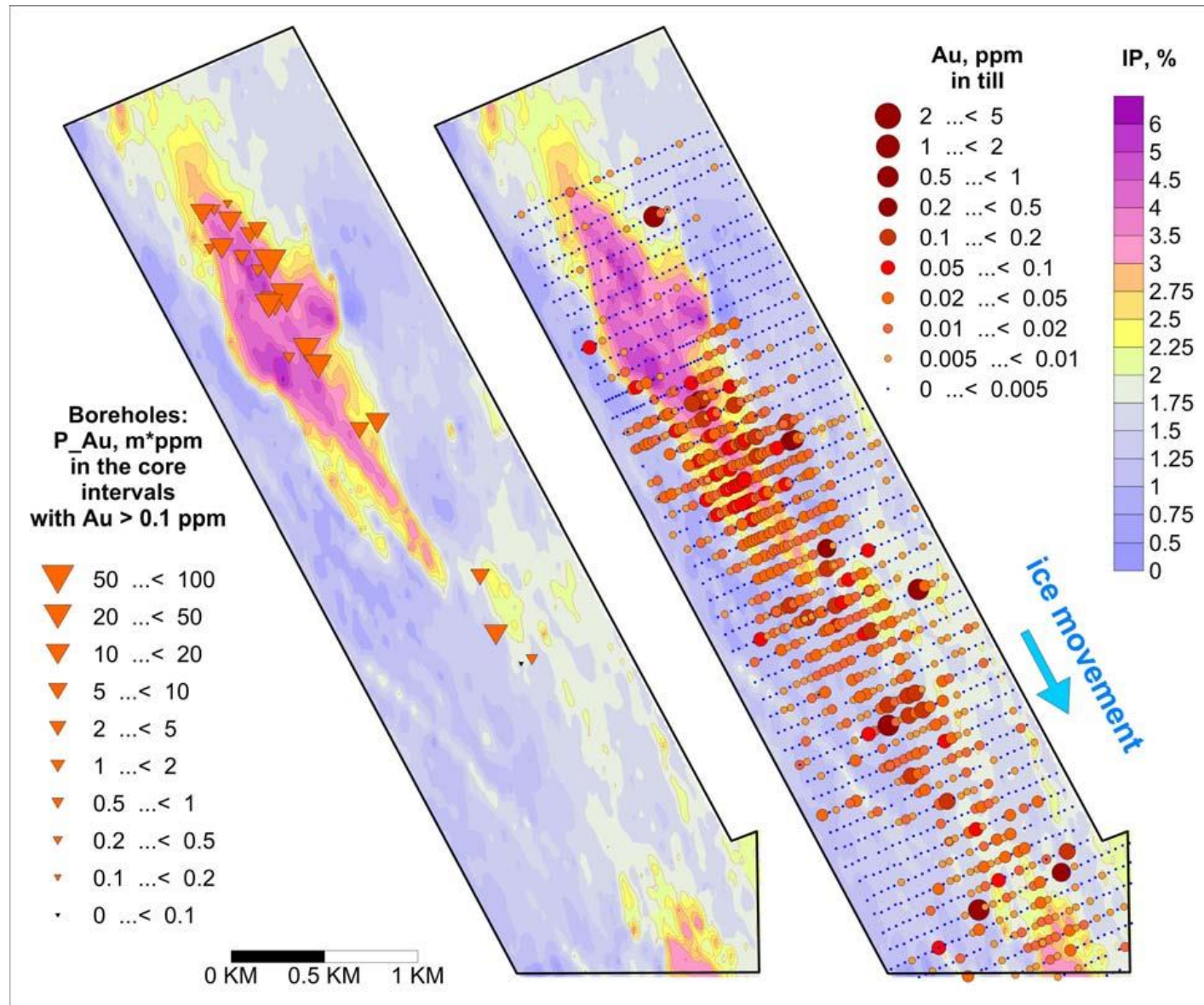


+ + +
+ + +
Коренные породы

Autochthonous (residual) loose deposits

Allochthonous (foreign) loose deposits

Глубинная литохимическая съёмка, в данном случае – тиллевая съёмка на участке золоторудного проявления в Карелии, не всегда помогает локализовать положение коренного источника вторичного ореола. Нужны дополнительные методы (в данном случае – электроразведка методом ВП)

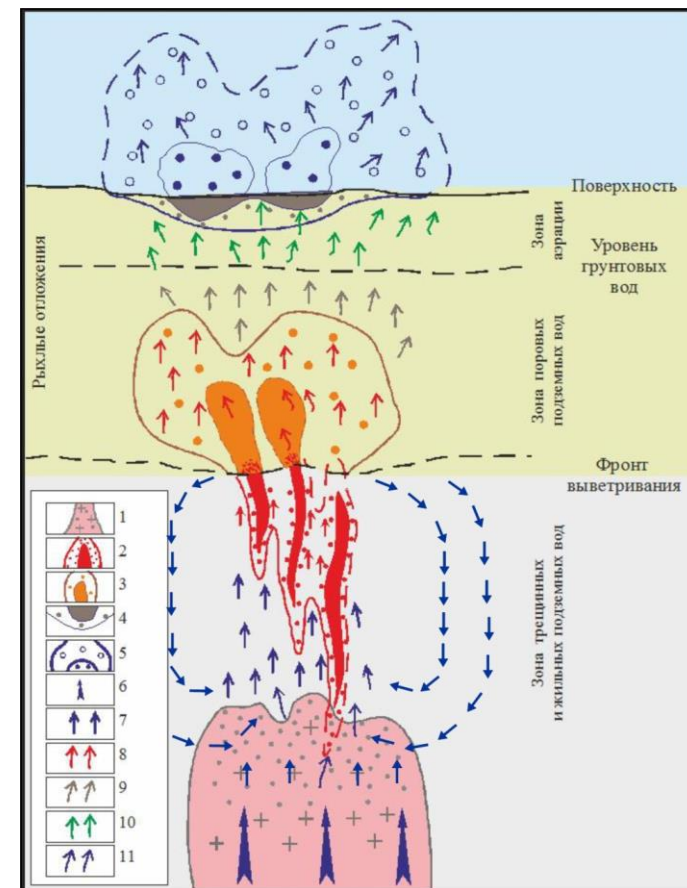


Процессы формирования наложенных вторичных геохимических ореолов рассеяния, достигающих дневной поверхности

Ещё не так давно считалось, что основную роль в формировании надрудных наложенных вторичных ореолов в перекрывающих наносах играет диффузионный массоперенос.

Однако практика применения новых геохимических методов с селективным извлечением и анализом подвижных и вторично закрепленных форм нахождения элементов в верхних горизонтах рыхлого покрова привела к получению характеристик надрудных наложенных ореолов, не согласующихся с ведущей ролью диффузии.

В результате были обоснованы представления о преобладании конвективного или квазиконвективного массопереноса в виде направленных вверх струй при образовании надрудных наложенных ореолов, названных «струйными» [Путиков и Духанин, 1994; Марченко, 1998; Rytikov and Wen, 2000; Путиков, 2009].



Концептуальная модель формирования наложенных сорбционно-солевых и нанопылевых ореолов рассеяния на примере плутоногенной рудно-магматической гидротермальной системы [Соколов С.В., Приходько Е.Ф., Марченко А.Г., Володько С.А., 2015]

Ведущие процессы формирования наложенных вторичных геохимических ореолов рассеяния, достигающих дневной поверхности (современные представления)

В зоне подземных вод:

- ведущим, по современным представлениям, является **процесс восходящей газовой-пузырьковой миграции подвижных форм элементов**, т.е. природной ионной флотации, которая представляет собой захват химических элементов всплывающими в поровых подземных водах газовыми пузырьками и их перенос вверх к зеркалу подземных вод;
- существенное значение при формировании наложенных ореолов в обводненных породах имеют также **электрохимические процессы и миграция ионов под действием естественных электрических полей**;
- **биогенные процессы**.

В зоне аэрации:

- **капиллярный подъем вод**;
- **восходящая фильтрация подземных вод** за счет локальных аномалий градиентов температуры и давления;
- **восходящая миграция газов и переносимых газами наночастиц и нанокластеров металлов и других элементов** в квазигазообразном состоянии [Духанин и др., 2021];
- **в аридных сейсмически активных районах**, особенно при большой мощности зоны аэрации, наиболее значимым представляется **восходящий массоперенос циклическими фильтрационными потоками напорных вод**, возникающими в периоды землетрясений и сразу после них в результате дилатансионной накачки;
- **биогенные процессы**.

В многолетнемёрзлых породах:

- **восходящая миграция газов и переносимых газами наночастиц и нанокластеров металлов и других элементов** (миграция металлов, высвободившихся из минералов за счёт электрохимических процессов, включая вызванные воздействием восходящих потоков эндогенных газов, в том числе водорода [Духанин и др., 2021]).

Специальные литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам рассеяния, нацеленные на выявление скрытых (глубокозалегающих и/или перекрытых наносами) рудных месторождений

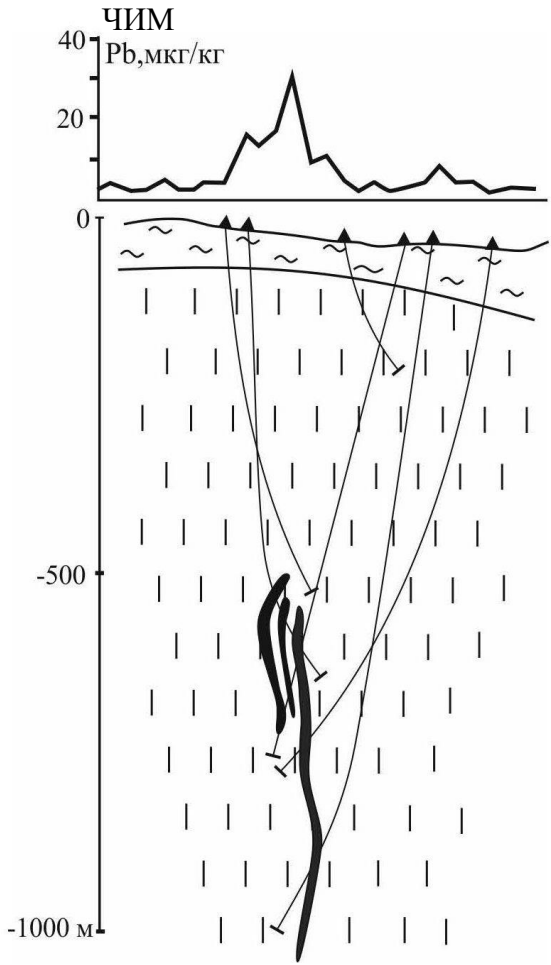
Методы, разработанные и применяемые в России:

- метод частичного извлечения металлов (ЧИМ) – в последнее время не применяется
- метод диффузионного извлечения (МДИ)
- терромагнитный геохимический метод (ТМГМ)
- метод металлоорганических почвенных форм нахождения элементов (МПФ)
- литохимический метод с анализом тонкой фракции (<0,063–0,075 мм)
- метод анализа сверхтонкой фракции (МАСФ)
- multi-element fine fraction analysis (MEFFA)
- ионно-сорбционный метод (ИСМ)
- другие методы, использующие селективное извлечение отдельных форм или групп форм нахождения элементов в рыхлых отложениях

Методы, разработанные и применяемые за рубежом (некоторые из них применяются и в России):

- метод МОМЕО (последовательные селективные экстракции разными реагентами подвижных и слабозакрепленных форм нахождения элементов)
- метод GEOGAS («Геогаз»), или NAMEG (NAnoscale MEtals in EarthGas)
- метод анализа почв “Подвижные ионы металлов” Mobile Metal Ions (MMI) – в последнее время достаточно широко применяется в России
- литохимический метод с анализом сверхтонкой фракции ледниковых отложений (<0,002 мм)
- другие методы, использующие селективное извлечение отдельных форм или групп форм нахождения элементов в рыхлых отложениях

К вопросу об оценке глубинности геохимических поисков по наложенным ореолам рассеяния. Что является источником наложенного ореола: рудное тело, или его первичный ореол, или рудовмещающая зона, выходящая на поверхность эрозии?



Иртышское, Рудный Алтай.

(Из доклада Воробьева С.А. и Миляева С.А. в ЦНИГРИ, 2022; исходный рис. из [Рысс Ю.С., 1983 - по материалам И.С. Гольдберга])

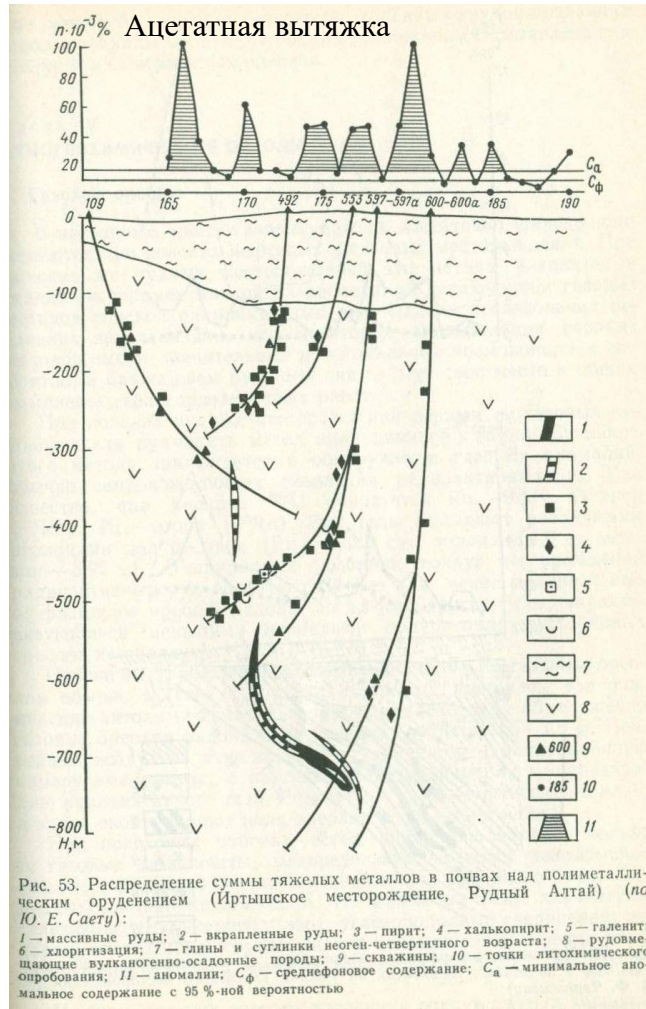


Рис. 53. Распределение суммы тяжелых металлов в почвах над полиметаллическим оруденением (Иртышское месторождение, Рудный Алтай) (по Ю. Е. Саеу):
 1 — массивные руды; 2 — вкрапленные руды; 3 — пирит; 4 — халькопирит; 5 — галенит; 6 — хлоритизация; 7 — глины и суглинки неоген-четвертичного возраста; 8 — рудовмещающие вулканогенно-осадочные породы; 9 — скважины; 10 — точки литохимического опробования; 11 — аномалии; C_a — средифоновое содержание; C_A — минимальное содержание с 95 %-ой вероятностью

Иртышское, Рудный Алтай.
 [Григорян С.В., Рудничная геохимия, М., Недра, 1992, с. 121 – по Ю.Е. Саеу]

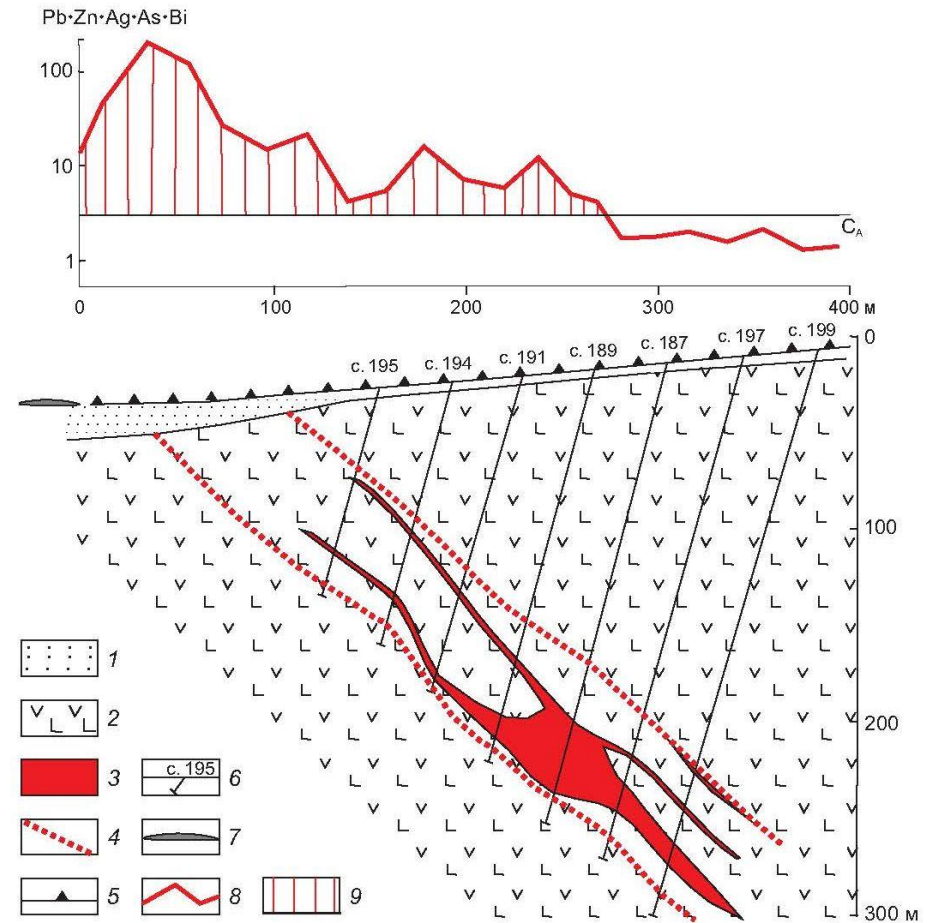
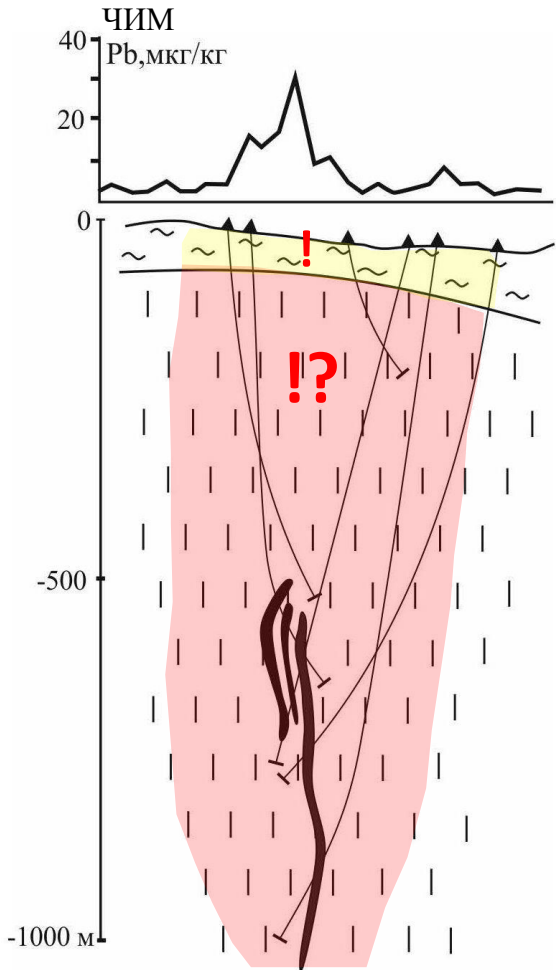


Рис. 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЁМКИ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙ:

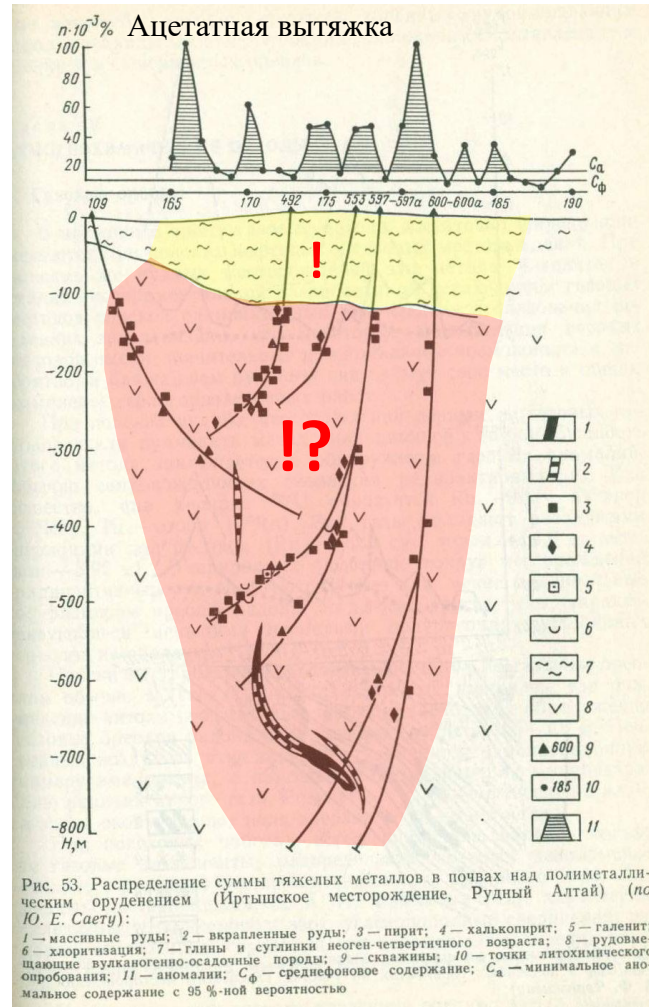
1 – солифлюкционные образования; 2 – андезибазальты; 3 – рудные тела; 4 – граница рудной зоны; 5 – пункты опробования; 6 – разведочные скважины, их номера; 7 – техногенные отложения; 8 – график мультипликативного показателя; 9 – область аномальных значений показателя [Миляев, Кряжев и Виленкина, 2017]

К вопросу об оценке глубинности геохимических поисков по наложенным ореолам рассеяния. Что является источником наложенного ореола: рудное тело, или его первичный ореол, или рудовмещающая зона, выходящая на поверхность эрозии?



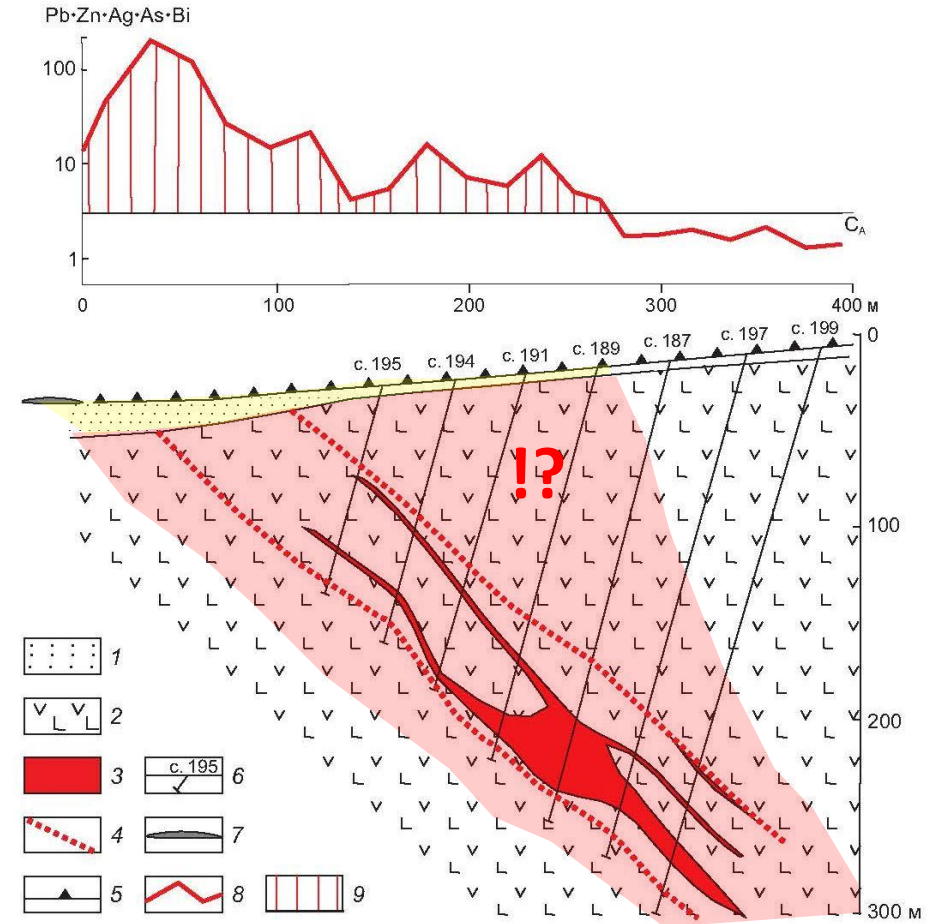
Иртышское, Рудный Алтай.

(Из доклада Воробьева С.А. и Миляева С.А. в ЦНИГРИ, 2022; исходный рис. из [Рысс Ю.С., 1983 - по материалам И.С. Гольдберга])



Иртышское, Рудный Алтай.

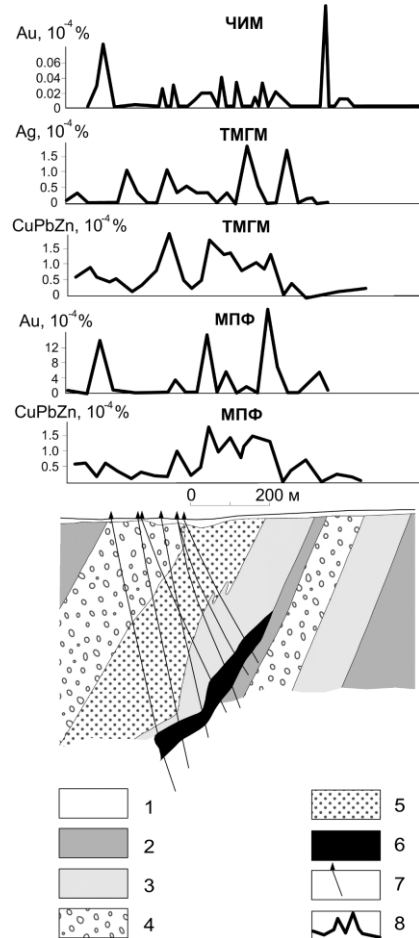
[Григорян С.В., Рудничная геохимия, М., Недра, 1992, с. 121 – по Ю.Е. Саеу]



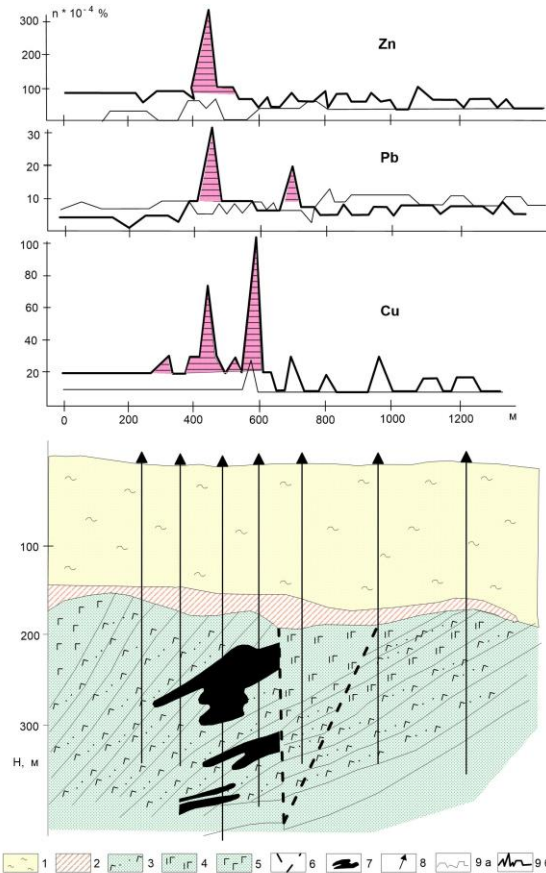
РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЕМКИ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙ:

1 — солифлюкционные образования; 2 — андезитбазальты; 3 — рудные тела; 4 — граница рудной зоны; 5 — пункты опробования; 6 — разведочные скважины, их номера; 7 — техногенные отложения; 8 — график мультипликативного показателя; 9 — область аномальных значений показателя [Миляев, Кряжев и Виленкина, 2017]

К вопросу об оценке глубинности геохимических поисков по наложенным ореолам рассеяния. Что является источником наложенного ореола: рудное тело, или его первичный ореол, или рудовмещающая зона, выходящая на поверхность эрозии?

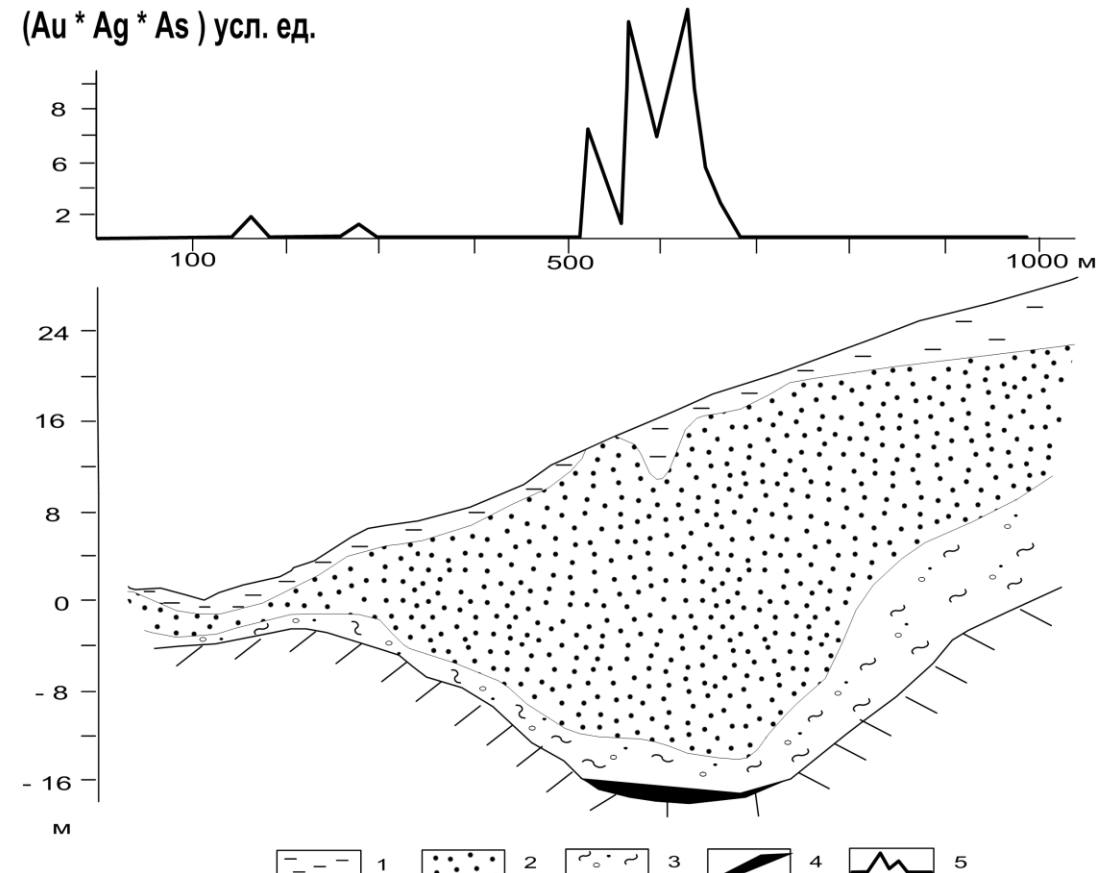


Результаты наблюдений геоэлектрохимическими методами на золоторудном месторождении в Канаде: 1 – четвертичные отложения; 2 – ультраосновные породы; 3 – базальты; 4 – конгломераты; 5 – песчаники; 6 – золоторудная зона; 7 – скважины; 8 – графики содержаний подвижных форм элементов [Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б., 2015]



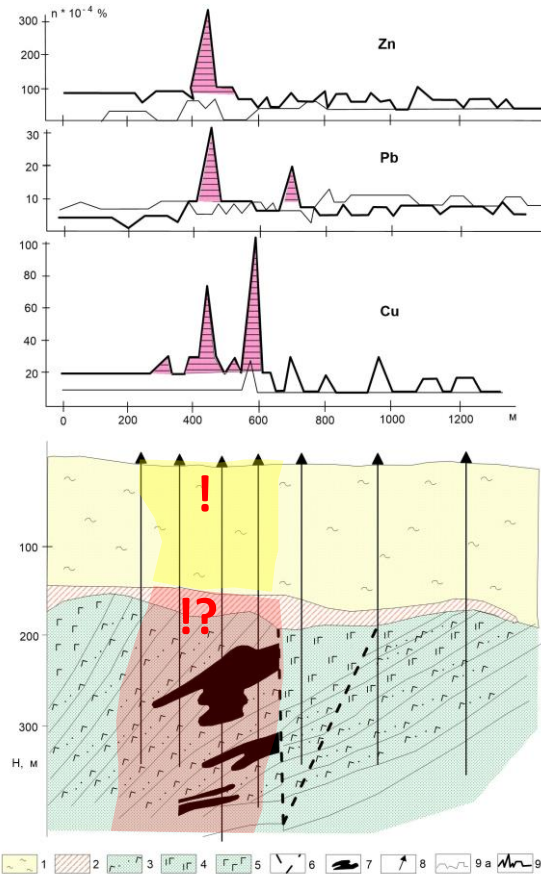
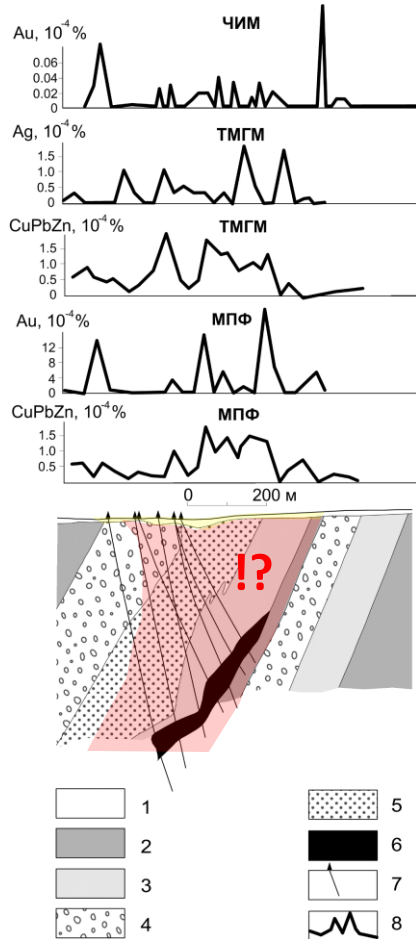
1 - рыхлые отложения; 2 - кора выветривания; 3-5 - вмещающие породы; 6 - тектонические нарушения; 7 - медноколчеданная зона; 8 - буровые скважины; 9 - графики распределения элементов в валовых пробах (а) и в их термомагнитных фракциях (б)

Результаты наблюдений ТМГМ на медноколчеданном месторождении в Казахстане [Алексеев С.Г. и др., 2005]

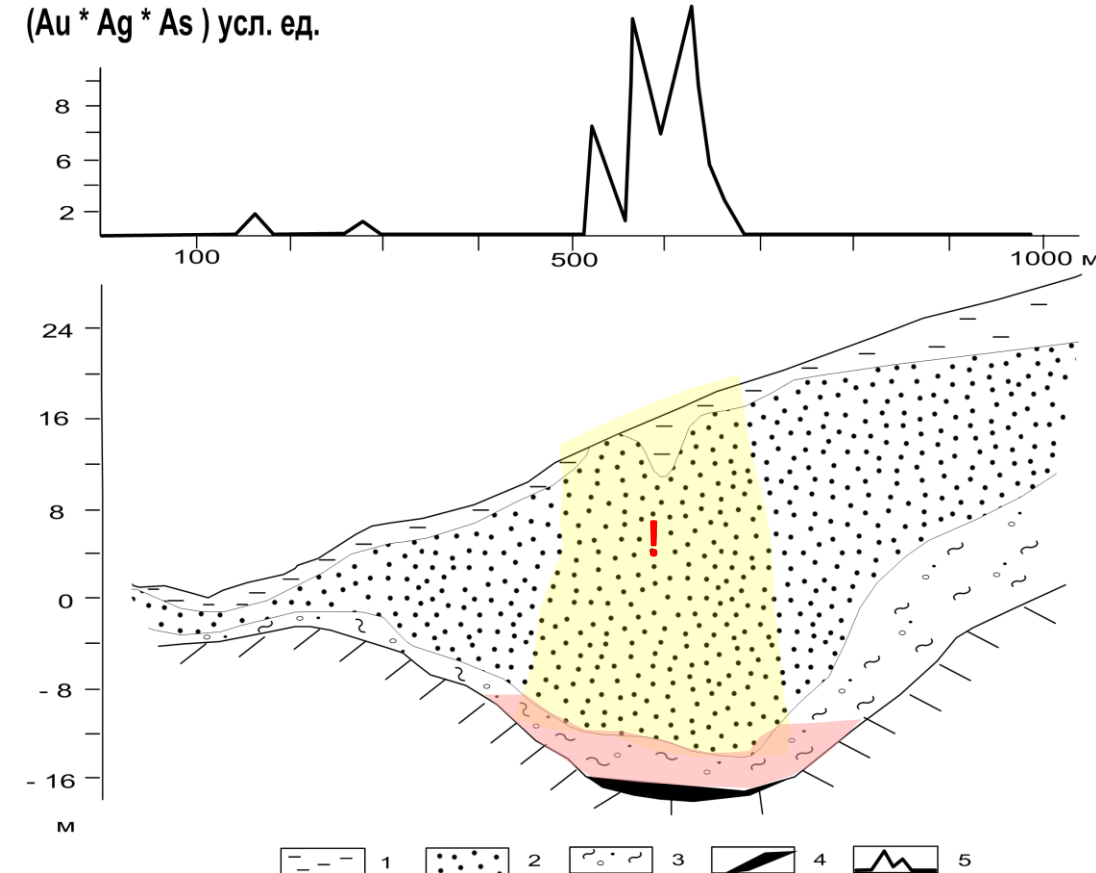


Результаты наблюдений МПФ над россыпью золота. Зabayкалье: 1 - почвенный слой; 2 - песок; 3 - приплотиковый материал; 4 - золотая россыпь; 5 – графики значений мультипликативного показателя [Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б., 2015]

К вопросу об оценке глубинности геохимических поисков по наложенным ореолам рассеяния. Что является источником наложенного ореола: рудное тело, или его первичный ореол, или рудовмещающая зона, выходящая на поверхность эрозии?



Результаты наблюдений ТМГМ на медноколчеданном месторождении в Казахстане [Алексеев С.Г. и др., 2005]



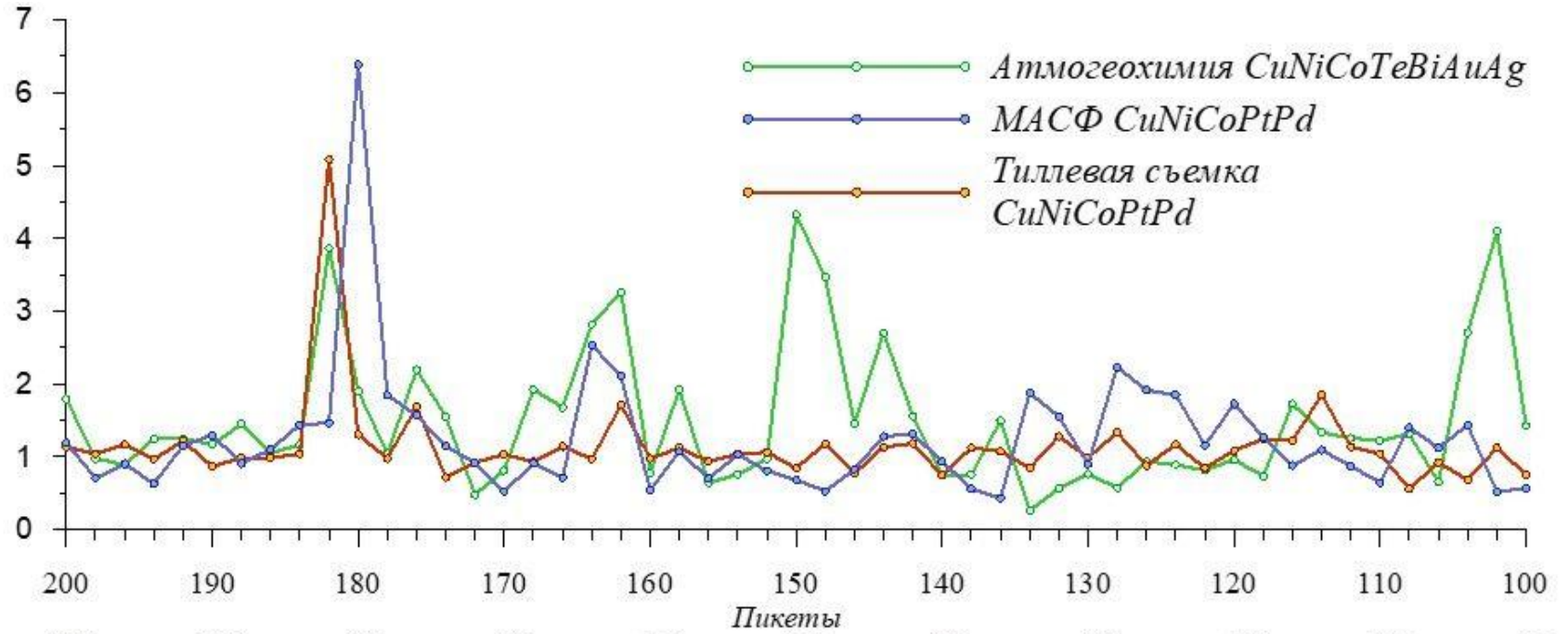
Результаты наблюдений МПФ над россыпью золота.

Забайкалье:

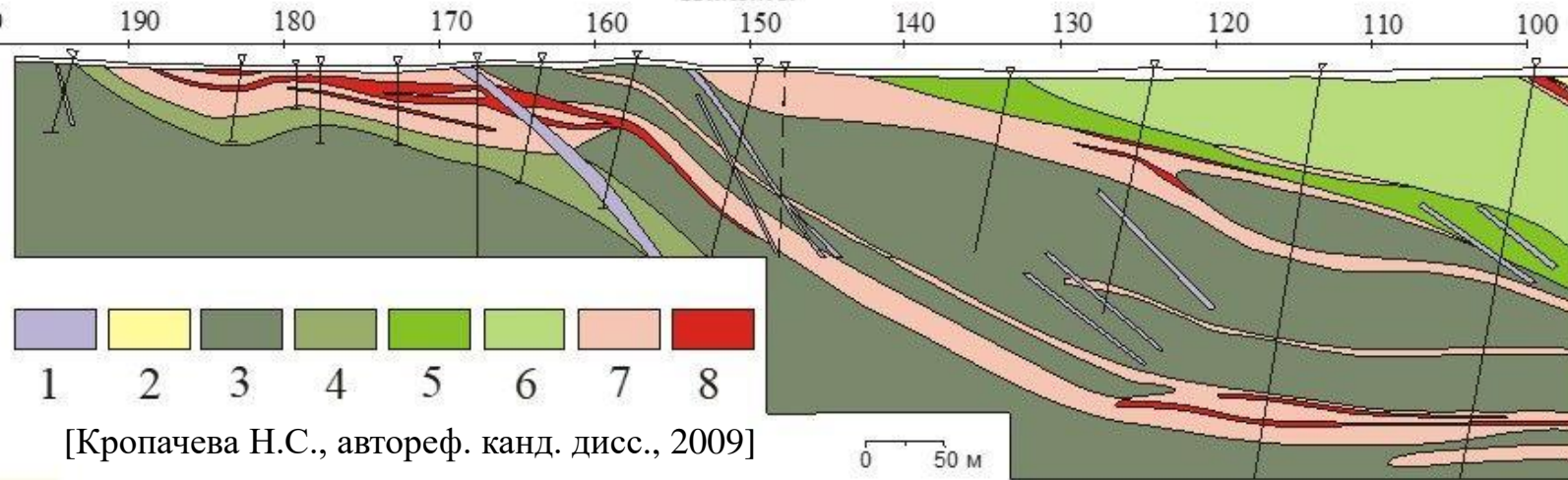
1 - почвенный слой; 2 - песок; 3 - приплотиковый материал; 4 - золотая россыпь; 5 - графики значений мультипликативного показателя [Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б., 2015]

Результаты наблюдений геоэлектрохимическими методами на золоторудном месторождении в Канаде: 1 – четвертичные отложения; 2 – ультраосновные породы; 3 – базальты; 4 – конгломераты; 5 – песчаники; 6 – золоторудная зона; 7 – скважины; 8 – графики содержаний подвижных форм элементов [Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б., 2015]

Результативность разных методов: графики полиэлементных показателей (в усл. ед.) и вертикальный разрез массива Вуручуйвенч с платинометальной минерализацией по профилю 35



Геологический разрез по материалам ООО «Печенгагеология»



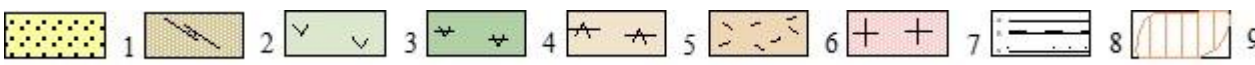
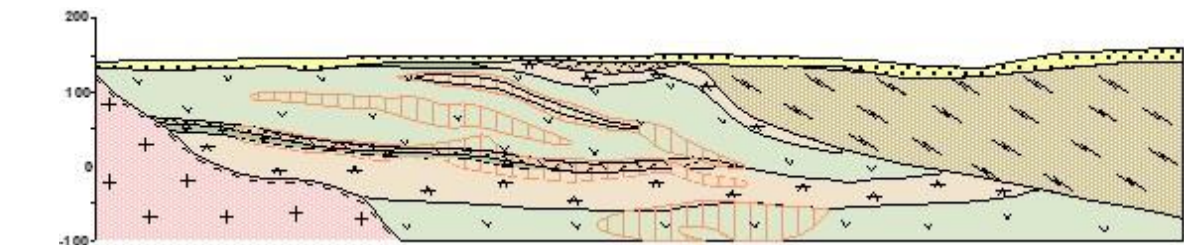
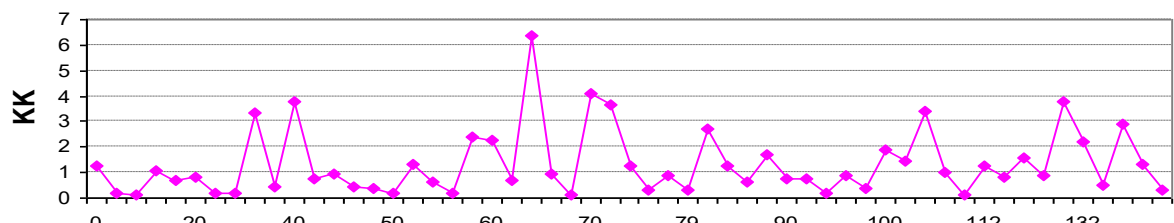
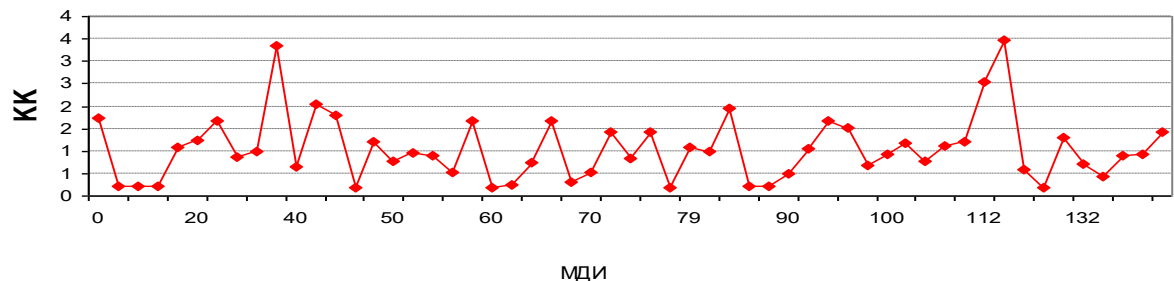
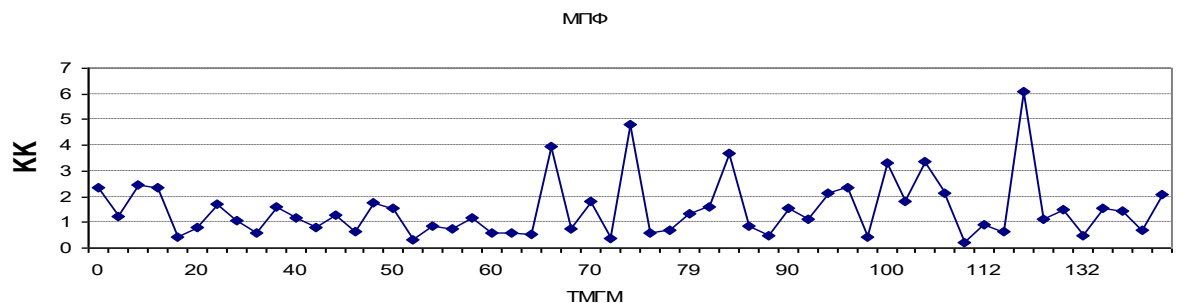
Коренные породы перекрыты моренными отложениями со средней мощностью около 5 м

Породы Имандра-Варзугской структуры (1–2): 1 – metabазальты; 2 – metabазальты и конгломераты; габбронориты г. Вуручуйвенч (3–6): 3 – габбронориты мезомеланократовые измененные; 4 – габбронориты такситовые измененные; 5 – габбронориты лейкократовые измененные; 6 – плагиоклазиты-анортозиты пятнистые до существенно кварц-плагиоклазовых пород, измененные; 7 – зоны бедной вкрапленной минерализации; 8 – зоны рудной платинометальной минерализации.

Наложенные вторичные ореолы – не всегда всё чётко и контрастно. Пример по золоторудному месторождению Лобаш-1 (Карелия), перекрытому абляционной мореной мощностью 10-15 м

КК – коэффициенты концентрации золота

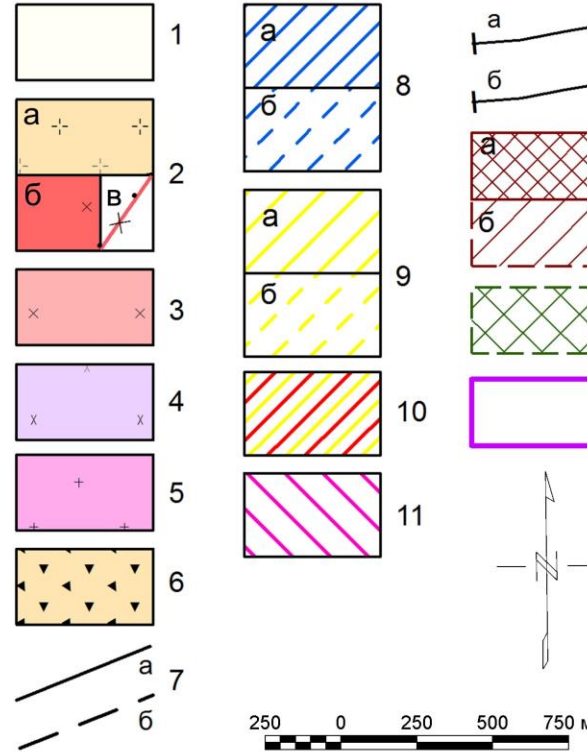
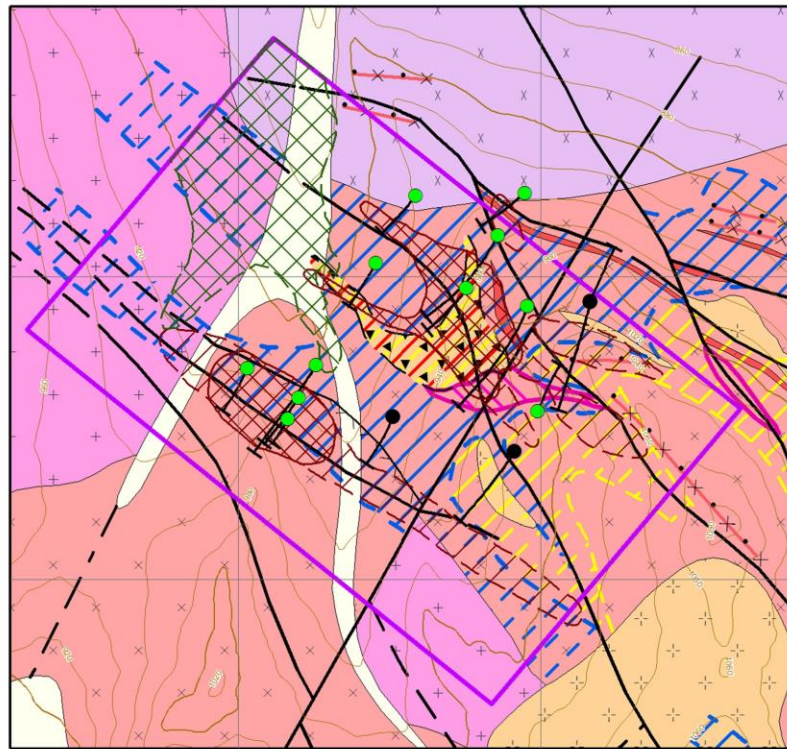
(по материалам работ «ВИРГ-Рудгеофизика» 2000 г.)



Геологический разрез месторождения Лобаш-1 по профилю 1 (по материалам Карельской геологической экспедиции)

1 - четвертичные рыхлые отложения; 2 - нижний протерозой, карельский комплекс, сумийский надгоризонт: терригенно-осадочные сланцы; 3-6 - верхний архей, лопийский комплекс, пезозерская серия: 3 -метавулканы основного состава; 4 - они же рассланцованные; 5 - метавулканы среднего состава рассланцованные; 6 - метавулканы умеренно-кислого состава неяснопорфировой структуры; 7 - позднеархейский интрузивный гранитоидный комплекс: плагиограниты, гранодиориты; 8 - геологические границы: а - разновозрастных образований, установленные, б - предполагаемые, в -структурно -стратиграфических несогласий; 9 - продуктивные на золото минерализованные сульфидно-кварцевые зоны.

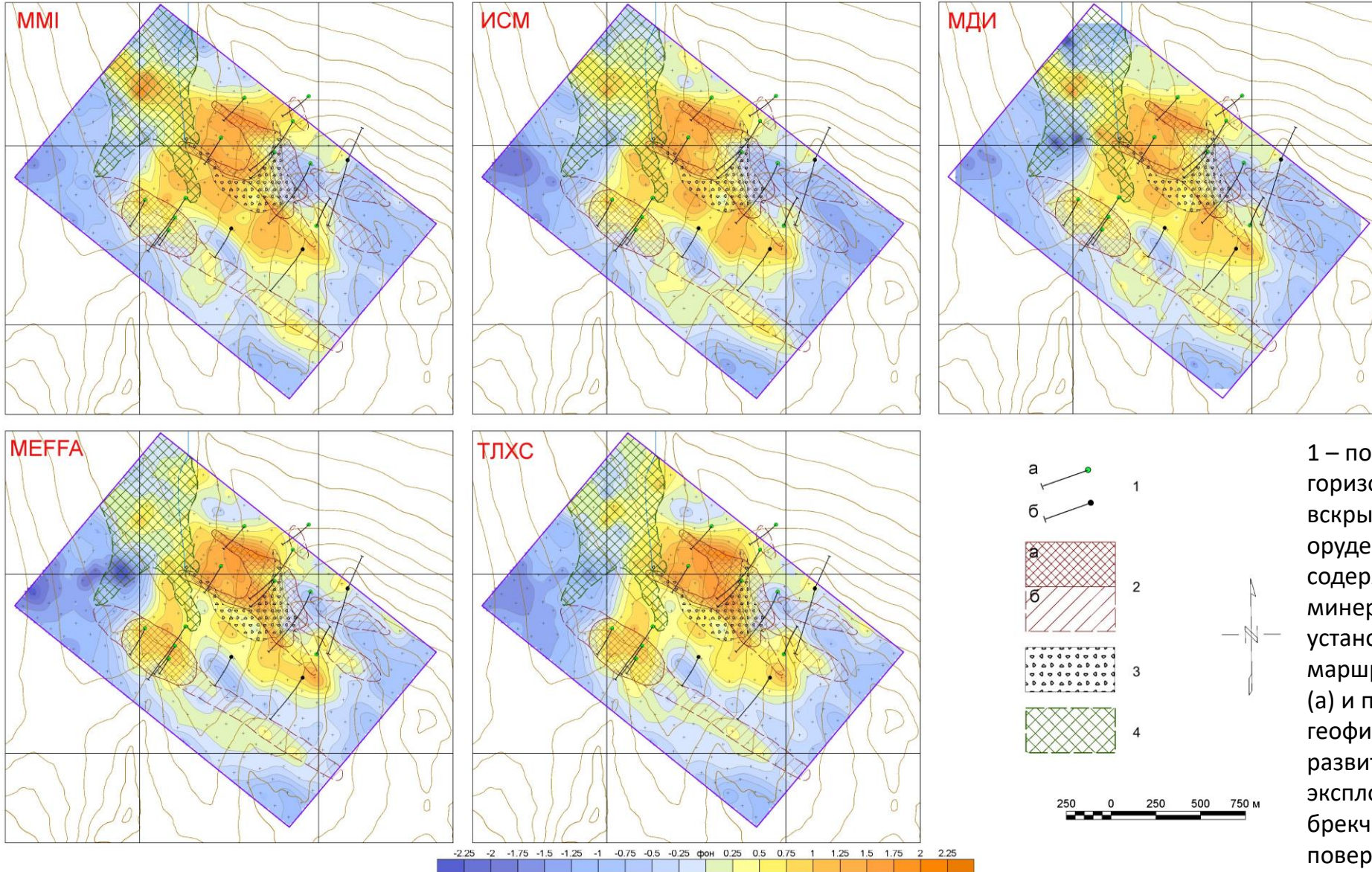
Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья



На участке с сочетанием благоприятных (преобладают) и неблагоприятных условий проведения геохимических поисков по вторичным ореолам и наличием золото-молибден-медно-порфирового оруденения проведены опытно-методические геохимические работы с использованием пяти методов: ММІ, ИСМ, МДИ, МЕФФА, типовая литохимическая съемка по вторичным ореолам (ТЛХС). Мощность рыхлого покрова в благоприятных условиях от 0,5-3 до 7-10 м. Неблагоприятные условия – заболоченная низина с мощностью рыхлого покрова >10 м.

Геологическое строение участка: 1 – четвертичные отложения; 2 – третья фаза шахтаминского комплекса: а – лейкократовые граниты, б – гранит-аплиты, в – дайки малой мощности; 3 – вторая фаза шахтаминского комплекса: гранодиориты; 4 – первая фаза шахтаминского комплекса: диориты; 5 – ундинский комплекс: граниты биотит-роговообманковые и гранодиориты; 6 – зона развития минерализованных эксплозивно-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 7 – тектонические нарушения: а – уверенно выделенные по геофизическим данным, б – предполагаемые; 8 – филлизитизация: а – установленная, б – предполагаемая; 9 – аргиллизация: а – установленная, б – предполагаемая; 10 – калишпатовая аргиллизация; 11 – фельдшпатизация; 12 – поисковые скважины с горизонтальными проложениями: а – вскрывшие, б – не вскрывшие оруденение с промышленными содержаниями; 13 – рудоносные минерализованные зоны: а – установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам, б – предполагаемые по геофизическим данным; 14 – закрытая территория; 15 – участок ОМГХР.

Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья

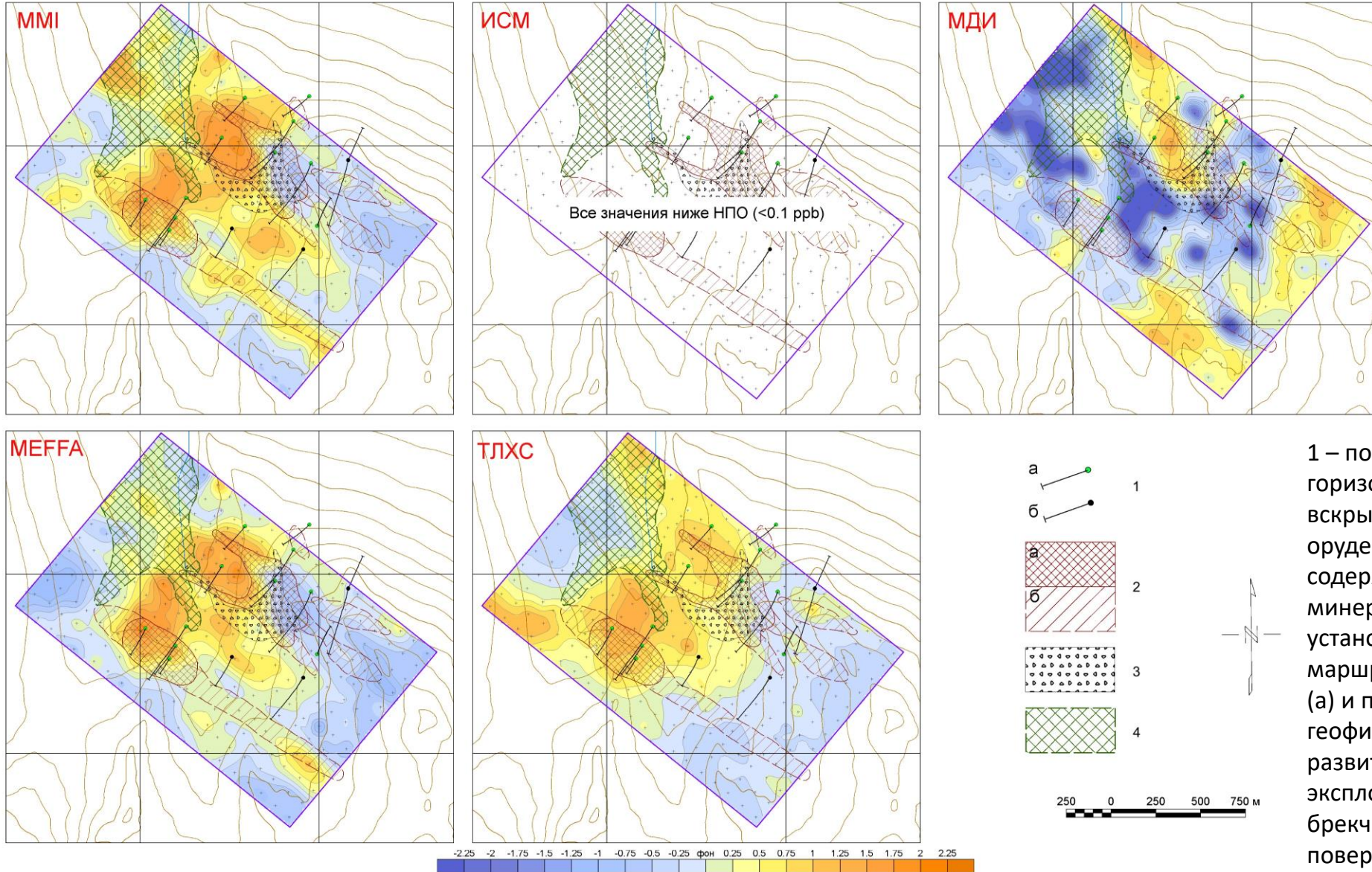


Сu

**нормированные
содержания u(C)
(значения
показателей
контрастности)**

1 – поисковые скважины с горизонтальными проложениями, вскрывшие (а) и не вскрывшие (б) руденение с промышленными содержаниями; 2 – рудоносные минерализованные зоны, установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам (а) и предполагаемые по геофизическим данным (б); 3 – зона развития минерализованных эксплозивно-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 4 – закрытая территория

Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья

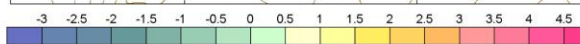
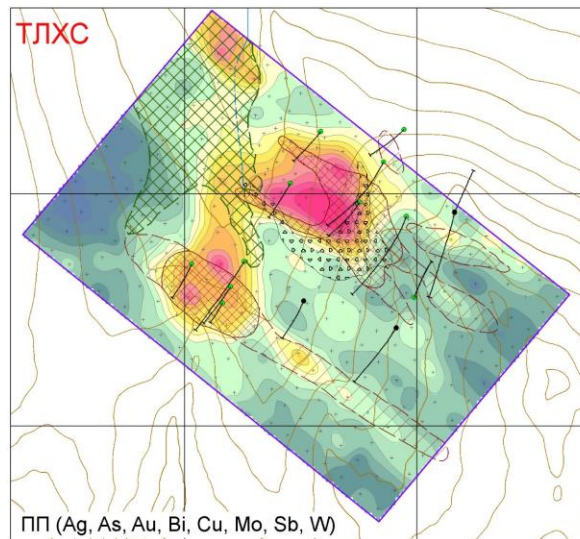
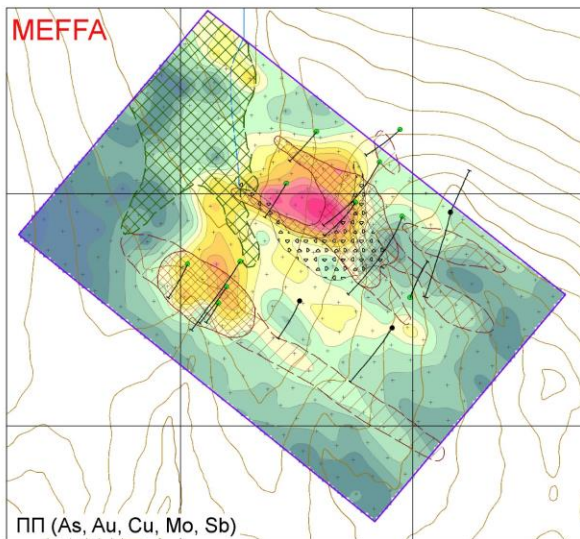
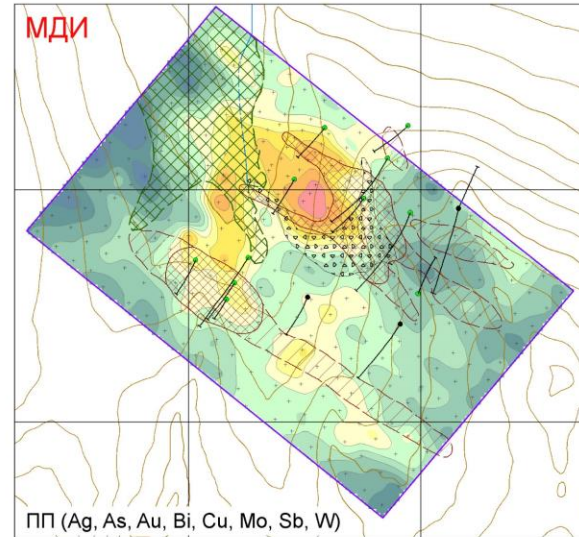
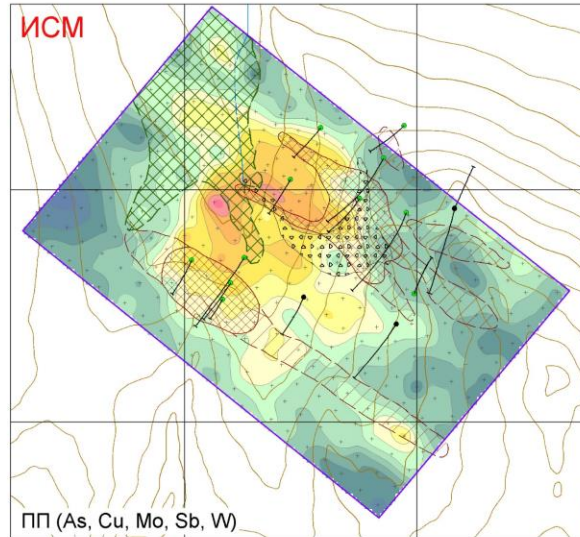
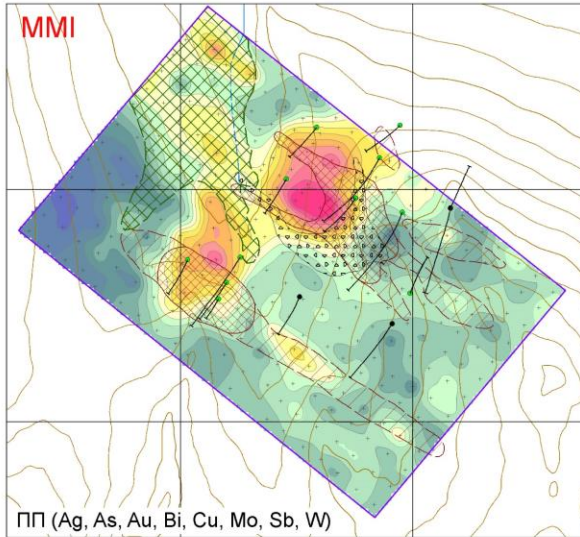


Au

**нормированные
содержания $u(C)$
(значения
показателей
контрастности)**

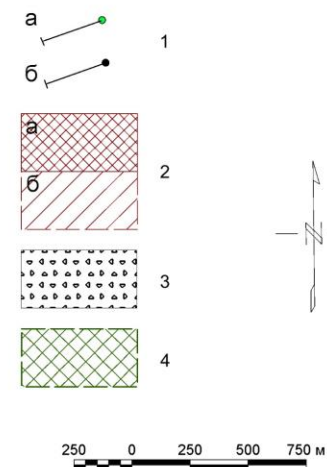
1 – поисковые скважины с горизонтальными проложениями, вскрывшие (а) и не вскрывшие (б) руденение с промышленными содержаниями; 2 – рудоносные минерализованные зоны, установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам (а) и предполагаемые по геофизическим данным (б); 3 – зона развития минерализованных взрыво-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 4 – закрытая территория

Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья



ПП
(Ag, As, Au, Bi, Cu, Mo, Sb, W)

**значения
полиэлементных
показателей
контрастности**



1 — поисковые скважины с горизонтальными проложениями, вскрывшие (а) и не вскрывшие (б) руденение с промышленными содержаниями; 2 — рудоносные минерализованные зоны, установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам (а) и предполагаемые по геофизическим данным (б); 3 — зона развития минерализованных эксплозивно-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 4 — закрытая территория

Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья

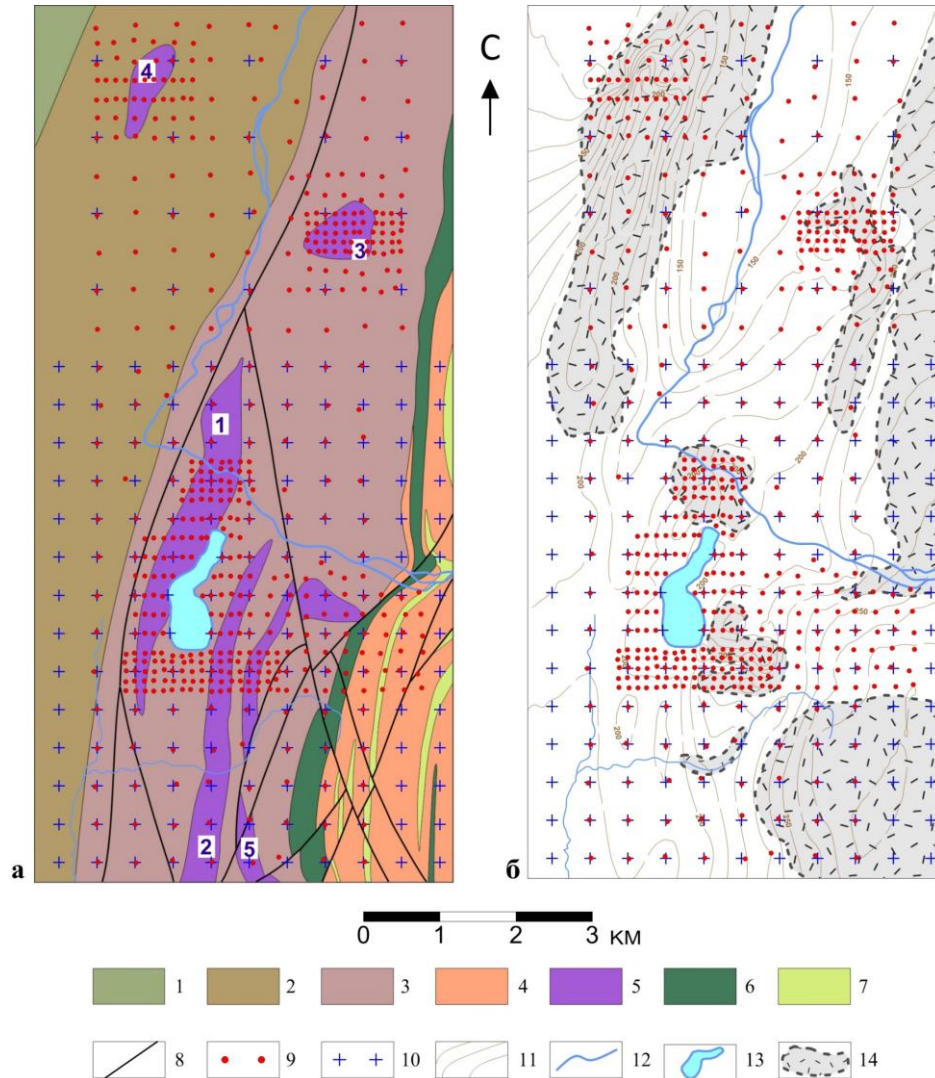
В условиях данного участка, преобладающая часть которого характеризуется сочетанием открытых и полузакрытых территорий с преимущественным развитием элювиально-делювиальных рыхлых отложений незначительной мощности, т.е. благоприятных условий для проведения литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния, все четыре апробированных метода (ММІ, ИСМ, МДИ и МЕФФА) показали результаты, сходные с результатами стандартного метода литохимических поисков по вторичным ореолам (ТЛХС).

Тем не менее, следует отметить, что наилучшие результаты в данных условиях показали метод ТЛХС с прецизионным анализом на широкий круг элементов и метод ММІ, позволяющие уверенно выявлять вторичные ореолы рассеяния Си, Мо, Аи, Аг и других элементов – индикаторов золото-молибден-медно-порфирового оруденения.

Наиболее информативными в плане выделения зон минерализации оказались геохимические карты, построенные не по исходным, а по стандартизованным содержаниям элементов с учетом ландшафтных особенностей участка – с разделением площади работ на открытые-полузакрытые и закрытые территории, а совокупности геохимических данных – на две соответствующие выборки.



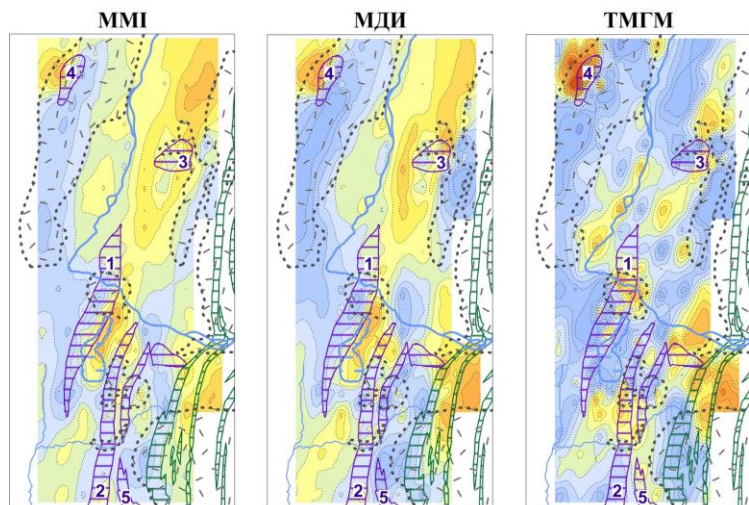
Эффективность различных геохимических методов поисков по вторичным ореолам при выявлении платиноидно-медно-никелевого оруденения в ландшафтно-геологических условиях Норильского региона



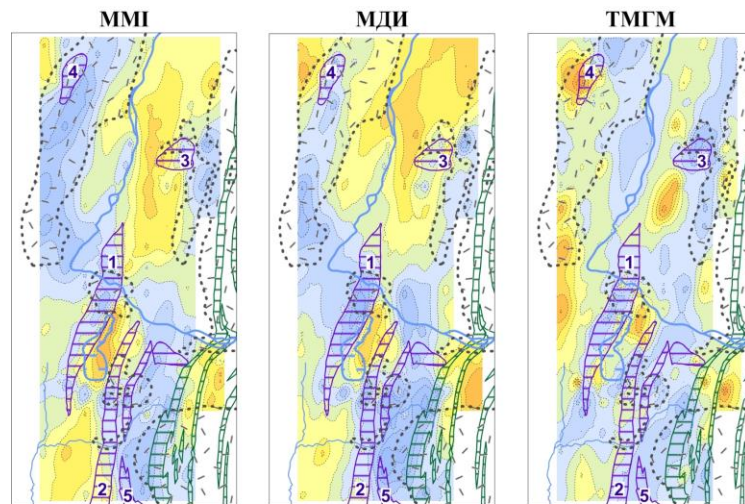
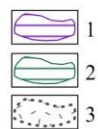
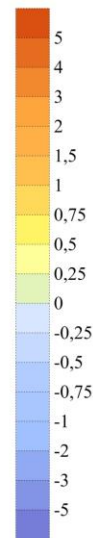
Получены результаты опытно-методических геохимических работ с использованием пяти методов: ММИ, МДИ, ТМГМ, МЕФФА, ТЛХС и МАСФ (предшествующие работы по более редкой сети), выполненных на участке с базитовыми интрузиями, которые перекрыты дальнеприносными рыхлыми отложениями и вмещают платиноидно-медно-никелевое оруденение. Согласно геологической документации по нескольким десяткам скважин, мощность рыхлого покрова изменяется от 2 до 92 м, причем преобладают мощности от 5 до 10 м (31%) и от 20 до 50 м (38% скважин).

Геологическое строение и ландшафтные условия участка
 а – схематическая геологическая карта, б – карта районирования по ландшафтным условиям проведения геохимических поисков.
 1–4 – стратифицированные комплексы: 1–3 – ордовикско-девонский ($O_1 - D_3$) сульфатно-терригенно-карбонатный (1 – ордовикские, 2 – силурийские, 3 – девонские отложения), 4 – каменноугольно-позднепермский ($C_1 - P_2$) терригенно-сероцветный угленосный; 5, 6, 7 – интрузивные комплексы: 5 – норильский (T_1), 6 – оганерский (T_1), 7 – ергалахский (P_2); 8 – тектонические нарушения; 9, 10 – точки отбора литохимических проб рыхлых отложений: 9 – методами ОМГХР, 10 – методом МАСФ (предшествующие работы); 11 – изогипсы рельефа; 12 – водотоки; 13 – озеро; 14 – полузакрытые территории (остальная площадь относится к закрытым территориям).

Эффективность различных геохимических методов поисков по вторичным ореолам при выявлении платиноидно-медно-никелевого оруденения в ландшафтно-геологических условиях Норильского региона

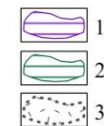
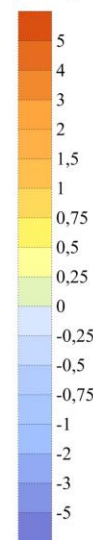


Cu
u(C)
Нормированные
содержания,
усл. ед.

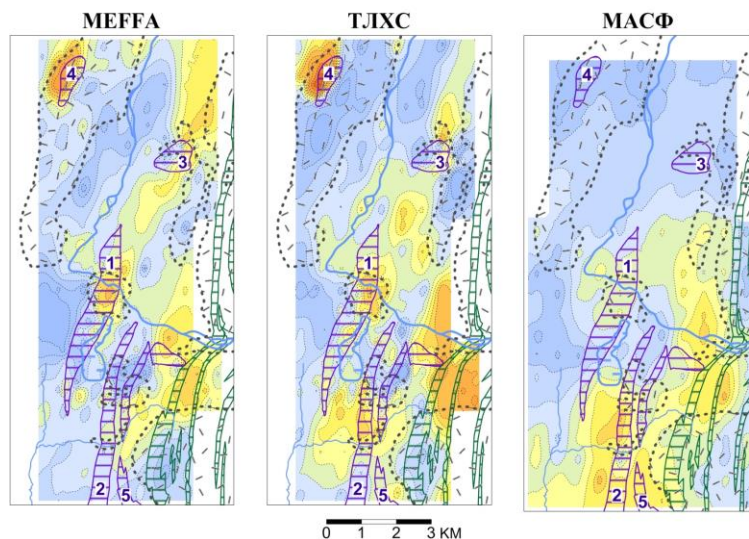


Ni

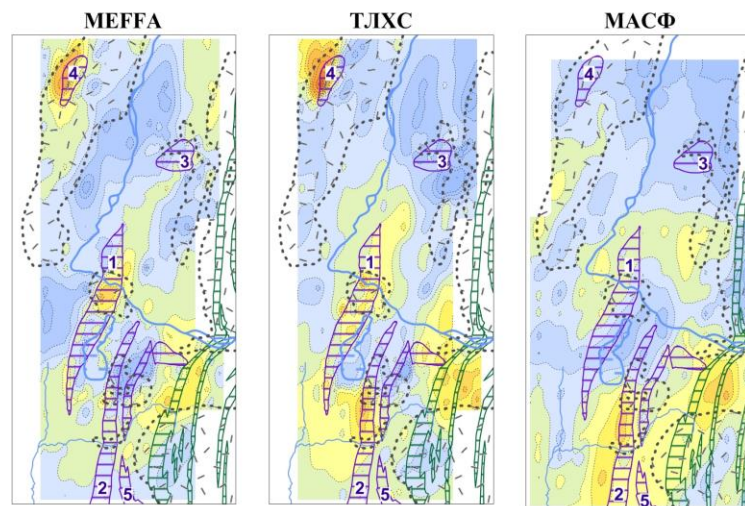
u(C)
Нормированные
содержания,
усл. ед.



1, 2 – интрузии:
1 – рудоносного
норильского
комплекса, 2 –
нерудоносных
оганерского и
ергалахского
комплексов;
3 – полу-
закрытые
территории
(остальная
площадь
относится к
закрытым
территориям)

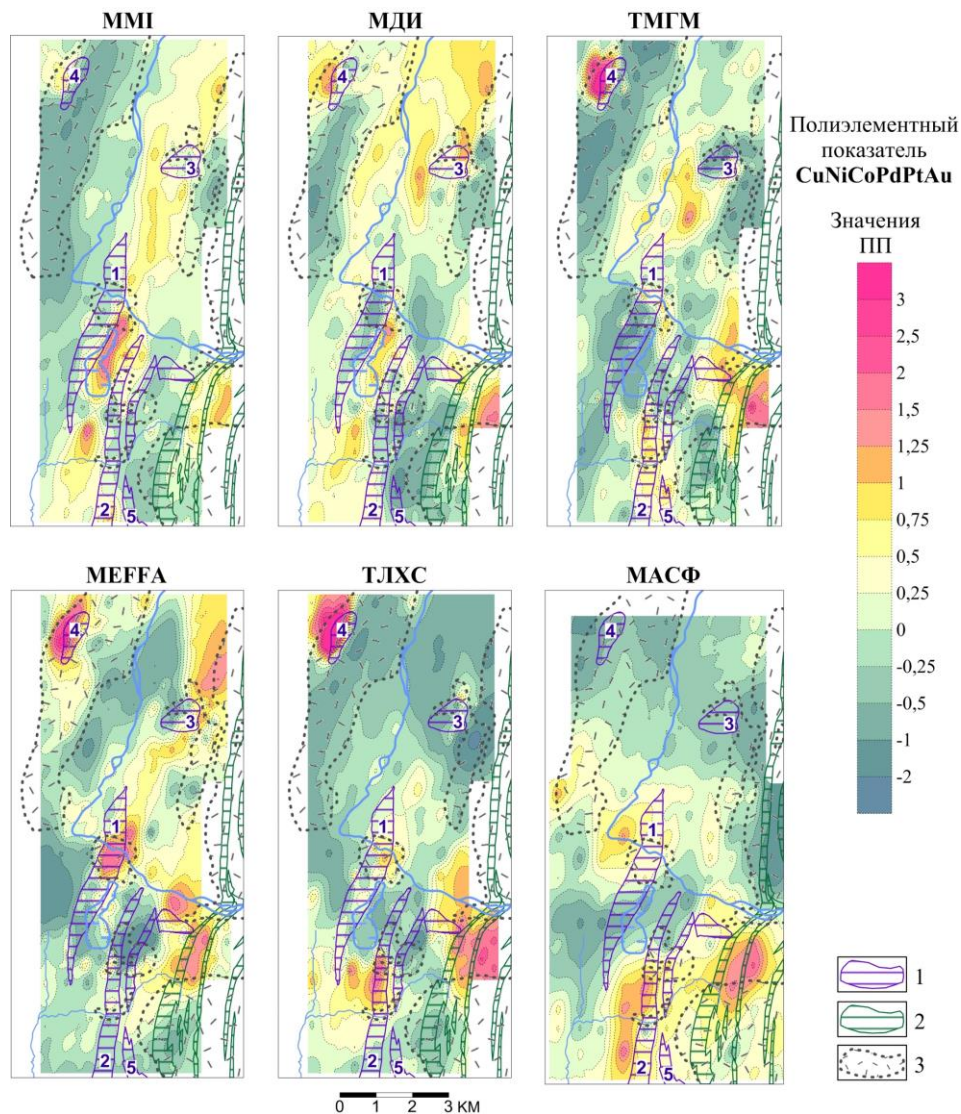


0 1 2 3 км



0 1 2 3 км

Эффективность различных геохимических методов поисков по вторичным ореолам при выявлении платиноидно-медно-никелевого оруденения в ландшафтно-геологических условиях Норильского региона



ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Все пять методов геохимических поисков (ММИ, МДИ, ТМГМ, МЕФФА и ТЛХС) выявили вторичные ореолы рассеяния, источником которых является платиноидно-медно-никелевое оруденение в интрузиях норильского комплекса. Однако почти все АГХП, связанные с этими интрузиями, представляют собой **не сплошные аномалии, а совокупности сближенных локальных аномалий, которые проявляются в разных местах с разной степенью контрастности вплоть до отсутствия аномалий над некоторыми частями коренных источников («пятнистые» или «мозаичные» АГХП).**
2. ТЛХС, а также ТМГМ и МЕФФА – специальные методы поисков по относительно менее подвижным формам нахождения элементов – **успешнее выявляют вторичные ореолы на полузакрытых территориях** данного участка с присутствующей там существенной долей остаточной составляющей вторичных ореолов рассеяния.

Эффективность различных геохимических методов поисков по вторичным ореолам при выявлении платиноидно-медно-никелевого оруденения в ландшафтно-геологических условиях Норильского региона

3. **ММИ и МДИ** – специальные методы поисков по наиболее подвижным формам нахождения элементов – **примерно с одинаковой успешностью выявляют вторичные ореолы как на полузакрытых, так и на закрытых территориях данного участка.** Однако в ряде случаев **аномалии расширяются, растягиваются и смещаются от коренных источников в направлении понижений рельефа.** ММИ оценивается как более информативный метод, позволяющий выявлять более локальные и более контрастные аномалии.

4. **Аномалии элементов рудной ассоциации связаны не только с рудоносными, но и с нерудоносными интрузиями.** Для разделения аномалий нужно привлекать дополнительную информацию: геологическую и геофизическую.

5. В данных условиях развития чехла рыхлых отложений резко переменной, в целом повышенной мощности и сложного генезиса (ледникового, ледниково-водного, аллювиального, солюфлюкционного и др.) **невозможна надежная оценка прогнозных ресурсов по продуктивностям рудогенных АГХП с наложенными вторичными ореолами рассеяния.**

6. Результаты, полученные разными методами, взаимно дополняют друг друга. По этой причине в данных или аналогичных ландшафтно-геологических условиях **желательно применять комплекс из двух методов, один из которых использует самые подвижные формы нахождения индикаторных элементов, а второй – менее подвижные формы: (ТЛХС или МЕФФА или МАСФ) + (ММИ или МДИ).**

Методы геохимических поисков по наложенным вторичным ореолам способны дать важную поисковую информацию о скрытых рудных объектах, но обрабатывать и интерпретировать их результаты надо вдумчиво, принимая во внимание местные геолого-ландшафтные условия!



Благодарю за внимание!