



ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А. П. КАРПИНСКОГО



ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по производству
региональных геохимических работ

Санкт-Петербург
2025 г.

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А. П. КАРПИНСКОГО

Практическое пособие по производству региональных геохимических работ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Издательство ФГБУ «Институт Карпинского»
2025

УДК 550.84:528(1/9)(083.132)

ББК 26.347я81

П69

Авторы

С. В. Соколов, А. Г. Марченко, Ю. В. Макарова, Г. А. Олейникова, В. В. Шолохнев

Редакционная коллегия

П. В. Химченко, М. А. Ткаченко, М. А. Шишкин, С. С. Шевченко
(Институт Карпинского); *А. В. Тарасов* (Роснедра); *Ю. Н. Николаев* (МГУ);
И. Г. Спиридонов, В. А. Килипко (ИМГРЭ)

Одобрено на совместном заседании

Геологической и Геохимической секций НРС Роснедра
(протокол № 51 от 04.12.2024 г.)

Практическое пособие по производству региональных геохимических работ /
П69 С. В. Соколов, А. Г. Марченко, Ю. В. Макарова, Г. А. Олейникова, В. В. Шолохнев. – Санкт-Петербург : Изд-во ФГБУ «Институт Карпинского», 2025. – 168 с. : ил. + 5 вкл.

ISBN 978-5-93761-882-5

В издании отражены новые методические и технологические разработки и прикладные результаты ГХР последних десятилетий, а именно: технология проведения полевых работ в типовых ландшафтных обстановках территории России, включающая методы геохимических съемок на открытых и закрытых территориях, рациональные плотности и сети опробования, рекомендации по производству химико-аналитических работ, по технологии обработки и интерпретации прогнозно-геохимической информации, в том числе способы оценки прогнозных ресурсов рудных объектов. Пособие состоит из общей части, в которой приведены основные понятия, охарактеризованы объекты геохимического картирования и методы производства геохимических работ в типовых геолого-ландшафтных обстановках территории России, и методической части, содержащей рекомендации по методикам и технологиям проведения ГХР масштаба 1 : 200 000 (1 : 50 000). В текстовых, табличных и графических приложениях содержатся подробные описания и примеры реализации ряда методик и технологий ГХР, справочные и иллюстративные графические материалы.

Пособие предназначено для практического использования геологами и геохимиками при производстве региональных ГХР, в том числе в качестве рекомендательного документа при создании геохимических основ Госгеолкарты-200/2 с введением его в перечень документов, используемых в качестве оценочных параметров, а также при проведении прогнозно-поисковых геохимических работ, в том числе при геолого-минералогическом картировании масштаба 1 : 50 000 (ГМК-50).

УДК 550.84:528(1/9)(083.132)
ББК 26.347я81

ISBN 978-5-93761-882-5

© Роснедра, 2025
© ФГБУ «Институт Карпинского», 2025
© Коллектив авторов, 2025
© Оформление. Издательство ФГБУ «Институт Карпинского», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения и основные показатели	5
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ	
1.1. Основные понятия и объекты геохимического картирования	13
1.2. Геохимические работы в типовых геолого-ландшафтных обстановках территории Российской Федерации	18
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ МАСШТАБА 1 : 200 000, 1 : 50 000	
2.1. Общие положения	25
2.2. Проектирование и подготовительные работы	26
2.3. Полевые работы	28
2.3.1. Геохимические работы масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000	28
2.3.1.1. Общие положения	28
2.3.1.2. Литохимическое опробование по потокам и вторичным ореолам рассеяния на открытых территориях	31
2.3.1.3. Литохимическое опробование по вторичным ореолам и потокам рассеяния на закрытых и полужакрытых территориях	36
2.3.1.4. Отбор проб, полевая документация и пробоподготовка	37
2.3.1.5. Литохимическое опробование коренных пород	41
2.3.1.6. Гидро-, атмо- и биогеохимические методы	42
2.3.2. Геохимические работы масштаба 1 : 50 000 при ГХР-200, ГДП-200, ГМК-50	43
2.3.3. Опытнo-методические работы	45
2.4. Лабораторные работы	49
2.5. Камеральные работы	52
2.5.1. Обработка и интерпретация данных литохимических съемок по потокам и вторичным ореолам	52
2.5.1.1. Первичная обработка аналитических данных	53
2.5.1.2. Выделение аномалий химических элементов и аномальных геохимических полей	60
2.5.1.3. Определение формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов	64
2.5.1.4. Оценка прогнозных ресурсов и ресурсного потенциала АГХП	66
2.5.2. Интерпретация данных опробования коренных пород	76
2.5.3. Прогнозно-геохимическая оценка площадей	79
2.5.4. Рекомендации по составлению карт	83
2.5.4.1. Дополнительные карты к ГХО-200	83
2.5.4.2. Карты по результатам ГХР-50	86
ЛИТЕРАТУРА	88
3. ТЕКСТОВЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
3.1. Примеры определения значений коэффициентов соответствия продуктивностей коренного оруденения, вторичных ореолов и потоков рассеяния	97
3.2. Примеры оценки эффективности различных сетей опробования по вторичным рассеяния	101
3.3. Пример коррекции систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб	104
3.4. Пример коррекции расхождений средних уровней и дисперсии содержаний элементов между результатами различных серий анализа проб	107
3.5. Выделение разноранговых ореолов по признаку квантования содержаний рудных элементов	111

3.6. Пример оценки доли балансовых руд α при детализационных работах или по ретроспективным данным	114
4. ТАБЛИЧНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
4.1. Средние содержания химических элементов в литосфере и горных породах	119
4.2. Рекомендуемая форма журнала опробования рыхлых отложений при ГХР по потокам рассеяния	122
Характеристика проб и элементарных ландшафтов при площадных ГХР по потокам рассеяния	123
4.3. Рекомендуемая форма журнала опробования рыхлых отложений при площадных ГХР по вторичным ореолам рассеяния	124
Характеристика проб и элементарных ландшафтов при площадных ГХР по вторичным ореолам рассеяния	125
4.4. Аналитические методы определения содержаний химических элементов в литохимических пробах и пределы их обнаружения (г/т)	126
4.5. Характеристика химического состава рудных месторождений различной формационной принадлежности	130
4.6. Пример выделения обобщенных минералого-геохимических характеристик золото-углеродистой (черносланцевой) формации золото-платинометалльно-пирит-арсенопиритового типа	вкл.
4.7. Геохимическая систематизация золото-, серебросодержащих проявлений	вкл.
4.8. Геолого-геохимическая характеристика некоторых платиносодержащих месторождений и рудопоявлений	вкл.
4.9. Характеристика геохимического спектра потоков рассеяния некоторых типов месторождений (на примере Дальнего Востока)	139
4.10. Идентификация золото-, серебросодержащих проявлений по данным опробования коренных пород	вкл.
4.11. Параметры условного среднестатистического месторождения металлических полезных ископаемых	141
4.12. Оценка прогнозных ресурсов золота по потокам рассеяния на примере Малохинганской площади	143
4.13. Размерность месторождений полезных ископаемых	144
4.14. Содержание, технология выделения и границы применения структурных и концентрационных признаков рудогенных систем	146
4.15. Классы генетически родственных элементов и их структурная позиция в рудогенных системах	149
4.16. Ряды осевой зональности элементов рудных месторождений	150
4.17. Рекомендуемые методы геохимических съемок в зависимости от ландшафтных условий проведения работ	151
5. ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	
5.1. Фрагмент проектной карты опробования площади листа О-52-XXVI (Южная Якутия)	155
5.2. Фрагмент карты центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала (делювия, коллювия или пролювия) на площади листа О-52-XXVI (Южная Якутия)	156
5.3. Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ЦБ элементов вида $Co \times Mn \times Ba \times Ni \times Pt$ площади листов Q-35-XII, XVIII (Карело-Кольский регион)	157
5.4. Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ЦС элементов вида $Au \times Hg \times As \times Ag \times Bi$ площади листов Q-35-XII, XVIII (Карело-Кольский регион)	158
5.5. Фрагмент карты ореолов золота площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО)	159
5.6. Фрагмент карты ореолов сурьмы площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО)	160
5.7. Фрагмент карты ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов) ранга РП площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО)	161
5.8. Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ЦБ элементов вида $Co \times Ni \times Cr \times V \times Zn$ площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО)	162
5.9. Фрагмент геохимической основы прогноза площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО)	163
5.10. Фрагмент прогнозно-геохимической карты площади листов М-52-XXXV, XXXVI (Еврейская АО). Авторский вариант	164
Схема прогноза полезных ископаемых	165
Потенциально рудоносные геологические образования	166
5.11. Потоки рассеяния золота по результатам ГХР-200 (западная часть Амурской области)	168
5.12. Прогнозно-геохимическая карта. Шаманихо-Столбовская площадь. Участок Тимша. Масштаб 1 : 25 000 (Магаданская область)	вкл.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

АГХП – аномальное геохимическое поле
АГХС – аномальная геохимическая система
АГХУ – аномальный геохимический узел
БД – база данных
БПЛА – беспилотный летательный аппарат
ГДП – геологическое доизучение площадей
ГЗМИ – метод геокосмического зондирования минералов-индикаторов метасоматически измененных пород и ареалов распространения рудных минералов
ГЗНА – метод геокосмического зондирования нанохимических аномалий
ГИС – геоинформационная система
ГК-200, -1000 – Госгеолкарта масштабов 1 : 200 000, 1 : 1 000 000
ГК – геологический комплекс
ГКЗ – метод геокосмического зондирования Земли (синоним ГЗНА)
ГМК – геолого-минералогическое картирование
ГМО – гидротермально-метасоматические образования
ГМС – гидротермально-метасоматическая система
ГРР – геологоразведочные работы
ГСР – геологосъемочные работы
ГХО – геохимическая основа
ГХР – геохимические работы
ГХР-1000 – геохимические работы масштаба 1 : 1 000 000
ГХР-200 – геохимические работы масштаба 1 : 200 000
ГХР-50 – геохимические работы масштаба 1 : 50 000
К – кларк элемента
ЛГК – ландшафтные главные компоненты
МАПФ – метод анализа подвижных форм
МАСФ – метод анализа сверхтонкой фракции
МАСФ ПР – метод анализа сверхтонкой фракции по потокам рассеяния
МГХК – многоцелевое геохимическое картирование
МДИ – метод диффузионного извлечения элементов
МПИ – месторождения полезных ископаемых
МПФ – метод металлоорганических почвенных форм
МЦТ – морфоструктуры центрального типа
НПО – нижний предел обнаружения
ОМР – опытно-методические работы
ПИ – полезное ископаемое
ПКСА – приближенно-количественный (полуколичественный) спектральный анализ
ПП – полиэлементный показатель
ПРФА – портативный рентгенофлуоресцентный анализатор
РГЗ – расширенное геологическое задание
РМ – рудное месторождение
РР – рудный район
РС – рудогенная система
РТ – рудное тело
РП – рудное поле
РУ – рудный узел
ТЗ – техническое задание
ТЛС – тиллевая литохимическая съемка
ТМГМ – термомагнитный геохимический метод
ЦБ – центробежные элементы
ЦС – центроостремительные элементы
ЧИМ – метод частичного извлечения металлов
AAS – атомно-абсорбционный анализ
GEOGAS – «Геогаз» – метод поисков по наноразмерным металлам в земных газах
ICP-AES – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой
ICP-MS – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой

LA/ICP-MS – анализ содержаний элементов с использованием лазерной абляции с ICP-MS анализатором

MMI – Mobile Metal Ions – метод поисков по мобильным ионам в рыхлом покрове

MEFFA – Multi-Element Fine Fraction Analysis – метод поисков, использующий мультиэлементный анализ тонкой фракции

MOMEО – MOBILE forms of METals in Overburden – метод поисков по мобильным формам металлов в рыхлом покрове

NAMEG – NANOScale METals in EarthGas – метод поисков по наноразмерным металлам в земных газах (синоним GEOGAS)

XRF – рентгенофлуоресцентный анализ

K_z – коэффициент зональности

$K_{рд}^I$ – коэффициент суммарной рудоносности в десятичной шкале запасов

K_K – кларк концентрации элемента (отношение содержания элемента к кларку)

KK – коэффициент концентрации элемента (отношение содержания элемента к среднему фоновому содержанию)

KK_A – аномальный коэффициент концентрации

K_{Kmax} – максимальный кларк концентрации элемента для АГХП конкретного ранга

K_{Kmin} – минимальный кларк концентрации элемента для АГХП конкретного ранга

K_p – межинтервальная кратность гистограммы

$K_{рд}$ – коэффициент суммарной рудоносности

$K_{ЦС}$ – мультипликативный показатель центростремительных элементов

$K_{ЦБ}$ – мультипликативный показатель центробежных элементов

K_I – коэффициент интенсивности

M – мощность геологического тела

$M_{рт}$ – мощность субгоризонтального рудного тела

P – вероятность события

T – значение аналитического тренда

$\bar{C}$ – среднее арифметическое значение содержаний

$\tilde{C}$ – среднее геометрическое значение содержаний

$\bar{C}_{рт}$ – среднерудное содержание по известным объектам

$C_{25\%}, C_{75\%}$ – содержания, соответствующие нижнему и верхнему квартилям распределения

C_i – содержание в i -й пробе

C_{ME} – медианное значение содержаний

$C_{Aотр}$ – отрицательно аномальное содержание, т. е. значение, ниже которого содержания элемента признаются отрицательными аномалиями (ореолами выноса)

C_{Amin} или C_A – минимально аномальное содержание элемента положительных аномалий (ореолов привноса)

$C_{борт}$ – бортовое содержание рудного элемента

$C_{ф}$ – среднефоновое значение содержаний (геохимический фон)

d – средневзвешенная объемная масса пород

G – градиент изменения содержаний

h – гипсометрический уровень

H – глубина распространения оруденения

H^K – протяженность на глубину контрольного объекта

$H_{полн}$ – предполагаемая полная протяженность оруденения на глубину без учета степени эрозии объекта

$H_{рт}$ – протяженность оруденения на глубину

$H^Э$ – протяженность на глубину эталонного объекта

I – количество интервалов гистограммы

k – коэффициент соответствия продуктивностей вторичного остаточного ореола и коренного оруденения (первичного литохимического ореола)

k' – коэффициент соответствия продуктивностей потока рассеяния и вторичного ореола

k'' – коэффициент соответствия продуктивностей вторичного наложенного ореола и вторичного остаточного ореола

k''' – коэффициент соответствия продуктивностей вторичного наложенного ореола и коренного оруденения (первичного ореола)

k^* – коэффициент соответствия продуктивностей потока рассеяния и коренного оруденения (первичного ореола)

L – протяженность по простиранию
 l – длина интервала опробования полотна канавы
 $M_{\text{во}}$ – линейная продуктивность вторичного ореола
 $M_{\text{по}}$ – линейная продуктивность первичного ореола
 $M_{\text{во}}^{\text{ист}}$ – скорректированная линейная продуктивность вторичного ореола
 $M_{\text{РТ}}$ – линейная продуктивность рудного тела
 N, n – количество наблюдений
 N_3 – количество проб со знаковыми содержаниями шлихового минерала
 N_B – количество проб с весовыми содержаниями шлихового минерала
 P – площадная продуктивность литохимической аномалии, выявленной при съемке по вторичным ореолам рассеяния
 P' – площадная продуктивность литохимической аномалии, выявленной при съемке по потокам рассеяния
 $P_{\text{гп}}$ – площадная продуктивность геологического образования, тела, сложенного конкретной горной породой
 $P_{\text{РТ}}$ – площадная продуктивность рудного тела
 $P_{\text{РТ}}^K$ – площадная продуктивность на уровне эрозионного среза рудных тел, соответствующая балансовым ресурсам главных компонентов прогнозируемого коренного оруденения
 $P_{\text{РТ}}^{\text{Э}}$ – площадная продуктивность литохимической аномалии ранга РТ эталонного объекта
 $\Delta P_{\text{РТ}}$ – доля ресурсов, сосредоточенных в рудном теле
 P_i^K – площадная продуктивность АГХП прогнозируемого объекта
 $\underline{\Delta P}_i$ – количество условного металла для конкретного уровня организации вещества
 $\bar{Q}_C$ – среднее по запасам условное месторождение
 $Q_{\text{ГХ}}$ – общие геохимические ресурсы
 Q – прогнозные ресурсы химического элемента / разведанные запасы известного рудного объекта
 $Q_{\min i}$ – минимально промышленные запасы i -го элемента
 $Q_{\text{гп}}$ – ресурсный потенциал геологического образования
 S – площадь аномалии (аномального геохимического поля)
 $S_{\text{вп}}$ – площадь вмещающих пород
 $S_{\text{РТ}}$ – площадь рудного тела (рудных тел месторождения)
 $S_{\text{РТ}}^K$ – площадь выхода рудного тела (тел) на эрозионную поверхность
 SS – показатель сульфидности оруденения
 ΔS_i – площадь, приходящаяся на i -ю точку опробования
 $S_{\text{ф}}$ – стандартное (среднеквадратическое) отклонение фоновых содержаний
 $S_{\text{сист}}$ – среднее относительное систематическое расхождение результатов (систематическая погрешность) геохимического опробования
 $S_{\text{случ}}$ – средняя относительная случайная погрешность геохимического опробования
 $\Delta_{\text{сист}}$ – среднее систематическое расхождение (систематическая погрешность) логарифмов содержаний элемента
 $\Delta_{\text{случ}}$ – средняя случайная погрешность (случайное расхождение) логарифмов содержаний элемента
 u – нормированное (стандартизованное по фоновым параметрам) содержание элемента
 $V_{\text{РТ}}$ – объем рудной залежи
 W_i – частота встречаемости характеристики в i -м интервале
 Z – показатель уровня эрозионного среза прогнозируемого оруденения
 α – доля балансовых руд (доля ресурсов рудного элемента, сосредоточенных в промышленных рудах, в общих геохимических ресурсах этого элемента в рассматриваемом объекте)
 $\bar{\alpha}_i$ – усредненная доля балансовых руд в АГХС i -го ранга
 α_M – доля балансовых руд, оцененная по результатам опробования полотна канавы
 $\epsilon_{\text{ф}}$ – стандартный множитель фоновых содержаний
 χ – коэффициент линейного подобия

ВВЕДЕНИЕ

Региональное геологическое изучение недр Российской Федерации включает в себя функционально связанный комплекс площадных и профильных работ общегеологического и специального назначения, в том числе геохимических работ (ГХР). Площадные работы в соответствии с «Положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)», утвержденным распоряжением Министерства природных ресурсов Российской Федерации 05.07.1999 № 83-р, проводятся в следующих масштабах:

- 1 : 1 500 000 и мельче – сводное и обзорное картографирование;
- 1 : 1 000 000 (1 : 500 000) – мелкомасштабное картографирование;
- 1 : 200 000 (1 : 100 000) – среднемасштабное картографирование;
- 1 : 50 000 (1 : 25 000) – крупномасштабное картографирование.

Настоящее пособие содержит методические рекомендации по проведению средне- и крупномасштабных региональных геохимических работ (масштабы 1 : 200 000 – 1 : 50 000).

Региональные геохимические работы масштаба 1 : 200 000 (ГХР-200), которые проводятся в настоящее время на территории России, нацелены главным образом на создание геохимических основ (ГХО) государственных геологических карт России масштаба 1 : 200 000 нового поколения (Госгеолкарты-200/2). Эти работы проводятся с целью повышения достоверности, информативности и прогностических свойств комплектов Госгеолкарт.

Региональные геохимические работы масштаба 1 : 50 000 (ГХР-50) имеют главным образом поисковую направленность и проводятся в составе ГХР-200, ГДП-200, а также в рамках геолого-минералогического картирования масштаба 1 : 50 000 (ГМК-50).

Нормативным документом, регламентирующим работы по созданию геохимических основ масштаба 1 : 200 000 (ГХО-200), являются Требования к содержанию и оформлению материалов геохимических основ масштаба 1 : 200 000 Госгеолкарты-200/2 [2021], рекомендованные Научно-редакционным советом по геологическому картографированию Роснедр в качестве оценочного параметра и обязательного документа для всех организаций и предприятий, проводящих ГХР на территории России по созданию ГХО-200. Этот документ определяет конкретные требования к составу, содержанию и форматам представления отчетных материалов ГХО-200 и содержит краткие, но недостаточные для практического использования описания некоторых методик проведения полевых и камеральных работ.

Нормативным документом, регламентирующим ГХР-50, является Практическое руководство по проведению геолого-минералогического картирования масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) [2025]. Этот документ содержит краткие сведения о методике полевых работ, в нем приводятся ссылки на документы, содержащие развернутые сведения о методике проведения полевых, лабораторных и камеральных работ.

До настоящего времени основным документом, регламентирующим методики проведения ГХР, остается Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений [1983]. Этот документ является инструкцией по проведению геохимических преимущественно поисковых работ и не рассматривает технологию создания геохимических основ (ГХО) государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000, поскольку на момент введения этой инструкции в действие такая задача не ставилась. То же самое относится и к дополняющим инструкцию Справочнику по геохимическим поискам полезных ископаемых [1990], Методическим рекомендациям по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния [1992] и вторичным ореолам рассеяния [1993]. Кроме того, указанные руководства по ряду позиций устарели и не соответствуют современному уровню развития теории и практики ГХР [Соколов, Шевченко и др., 2019]. В них не учитываются новые разработки последних десятилетий в области прогнозно-поисковой геохимии, в том числе структурные геохимические

критерии прогноза, усовершенствованные методики оценки прогнозных ресурсов рудогенных систем старших рангов, новые технологии геохимических поисков на закрытых территориях, количественные инструментальные методы анализа, вошедшие в практику ГХР за последние 30 лет.

В решении Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности разномасштабных геохимических работ при геологическом изучении недр», состоявшейся в конце 2022 г., отмечено недостаточное использование новых методов и технологий ГХР, а также отсутствие современных методических рекомендаций по геохимическим работам регионального масштаба, в том числе на закрытых территориях. Недостаточное на сегодня методическое и лабораторно-аналитическое обеспечение ГХР на фоне имеющих место не вполне профессиональных подходов к прогнозно-геохимическим построениям нередко приводит к неэффективному расходованию средств на заверку многочисленных, нередко контрастных аномалий непромышленной рассеянной минерализации, к дискредитации геохимических методов прогноза и поисков, а в итоге, к весьма обоснованному скептицизму многих геологов-поисковиков к прогнозным геохимическим оценкам.

Настоящее практическое пособие призвано заполнить существующий пробел в методической литературе по проведению региональных и поисковых ГХР. Пособие в части методики проведения ГХР-200 дополняет «Требования...» [2021], ранее составленные ФГБУ «ИМГРЭ». Указанные требования определяют, какие материалы ГХО должны быть получены в итоге работ и в какой форме представлены. Очевидно, что содержание и оформление картографических материалов геохимических основ должны быть унифицированы, что позволит создать единое картографическое поле на всю территорию Российской Федерации. В то же время методические аспекты производства региональных геохимических работ, по нашему мнению, не должны быть жестко задекларированы инструктивными документами, вплоть до того, «где и в какой последовательности ставить точки и запятые». Если дополнительные материалы и наработки, не прописанные в «Требованиях...» [2021], способствуют повышению качества и прогностических свойств геохимических основ, то они должны применяться.

Предлагаемое пособие призвано дать исполнителям конкретные методические рекомендации и практические советы, как и какими способами в тех или иных условиях проведения ГХР целесообразно получать, обрабатывать и интерпретировать геохимические данные, необходимые для формирования полноценных материалов ГХО-200 и ГХР-50.

В части производства ГХР-50 пособие дополняет «Практическое руководство...» [2025]. Оно содержит полные сведения о проектировании работ, о методике полевых работ, в том числе с применением специальных методов геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях, о методике интерпретации геохимической информации.

Целевое назначение данного пособия – повышение качества и эффективности прогноза месторождений полезных ископаемых при проведении региональных и поисковых геохимических работ на основе внедрения в практику новых методических, технологических разработок и прикладных результатов последних десятилетий.

При составлении пособия были учтены «Требования...» [2021], «Практическое руководство...» [2025], а также использованы актуальные положения следующих инструктивных и методических документов:

- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений [1983];
- Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния [1993];
- Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния [1992];
- Рекомендации по проведению геохимических работ в областях развития ледниковых образований [2005ф];
- Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях [2005];
- Указания по проведению опережающих геохимических работ по потокам рассеяния [2007ф];
- Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые по результатам региональных геолого-геофизических и геолого-геохимических работ [2018ф].

Авторы практического пособия выражают глубокую благодарность за ценные советы и конструктивные замечания канд. геол.-минерал. наук М. А. Шишкину (ФГБУ «Институт Карпинского»),

канд. геол.-минерал. наук Ю. Н. Николаеву (МГУ); канд. геол.-минерал. наук В. А. Килипко (ФГБУ «ИМГРЭ»), д-ру геол.-минерал. наук, проф. Е. Г. Пановой (СПбГУ); д-ру геол.-минерал. наук Р. Г. Кравцовой (ИГХ СО РАН); канд. геол.-минерал. наук С. А. Миляеву (ФГБУ «ЦНИГРИ»); канд. геол.-минерал. наук С. Г. Алексееву, канд. геол.-минерал. наук Н. П. Сенчиной (СПГУ); канд. геол.-минерал. наук В. О. Ильченко (ОАО ГМК «Норильский никель»); канд. геол.-минерал. наук М. В. Морозову (АО «Полиметалл УК»); Н. Г. Власову, Л. П. Курнику (УК «Петропавловск»); С. А. Володько (АО «Покровский рудник»); д-ру геол.-минерал. наук Д. Н. Ремизову (НПС Роснедра); Е. А. Лебедевой (ФГБУ «Институт Карпинского») и многим другим специалистам геолого-геохимического профиля.

Практическое пособие составлено с учетом многолетнего опыта авторов в проведении геохимических работ, на основе обобщения результатов геохимических исследований отечественных научно-исследовательских и производственных организаций (Институт Карпинского, ИМГРЭ, МГУ, СВКНИИ, ВИМС, СПГУ, СПбГУ, ЦНИГРИ, МГРИ, ДВИМС, ГМК «Норильский никель», группа компаний «Теллур» и др.). Приняты во внимание методические рекомендации, изложенные в «Инструкции по площадным геохимическим поисковым работам» [2023]. Пособие отражает не только позицию его авторов, но и, в определенной степени, точки зрения ведущих геохимиков ряда специализированных научно-исследовательских и производственных организаций, а также позитивный опыт проведения региональных геохимических работ за рубежом (Финляндия, Китай, США, Канада и др.) и поисковых геохимических работ, проводимых частными российскими и зарубежными горнодобывающими компаниями. По некоторым дискуссионным вопросам пособие отражает взгляды авторов, основанные на их научных разработках и практическом опыте проведения ГХР.

Пособие в части проведения ГХР масштаба 1 : 200 000 апробировано в шести институтах (ИГХ СО РАН, СПГУ, МГУ, СПбГУ, ЦНИГРИ, Институт Карпинского) и в трех крупных горнорудных компаниях (ГМК «Норильский никель», АО «Полиметалл», УК «Петропавловск»). Общий вывод экспертных заключений этих организаций: пособие заслуживает утверждения, опубликования и внедрения в практику ГХР. Последняя версия пособия отредактирована с учетом замечаний и предложений ИМГРЭ и НПС Роснедра.

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОБЪЕКТЫ ГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Закрытые или полузакрытые территории [Временные методические указания..., 2005] это:

- площади со сплошным или почти повсеместным развитием покровно-ледниковых отложений, включающих комплекс собственно ледниковых (моренных) и ледниково-водных (флювиогляциальных и лимногляциальных) образований, сформировавшихся в результате покровного оледенения;
- площади с широким или сплошным развитием дальнепринесенных рыхлых отложений различного генезиса (прибрежно-морских, эоловых и т. п.);
- площади, рыхлый покров на значительной части которых имеет двухъярусное или многоярусное строение, причем нижний ярус представлен остаточными элювиально-делювиальными образованиями, а верхний (верхние) – чуждыми коренному субстрату отложениями;
- участки элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных супераквальных ландшафтов с повышенной мощностью автохтонных и аллохтонных рыхлых отложений;
- площади, где развиты горно-таежные и горно-тундровые ландшафты слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий с повышенной мощностью автохтонных рыхлых образований.

К *открытым территориям* относятся ландшафты горных сооружений, обновленных или возрожденных новейшими блоковыми поднятиями и складчатыми деформациями, а также ландшафты горных массивов древних щитов и выступов складчатого основания платформ с преобладанием новейших сводовых и блоковых поднятий, перекрытые автохтонными рыхлыми отложениями элювиального или гравитационного склонового ряда незначительной мощностью (до первых метров).

Геолого-ландшафтный таксон – это совокупность пород, близких по времени образования, петрографическому составу, распределению микроэлементов и приуроченных к однотипной ландшафтной обстановке.

Рудогенная система (РС) – совокупность генетически или парагенетически связанных рудоносных или рудных формаций, ареал пространственного распространения которых приурочен, в зависимости от иерархического уровня РС, к структурно-формационной зоне, геологическому комплексу, локальной геологической структуре или ее части. По площадным параметрам выделяются РС ранга рудной провинции ($n \times 10^5$ км²), области ($n \times 10^4$ км²), района ($n \times 10^3$ км²), узла ($n \times 10^2$ км²), поля ($n \times 10^1$ км²), месторождения ($n \times 10^0$ км²), тела ($n \times 10^{-1}$ км² и меньше).

Гидротермально-метасоматическая система (ГМС) – разновидность РС, представляющая собой целостную совокупность зон проявления статистически устойчивых ассоциаций гидротермалитов, сформированных в результате поэтапного воздействия на первичные горные породы постмагматических, интрателлурических, метаморфических и диагенетических, преимущественно водных, флюидов [Поспелов, 1973]. Продуктивные ГМС халькофильного профиля на всех уровнях организации вещества и литофильного – на уровне РР, РУ в подавляющем большинстве случаев характеризуются отчетливым зональным строением, выражающимся в смене от центра (ядерная зона) к периферии (зона обмена) проявлений преимущественно кварц-светлослюдистых ассоциаций (аргиллизитов, вторичных кварцитов, березитов, грейзенов, гумбитов) проявлениями темноцветных ассоциаций (пропилитов, биотититов и т. п.) (см. пример в разд. 2.5.3, рис. 2.19), в вулканогенных ГМС – полевошпатовыми метасоматитами (альбитофирами, калишпатофирами, фельдшпатофирами).

Геохимическая аномалия – участок, обогащенный или обедненный химическими элементами относительно кларковых или фоновых содержаний в результате их привноса, выноса

или перераспределения под воздействием разнообразных процессов дифференциации вещества земной коры или компонентов ландшафта. Геохимические аномалии рудной природы, т. е. генетически связанные с рудными телами, месторождениями, развивающиеся в объеме и на площади окружающих их образований, называются их *геохимическими ореолами*. Если такие аномалии развиваются в твердых вторичных образованиях – корях выветривания, элювиальных, делювиальных и других четвертичных отложениях, они представляют собой *литохимические вторичные ореолы рассеяния*. В том случае, если аномалии формируются во вторичных рыхлых образованиях каналов стока – в донных отложениях постоянных и временных водотоков, такие аномалии представляют собой *литохимические потоки рассеяния*.

По условиям и процессам формирования вторичные литохимические ореолы и потоки рассеяния подразделяются на разновидности (рис. 1.1).

По соотношению с вмещающими рыхлыми отложениями литохимические вторичные ореолы рассеяния делятся на *остаточные и наложенные*.

Классификационные признаки	Разновидности литохимических вторичных ореолов и потоков рассеяния		
ГЛАВНЫЕ: 1. Процесс рассеяния 2. Формы нахождения элементов 3. Соотношения с вмещающими отложениями 4. Морфология вторичного ореола	Механический (физический) Физико-химический (включая биогенную миграцию) В составе обломков руд и рудных минералов – обломочный – шлиховой; – валунный и др. В составе минеральных новообразований и в безминеральной форме нахождения: – солевой; – сорбционно-солевой; – в других слабозакрепленных формах нахождения Остаточный Смешанный, остаточно-наложенный Наложённый Унаследованный (остаточный) Шлейфо- и веерообразный (боковой или латеральной миграции), в том числе: – дефлюкционный; – ледниковый; – гидроморфный Струйный (восходящей миграции)		
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ: 5. Положение ореола относительно проекции коренного источника на горизонт опробования 6. Доступность для выявления на горизонте опробования данным методом 7. Продуктивность в сравнении с коренным источником вторичного ореола	Надрудный	Смещенный	Оторванный
	Открытый	Закрытый (слепой)	Погребенный
	Обогащенный	Нормальный	Обедненный

Рис. 1.1. Классификация литохимических вторичных ореолов и потоков рассеяния [Марченко, 2008, 2023]

Остаточные (механические) вторичные ореолы рассеяния образуются в местных и локально перемещенных отложениях, в их составе присутствует обломочный материал оруденелых пород, в том числе выветрелый и переотложенный. Они обычно расположены непосредственно над коренным рудным источником или представляют собой аномальные механические шлейфы в перекрывающих рыхлых отложениях. На открытых территориях они достигают поверхности.

Наложенные (сорбционно-солевые) вторичные ореолы рассеяния образуются в дальнеприносных отложениях, чуждых по своему составу подстилающим коренным породам, а также на участках элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных супераквальных ландшафтов, ландшафтов слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий с повышенной мощностью автохтонных рыхлых отложений. Они по своей морфологии могут быть надрудными или шлейфо- и веерообразными. Первые образуются в результате физико-химической восходящей струйной миграции элементов от рудного источника к поверхности в водных и/или газовых растворах с последующей их фиксацией в приповерхностных условиях в твердой фазе отложений во вторично закрепленных формах нахождения, а также в результате вертикально направленной миграции наночастиц рудного вещества в восходящем газовом потоке [Соколов и др., 2015]. Вторые образуются в рыхлом покрове за счет миграции рудных элементов в водном поверхностном и грунтовом стоке по уклону рельефа, они могут быть существенно смещены от коренного рудного источника.

Литохимические потоки рассеяния делятся на *механические и наложенные физико-химические*.

Механические литохимические потоки рассеяния формируются на активно денудируемых площадях (на открытых территориях) с расчлененным рельефом и преобладанием твердого стока. Процесс их формирования заключается в механической миграции обломочного (микрообломочного) материала вторичных литохимических ореолов вниз по склонам, а затем в механической миграции твердых частиц вниз по течению в активном слое донных отложений и в составе механических взвесей. В стабильной (так называемой перстративной) фазе развития водотока, характерной в основном для водотоков I–II порядков, устанавливается динамическое равновесие между поступлением обломочного материала со склонов и переносом его водотоком вниз по течению. Именно в таких условиях литохимический поток рассеяния в точке опробования водотока наиболее адекватно характеризует вторичные ореолы, имеющиеся на склонах в пределах бассейна денудации и водосбора.

Наложенные физико-химические (сорбционно-солевые) литохимические потоки рассеяния формируются на площадях с ослабленной или практически отсутствующей денудацией, как правило, в условиях равнинного или пологого рельефа (закрытые, полузакрытые территории) и/или влажного гумидного климата, в условиях преобладания не твердого, а растворенного стока. Перенос элементов водотоком вниз по течению происходит в растворенных формах с последующим частичным их переходом в твердую фазу за счет выпадения в осадок солей мигрирующих элементов и сорбции элементов органическим и минеральным веществом донных отложений. При этом наибольшей сорбционной емкостью обладают самые тонкие фракции отложений, которые опробуются при поисках по наложенным потокам рассеяния с применением метода анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) и метода мультиэлементного анализа тонкой фракции (МЕФА).

Нумерация порядка водотоков производится от верховьев речной системы вниз по течению. Водотоки, не имеющие притоков, обозначаются водотоками I порядка, при их слиянии образуются водотоки II порядка, соответственно при слиянии последних образуются водотоки III порядка и т. д. [Ржаницын, 1960].

Аномальное геохимическое поле (АГХП) – совокупность пространственно сближенных или совмещенных аномалий химических элементов, формирование которых обусловлено конкретными геологическими событиями. АГХП рудогенных, в том числе гидротермально-метасоматических систем являются их геохимическими эквивалентами и, соответственно, характеризуются аналогичной иерархией по площадным параметрам. При региональных ГХР-200, -50 выделяются АГХП ранга рудного района ($n \times 10^3$ км²), узла ($n \times 10^2$ км²), поля ($n \times 10^1$ км²), месторождения ($n \times 10^0$ км²).

Аномальная геохимическая система (АГХС) – ассоциация закономерно локализованных в пространстве и времени аномальных геохимических полей рангов от рудного района (РР), узла (РУ) до рудного месторождения (РМ), тела (РТ) включительно. Каждому члену (АГХП) таких сложно построенных АГХС соответствует конкретный этап развития территории. АГХП ранга РТ является объектом младшего ранга по отношению к АГХП ранга РМ, АГХП ранга РМ – объектом младшего ранга по отношению к АГХП ранга РР и т. д.

Ранг рудогенной системы, являющейся объектом прогноза и поисков на конкретной стадии (подстадии) ГХР, определяется вероятностью ее выявления (табл. 1.1) и надежностью оценки ее геохимических характеристик при заданной плотности опробования геохимической съемки конкретного масштаба. Масштабы применения геохимических методов зависят от комплекса параметров (геологических, ландшафтных, экономических) и должны обеспечивать максимально возможную объективность картирования геохимического поля. При этом **основные объекты прогноза и поисков** должны быть охарактеризованы представительным числом проб. В табл. 1.1 курсивом выделены рудные объекты и соответствующие им параметры, АГХП которых при съемке заданного масштаба будут охарактеризованы достаточно представительным количеством проб для минимального размера АГХП соответствующего ранга: РП – 10 км² – 10 проб, РМ – 1 км² – 8–16 проб, РТ – 0,1 км² – 10–40 проб. При этом по результатам опытно-методических работ на конкретных площадях возможно и применение более редких сетей опробования¹.

ГХР масштаба 1 : 50 000 применяются для детализации выявленных при проведении ГХР-200 аномалий ранга рудного узла ($n \times 10^2$ км²), рудного поля ($n \times 10^1$ км²), при проведении работ по самостоятельным объектам или при ГМК-50; ГХР масштаба 1 : 10 000 (1 : 5 000) – для заверки выявленных при проведении ГДП-200, -50 аномалий ранга рудного месторождения ($n \times 10^0$ км²).

Таблица 1.1

Сети опробования при геохимических съемках по вторичным ореолам рассеяния различного масштаба
[Соколов, Марченко, 2019]

Масштаб съемки	Ранг объекта прогноза	Площадь объекта прогноза* (км ²)	Минимальная и максимальная площади АГХП объекта прогноза* (км ²)	Квадратные и близкие к ним сети			Прямоугольные сети по [Инструкция..., 1983]	
				плотность опробования (сеть)	кол-во проб на объект	П (% ^{**})	плотность опробования (сеть)	кол-во проб на объект
1 : 200 000	РП	10–100	10	2 × 2 км	2,5	71	2000 × 200 м	25
				<i>1 × 1 км</i>	<i>10</i>	100		
			100	2 × 2 км	25	100		250
1 : 50 000	РМ	1–10	1	500 × 500 м	4	91	500 × 50 м	40
				<i>500 × 250 м</i>	<i>8</i>	100		
				250 × 250 м	16	100		
				500 × 100 м	20	100		
			10	500 × 500 м	40	100		400
1 : 25 000	РТ	0,1–1,0	0,1	250 × 250 м	1,6	48	<i>250 × 50 м</i>	8
				250 × 100 м	4	91		
	РМ	1–10	1	<i>250 × 250 м</i>	<i>16</i>	100		80
1 : 10 000	РТ	0,1–1,0	0,1	<i>100 × 100 м</i>	<i>10</i>	100	<i>100 × 20 м</i>	50
				100 × 50 м	20	100		
			1	100 × 100 м	100	100		500
1 : 5 000	РТ	0,1–1,0	0,1	<i>50 × 50 м</i>	<i>40</i>	100	<i>50 × 20 м</i>	100

* Площади объектов конкретных рангов приведены по работам [Временные методические указания..., 2005; Плющев, Шатов, 1985; Питулько, Крицук, 1990 и др.].

** П – вероятность выявления объектов поисков при литохимических съемках по вторичным ореолам рассеяния, рассчитанная по формуле Дж. С. Дэвиса [Справочник..., 1990].

¹ Так, на Сергеевской площади в Якутии (листы R-49-XXI, XXII), характеризующейся низкой плотностью речной сети, по результатам опробования по сети 2 × 2 км известная редкометалльно-редкоземельная зона однозначно отразилась высококонтрастными сплошными ореолами этих элементов.

Объемная (площадная) геохимическая зональность характерна для ГМС зонального строения (см. выше). Зональность АГХП халькофильной, реже литофильной специализаций (классы 1–4 в прил. 4.15) проявляется в закономерной позиции ореолов привноса и выноса элементов рудного комплекса – центростремительных элементов (ЦС) и центробежных (ЦБ) элементов [Соколов, 1998]. От центра к периферии выделяются следующие зоны (рис. 1.2):

- ядерная зона – область концентрации ЦС и деконцентрации ЦБ элементов;
- зона обмена, характеризующаяся диаметрально противоположным спектром;
- фланговая зона концентрации – область повышенных содержаний ЦС элементов при преимущественно субфоновых и околофоновых содержаниях ЦБ элементов.

Состав ЦС элементов отражает металлогеническую специализацию (благородные металлы, халько-, литофильные элементы) соответствующих рудогенных систем. Спектр ЦБ элементов вне зависимости от ранга АГХП универсален (Cr, Ni, V, Mn, Ti, Co, Zn, Ba), что предопределяет возможность широкого использования установленной закономерности в прогнозных целях.

По эмпирическим данным установлено, что масштаб рудной минерализации опосредованно, через масштаб гидротермального процесса, связан с интенсивностью перераспределения центробежных элементов на всех уровнях организации систем (РТ–РМ–РП–РУ–РР), а соответственно, и со степенью проявленности объемной геохимической зональности. В этой связи степень упорядоченности структур разноранговых АГХП рассматривается как важнейший признак концентрированного оруденения халькофильного (литофильного) профиля на всех стадиях поисков.

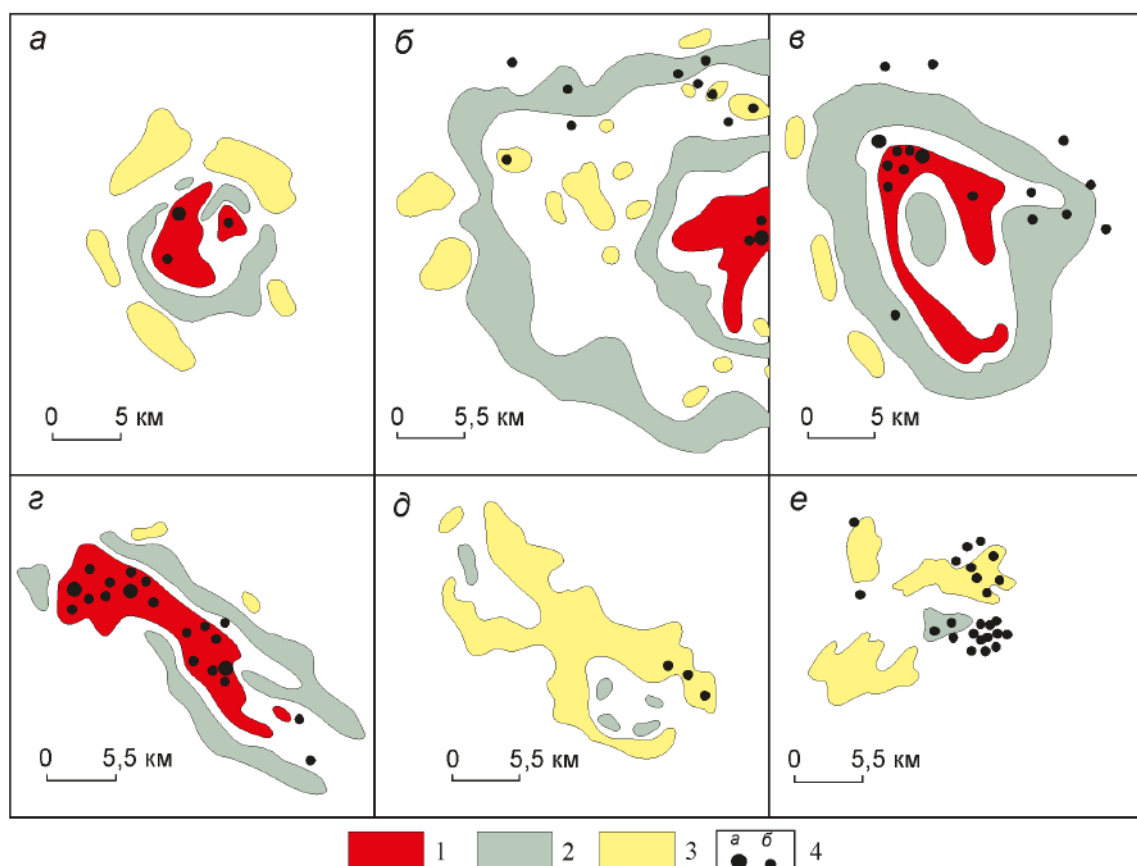


Рис. 1.2. Структуры АГХП рангов РР, РУ: а – Бамского РУ; б – Дусканьинского РР; в – Токурского РУ; з – Тенгинского РУ; д – Ардокского РУ; е – АГХП неупорядоченного строения Омчугское (ранг РУ).

Использованы данные литохимической съемки по потокам рассеяния:

1 – ядерная зона; 2 – зона обмена; 3 – фланговая зона концентрации; 4 – проявления полезных ископаемых:
а – месторождения, б – рудопроявления

Прогнозные ресурсы локализованные категории P_3 , оцениваемые по геохимическим данным¹, – это прогнозируемое количество химического элемента (металла), сосредоточенное в рудных телах промышленно значимого месторождения (месторождений) полезного ископаемого, обнаружение которого (которых) потенциально возможно. Потенциальная вероятность выявления рудного объекта обосновывается положительной оценкой рудогенной природы АГХП, наличием в их пределах прямых признаков рудной минерализации со значимыми содержаниями полезного ископаемого.

Прогнозные ресурсы локализованные категории P_3 оцениваются для АГХП ранга РП при ГХР-200 (в их составе для АГХП ранга РМ при детализационных работах) или при ГХР-50 в составе ГМК-50 на открытых территориях, для которых имеются относительно достоверные прямые или статистически устойчивые оценки параметров и характеристик аномалий и прогнозируемого оруденения (раздел 2.5.1.4); категории P_2 при детализационных работах в рамках ГХР-200 оцениваются при наличии отдельных рудных пересечений прогнозируемых зон (тел) единичными поверхностными горными выработками или скважинами или при ГХР-50 в составе ГМК-50.

Ресурсный потенциал объекта, оцениваемый по геохимическим данным, – это прогнозируемое количество химического элемента (металла), сосредоточенное в рудных телах промышленно значимого месторождения (месторождений) полезного ископаемого, обнаружение которого (которых) потенциально возможно в пределах данного объекта. Однако оценка рудогенной природы АГХП менее надежна, чем оценка прогнозных ресурсов локализованных и(или) прогнозируемое количество полезного ископаемого может быть оценено лишь сугубо ориентировочно. Такая оценка проводится на закрытых-полужакрытых территориях при ГХР-200 и в их составе при детализационных работах для АГХП рангов РП, РМ; при ГХР-50 в составе ГМК-50 – для АГХП ранга РМ. Ограничение оценки масштаба объектов прогноза при ГХР-200, -50 на закрытых и полужакрытых площадях оценкой ресурсного потенциала определяется крайне ориентировочными сведениями, имеющимися в настоящее время, о значениях коэффициентов соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') или вторичный наложенный ореол – коренное оруденение (k''') и весьма ограниченным выбором объектов (отрабатываемые карьерным способом месторождения) опытно-методических работ (ОМР) для оценки численных значений этих коэффициентов (разд. 2.5.1.4).

Геохимические ресурсы объекта в общепринятом понимании – это общее количество химического элемента (металла), сосредоточенное в данном объекте в целом, включая и околофоновые, и слабоповышенные, и достигающие промышленно значимых величин содержания полезного ископаемого (при наличии последних). Геохимические ресурсы всегда больше прогнозных ресурсов и ресурсного потенциала. Долю прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала химического элемента (металла) в его общих геохимических ресурсах в данном объекте принято называть долей балансовых руд ($\alpha < 1$). Этот коэффициент α необходимо всегда учитывать при прогнозной оценке масштаба рудного объекта по геохимическим данным (разд. 2.5.1.4). При оценке масштаба оруденения в прогнозируемых РП и РУ на региональных стадиях ГХР подмена величины прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала величиной геохимических ресурсов заведомо приводит к завышению прогнозной оценки рудного объекта, что мы фактически и имеем при расчете ресурсов по потокам рассеяния в соответствии с «Инструкцией...» [1983], в которой применение коэффициента α не предусматривается.

1.2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ТИПОВЫХ ГЕОЛОГО-ЛАНДШАФТНЫХ ОБСТАНОВКАХ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

По условиям формирования гипергенных геохимических полей и применяемым технологиям геохимических работ по потокам и вторичным ореолам рассеяния на территории России выделяются три основных типа геолого-ландшафтных обстановок [Карта условий..., 1995; Соколов, Шевченко, 2008; Соколов, Марченко и др., 2019].

¹В соответствии с «Методическими рекомендациями...» [2018 ф], прогнозные ресурсы категории P_3 оцениваются для объектов ранга РУ. В нашем случае при оценке по геохимическим данным объектом прогноза при ГХР-200 являются РП, при ГХР-50(25) – РМ. Для исключения разночтений последние предлагается обозначить термином «прогнозные ресурсы локализованные категории P_3 », т. е. относящиеся к объектам младшего ранга РП, РМ относительно РУ.

I тип. Геолого-ландшафтная обстановка средне-, сильнорасчлененных горных сооружений, обновленных или возрожденных новейшими блоковыми поднятиями и складчатыми деформациями, а также обстановка горных массивов древних щитов и выступов складчатого основания платформ с преобладанием сводовых и блоковых поднятий, перекрытых рыхлыми отложениями склонового гравитационного ряда незначительной мощностью (до первых метров). Для этого типа площадей характерны высокая расчлененность рельефа (углы склонов более 10°) и практически полное отсутствие площадных кор выветривания. Эти районы занимают около 25 % территории России. К ним относятся Уральская, Алтае-Саянская, Байкало-Витимская, Монголо-Охотская, Верхояно-Колымская, Чукотская и другие складчатые системы, отдельные участки Алданского щита, Анабарского массива и пр. Эти территории относятся к категории открытых.

В геолого-ландшафтных обстановках этого типа, характеризующихся высокой плотностью и разветвленностью речной сети, ведущая роль по праву принадлежит литохимическим съемкам по механическим потокам рассеяния масштаба 1 : 200 000 [Инструкция..., 1983], т. к. именно результаты опробования аллювия, характеризующие бассейны водосбора водотоков, позволяют получить наиболее полную и непрерывную характеристику распределения содержаний химических элементов на значительных по площади территориях вне зависимости от степени их геолого-поисковой изученности.

Особо следует отметить в геолого-ландшафтной обстановке I типа элементарные ландшафты речных долин, сложенных на поверхности современными перемещенными аллювиальными отложениями различной мощности. Донные осадки водотоков I и, в меньшей степени, II порядка (нумерацию порядка водотоков см. в разд. 1.1) являются локально перемещенными отложениями, содержания элементов в них объективно отражают содержания в коренном субстрате бассейнов водосбора, в том числе и ближних склонов [Методические рекомендации..., 1992]. В свою очередь, донные осадки водотоков старших порядков (III, IV, нередко II) часто представляют собой наносы, принесенные из верховьев речных систем. В этом случае фиксируемые в них аномальные содержания элементов, находящихся в минералах, устойчивых в зоне гипергенеза (самородное золото, платиноиды, касситерит, киноварь, вольфрамит, колумбит, ильменит, монацит, шеелит и др.), представляют собой протяженные аномальные шлейфы от коренных источников, расположенных в верховьях речных систем, и они не характеризуют распределение содержаний элементов на прилегающих склонах. В других случаях при наличии на ближних склонах рудных объектов аномальные содержания в аллювии водотоков высоких порядков могут вообще не наблюдаться [Григоров, 1990; Николаев, 2022 и др.] в связи с преобладанием в пробах фонового материала, привнесенного с безрудных площадей в верховьях речных систем. В связи с активным гидродинамическим режимом современных водотоков сорбционно-солевые ореолы рудных объектов, находящихся в подстилающем точках опробования аллювия коренном субстрате, в донных осадках водотоков высоких порядков вообще не успевают сформироваться. По этим причинам опробование аллювия водотоков III–IV порядков (нередко и II порядка) приводит либо к существенному искажению контуров природных рудообразующих систем в сторону их расширения, либо к пропуску искомых объектов на ближних склонах. Таким образом, опробование отложений водотоков высоких порядков представляется нерациональным.

При ГХР-50 применение метода поисков по потокам рассеяния в масштабе 1 : 50 000 не несет существенную дополнительную прогнозную информацию в сравнении с результатами предшествующих геохимических работ масштаба 1 : 200 000. Поиски по вторичным ореолам в этом масштабе более информативны.

II тип. Равнинные и слаборасчлененные площади (углы склонов до 5°) древних щитов и выступов складчатого основания платформ с присутствием местных (автохтонных) элювиально-делювиальных отложений (мощностью 5–10 м и более) и(или) дальнепринесенных (аллохтонных) рыхлых отложений различного генезиса (водно-ледниковых, прибрежно-морских, эоловых и т. п.) мощностью до 10 м и иногда более, а также обстановки слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий (углы склонов $5\text{--}10^\circ$) с повышенной мощностью остаточных (автохтонных) рыхлых образований (3–5 м и более). К этому типу относятся и площади развития покровно-ледниковых отложений с преобладанием основной морены, которая представляет собой локально перемещенный ледником обломочный материал либо смесь местного и перемещенного материала. Эти обстановки с учетом фрагментарного их развития в районах I типа занимают около 32 % территории России. К ним относятся большая часть территорий древних щитов (Балтийского, Анабарского и др.) и выступов складчатого основания платформ, значительные площади в пределах ряда горно-складчатых систем (Уральской, Енисейской, Монголо-Охотской и др.).

Эти территории относятся к категории полузакрытых и в случае повсеместного развития дальнеприносных отложений повышенной мощностью — к категории закрытых.

В ландшафтах слаборасчлененных низкогорий, плоскогорий с повышенной мощностью автохтонных рыхлых отложений денудация рыхлого материала в водотоки замедлена, роль делювиального смыва с водоразделов и пологих склонов значительно ниже, чем в резко расчлененном рельефе [Методические рекомендации..., 1992]. В таких ландшафтах в потоках рассеяния рудные объекты повсеместно фиксируются более низкими содержаниями элементов рудного комплекса относительно содержаний аналогичных по масштабу объектов в ландшафтах средне-, сильнорасчлененных горных сооружений (прил. 5.11), что в частности проявляется в относительно пониженных значениях (для многих элементов < 1) коэффициента соответствия вторичный ореол — первичный ореол k (разд. 2.5.1.4, табл. 2.4, 2.5). Эти ландшафты в отличие от других классификаций [Карта условий..., 1995 и др.] отнесены к категории полузакрытых территорий. При достаточно высокой плотности речной сети, обеспечивающей отбор более 1 пробы на 2 км^2 , наиболее эффективным является опробование по сорбционно-солевым потокам рассеяния, при меньшей плотности — по сорбционно-солевым вторичным ореолам рассеяния.

Равнинные и слаборасчлененные площади (углы склонов до 5°), перекрытые автохтонными элювиально-делювиальными и(или) аллохтонными рыхлыми отложениями, характеризуются низкой плотностью речной сети, расстояние между соседними водотоками может составлять километры. Соответственно, при опробовании по традиционной методике [Инструкция..., 1983] только аллювия водотоков в междуречье могут оставаться значительные по площади геохимически не охарактеризованные участки («белые пятна»), что может привести к пропуску рудных объектов. Такие ландшафты в варианте холмисто-увалистого рельефа типичны для Анабарского и Балтийского щитов, Оленёцкого поднятия, Алданского нагорья. В этих ландшафтных условиях при ГХР-200 поиски по потокам рассеяния оказываются малоэффективными. Более эффективной является литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния с опробованием по квадратной сети $1 \times 1 \text{ км}$ (оптимальный вариант) или $2 \times 2 \text{ км}$ в зависимости от генезиса и преобладающей мощности рыхлых отложений на открытых территориях по остаточным вторичным ореолам рассеяния или на закрытых–полузакрытых территориях с применением более информативных методов, а именно:

- глубинного литохимического опробования в поисковых скважинах с глубины до первых десятков метров (иногда глубже), ориентированного на выявление погребенных остаточных вторичных ореолов в нижних горизонтах рыхлых отложений или в корах выветривания (в районах повсеместного развития покровно-ледниковых отложений — тиллевой съемки);

- специальных методов опробования по наложенным сорбционно-солевым ореолам и потокам рассеяния в специфических безминеральных подвижных или вторично закрепленных формах химических элементов в разнообразных компонентах приповерхностных горизонтов рыхлого покрова [Временные методические указания..., 2005; Соколов и др., 2013; Соколов, Марченко и др., 2019], а также в воздухе, воде и растительности (атмо-, гидро- и биохимические методы).

Тиллевая литохимическая съемка (ТЛС) [Временные методические указания..., 2005], осуществляемая с помощью переносных мотобуров, является разновидностью глубинных литохимических поисков по вторичным ореолам в районах развития покровно-ледниковых отложений. ТЛС ориентирована на выявление ореолов ледникового рассеяния в придонных горизонтах покровно-ледниковых отложений, представленных базальными тиллами (донными моренами, вещественный состав которых отражает состав местного и/или локально перемещенного обломочного материала коренных пород). При ТЛС оптимальным является интервал опробования 0–1 м над поверхностью коренных пород, подстилающих базальный тилл. При этом в условиях сильной завалуистости покровно-ледниковых отложений часто имеет место «утыкание» бурового снаряда в крупные валуны прежде, чем снаряд достигнет нижележащего тиллевого горизонта. В этом случае опробование околотовальной области вместо нужного базального горизонта отрицательно сказывается на результатах ТЛС, надежности прогнозных построений и может привести к пропуску рудных объектов. Перебуривание же таких скважин приводит к значительному удорожанию тиллевой съемки. По этим причинам, а также в связи с большей трудоемкостью и затратностью ТЛС в сравнении с методами по наложенным сорбционно-солевым ореолам рассматриваемый метод на российской части Балтийского щита применяется ограниченно только при производстве детальных геохимических работ масштабов $1 : 25\,000$ — $1 : 10\,000$.

Из вышеотмеченных специальных методов по организационным, технологическим и экономическим причинам при площадных съемках чаще всего применяются литохимические методы

поисков по наложенным ореолам и потокам рассеяния с отбором проб из приповерхностных горизонтов рыхлого покрова и донных осадков водотоков. Среди этих методов за рубежом нашли широкое применение такие методы как *МОМЕО* (*MOBile forms of MEtals in Overburden – мобильные формы металлов в рыхлом покрове*) [Pim W.G. van Geffen et al., 2015; Mingqi et al., 2015], *ММИ* (*MOBile Metal Ions – мобильные ионы металлов*) [Mann et al., 2005; Mann, 2010], *МЕФФА* (*Multi-Element Fine Fraction Analysis – мультиэлементный анализ тонкой фракции*) [Васильев, 2017] и др. К числу отечественных методов поисков по наложенным вторичным ореолам относятся *МАСФ* (*метод анализа сверхтонкой фракции*) в комплексе с *МАПФ* (*методом анализа подвижных форм*) [Временные методические указания..., 2005], литохимический метод с анализом тонкой фракции [Временные методические указания..., 2005], *ИСМ* (*ионно-сорбционный метод*) [Миляев и др., 2017; Воробьев, Миляев, 2022], метод *КСО* (*картирования сорбционно-солевых ореолов*) [Несмеянова, Березнев, 2022], а также так называемые геоэлектрохимические методы [Гольдберг, 1989, 2021; Технология работ..., 2005]: метод *ЧИМ* (*частичного извлечения металлов*), *МДИ* (*метод диффузионного извлечения элементов*), *ТМГМ* (*термомагнитный геохимический метод*), *МПФ* (*метод металлоорганических почвенных форм*).

Детальное описание вышеотмеченных методов можно найти по вышеприведенным ссылкам на литературу. Ниже приводятся сведения о методах, нашедших широкое применение на территории России и рекомендуемых при производстве региональных геохимических работ на закрытых территориях.

Метод ММИ использует выделение и анализ мобильных ионов металлов из проб рыхлого покрова. Он основан на обработке пробы слабыми растворами органических и неорганических экстрагентов. Набор экстрагентов в модификации ММИ-М позволяет одновременно анализировать методом ICP-MS 53 элемента, что дает возможность применять его при поисках комплексных месторождений на территориях с разным геологическим строением. Метод широко применяется за рубежом, в том числе, при региональных геохимических исследованиях [Caritat & Cooper, 2016]. В России он используется крупными горнодобывающими компаниями при производстве поисковых ГРП. Аналитическая часть метода ММИ в разных странах, в том числе в России (Чита), в настоящее время реализуется лабораториями SGS.

Метод анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) разработан в ФГУП «ВСЕГЕИ» (ныне – ФГБУ «Институт Карпинского») [Патент РФ № 2330259 от 07.08.2006]. Сущность метода заключается в выделении из проб рыхлых отложений, отобранных из почвенных горизонтов В или G, сверхтонкой фракции с размером частиц менее 10 мкм с последующим переводом в раствор (разд. 2.4) сорбционно-солевых и микроминеральных форм нахождения элементов и их анализом количественными инструментальными методами (ICP-AES, ICP-MS и др.). Выделение сверхтонкой фракции производится следующими способами:

- отмучиванием в водной среде;
- с применением вибрационной платформы, на которую в бункере помещается высушенная проба; взвешенные частицы выносятся струей воздуха и улавливаются на воздушном фильтре, откуда их собирают для анализа содержания химических элементов;
- с применением воздушного классификатора «ГОЛЬФ-2», используемого в производстве абразивных материалов (оптимальный вариант).

В комплексе с МАСФ может использоваться **метод анализа подвижных форм (МАПФ)**, который применяется на заболоченных участках с опробованием торфа горизонта А₁ с последующим озолением проб горячим способом и их анализом теми же методами, что и при МАСФ (разд. 2.4).

Технология МАСФ-МАПФ позволяет выявлять как наложенные сорбционно-солевые, так и остаточные механические вторичные ореолы и потоки рассеяния, что предопределяет ее применение как на закрытых территориях, так и на площадях, характеризующихся пестрыми ландшафтными условиями с чередованием открытых, полузакрытых и открытых участков [Соколов, Макарова и др., 2013]. Универсальность метода позволяет применять его на открытых территориях в ландшафтах средне-, сильнорасчлененных горных сооружений в сочетании с полузакрытыми площадями – с ландшафтами слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий в варианте метода анализа сверхтонкой фракции потоков рассеяния (МАСФ ПР).

В настоящее время МАСФ является единственным из специальных методов геохимических поисков, нашедшим широкое применение на закрытых и полузакрытых территориях при производстве как региональных, так и детальных ГХР масштабов от 1 : 1 000 000 до 1 : 10 000 государственными и частными предприятиями (ФГБУ «Институт Карпинского», ФГБУ «ИМГРЭ», АО «Амургеология», ГМК «Норильский никель», УК «Петропавловск», ООО «ГПП-Геологическая

компания», АО «Полиметалл» и др.) в различных регионах России (Северо-Запад, Дальний Восток, Сибирь, Урал). Основанием для рекомендации метода являются положительные результаты его апробации при проведении опытно-методических и поисковых геохимических работ. В частности, в пределах Пионерского рудного узла с использованием технологии МАСФ, как следует из заключения заказчика УК «Петропавловск», было открыто золоторудное месторождение Александра [Соколов, Власов и др., 2016].

Метод MEFFA основан на анализе содержаний элементов с использованием лазерной абляции с ICP-MS анализатором (LA/ICP-MS) [Васильев, 2017]. Сущность метода заключается в предварительном анализе проб рыхлых отложений в полевой лаборатории с использованием портативного рентгенофлуоресцентного анализатора (ПРФА), далее из проб выделяется тонкая фракция (< 5–10 мкм) путем мокрого ситования и отмучивания, которая поступает в вакуумную камеру лазерной абляции с последующим анализом валовых содержаний элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA/ICP-MS). Метод применяется частными компаниями при поисковых работах в Финляндии, России, Казахстане, Швеции, Испании. Однако до сих пор в большинстве случаев методом LA/ICP-MS анализируется только золото, иногда – платиновые металлы, а большинство других элементов определяется только с помощью ПРФА, что ограничивает перечень определяемых элементов и снижает качество аналитической информации. Однако MEFFA не имеет принципиальных ограничений по расширению круга элементов, анализируемых методом LA/ICP-MS.

MEFFA является аналогом МАСФ в части используемой для анализа фракции рыхлых отложений, но отличается аналитическим окончанием: в МАСФ – ICP-AES/MS анализ раствора, полученного путем растворения сверхтонкой фракции царской водкой, т. е. частичный (селективный) анализ сверхтонкой фракции, а в MEFFA – LA-ICP-MS анализ непосредственно отмученной твердой фракции, т. е. валовый анализ этой фракции.

К полузакрытым и закрытым территориям II и III типов относятся и некоторые специфические геолого-ландшафтные обстановки, имеющие место как в сильнорасчлененных горных районах, так и в районах низкогорий. В частности, к ним относятся области современного вулканизма (Камчатка, Курилы), где в условиях интенсивно расчлененного горного рельефа, относящегося к геолого-ландшафтным обстановкам I типа, большая часть площади относится к категории полузакрытых или закрытых территорий из-за повсеместного развития молодых (современных) пепловых покровов, погребаяющих вторичные остаточные ореолы даже на склонах средней крутизны. К преимущественно закрытым территориям относятся и ландшафты с развитием эоловых отложений (юг Бурятии, Читинской области и др.), имеющие местами широкое распространение внутри территорий с преобладающими геолого-ландшафтными обстановками I типа. Для обоснования постановки региональных ГХР в таких геолого-ландшафтных обстановках может потребоваться проведение опытно-методических работ.

III тип. Равнинные обстановки плитных комплексов древних платформ. В геоморфологическом плане эти районы принадлежат к пластово-аккумулятивным и аккумулятивным равнинам, созданным новейшими опусканиями, а также равнинам и плато древних плит, испытавшим новейшие пологие деформации различного знака. На этих территориях коренные породы, которые потенциально могут вмещать оруденение, в основном перекрыты более молодыми образованиями, в том числе четвертичными аллохтонными отложениями ледникового, воздушного или морского ряда (водно-ледниковыми, эоловыми, прибрежно-морскими и т. п.) мощностью, как правило, в десятки метров. Они занимают около 43 % территории России и относятся к категории закрытых.

Для III типа геолого-ландшафтных обстановок технологии геохимических работ в настоящее время находятся на стадии опытно-методических разработок или апробации. Логично предположить, что для таких ландшафтов, как и для равнинных и слаборасчлененных площадей II типа, должны быть эффективны глубинные съемки, а также методы по наложенным сорбционно-солевым ореолам. При этом, как и в предыдущем случае, для обоснования эффективных методов геохимических поисков может потребоваться проведение опытно-методических работ.

**2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ТЕХНОЛОГИИ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ
МАСШТАБОВ 1 : 200 000 и 1 : 50 000**

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ¹

§ 1. Работы по созданию геохимических основ масштабов 1 : 200 000 (ГХО-200) проводятся на территориях, где выполняется или планируется геологическое доизучение недр масштаба 1 : 200 000 (ГДП-200) в полистном исполнении, в рамках трапеций принятой разграфки.

Геохимические работы масштаба 1 : 50 000 (ГХР-50) в составе ГХР-200, ГДП-200 проводятся на перспективных участках ранга рудного поля ($n \times 10^1 \text{ км}^2$), выделенных по результатам ГХР-200 или в процессе производства ГДП-200.

ГХР-50 в составе геолого-минералогического картирования масштаба 1 : 50 000 (ГМК-50) проводятся на участках недр, отвечающих перспективным площадям ранга рудного узла с оцененными прогнозными ресурсами категории P_3 , установленными по материалам предшествующих геологоразведочных работ масштаба 1 : 200 000. Работы проводятся в границах полных номенклатурных листов масштаба 1 : 25 000 [Практическое руководство..., 2025].

§ 2. ГХО-200 создаются с целью повышения достоверности и прогностических свойств комплектов Госгеолкарт масштаба 1 : 200 000 (ГК-200) путем решения следующих основных задач:

- оценка степени геохимической изученности и качества исходной геохимической информации;
- оценка условий проведения геохимических работ для определения геохимических методов изучения территории;
- получение геохимических характеристик геологических образований и выявление их геохимической специализации, уточнение границ распространения геологических формаций и комплексов;
- уточнение границ и перспективности известных и выявление новых рудных объектов ранга рудного поля ($n \times 10^1 \text{ км}^2$) с оценкой рудноформационной принадлежности, прогнозных ресурсов категории P_3 (ресурсного потенциала) прогнозируемого оруденения по геохимическим данным;
- по результатам детализационных геохимических работ масштаба 1 : 50 000 (если они проводились) – выделение перспективных участков ранга рудного месторождения ($n \times 10^0 \text{ км}^2$) под постановку ГРП последующих стадий;
- оценка экологического состояния территорий.

Результаты решения вышеуказанных задач представляются в виде банка геолого-геохимических данных, комплекта карт ГХО соответствующего масштаба и текста отчета с текстовыми приложениями в соответствии с «Требованиями...» [2021].

§ 3. ГХР-200 проводятся в опережающем региональные геологические съемки режиме, в том числе на подстадии оценки изученности и геологического обоснования постановки работ по геологическому картированию, а также в сопровождающем варианте. В первом случае геохимические исследования по созданию ГХО-200 проводятся по самостоятельным проектам, во втором – в составе геологосъемочных работ (ГДП-200, ГМК-200 и др.). Геохимические работы увязываются с планами работ по созданию ГК-200/2.

§ 4. Работы по созданию ГХО-200 могут проводиться в трех вариантах:

- камеральным путем по ретроспективным материалам на основе максимального использования результатов ранее проведенных кондиционных геохимических работ масштабов 1 : 50 000 – 1 : 1 000 000;

¹ Разделы «Общие положения», «Проектирование и подготовительные работы» в части ГХО-200 подготавливались в 2020 г. совместно с ФГБУ «ИМГРЭ» и изложены в редакции ФГБУ «Институт Карпинского». В этой связи раздел «Проектирование и подготовительные работы» по отдельным позициям перекликается с «Требованиями...» [2021] и не противоречит им.

– с использованием результатов ранее проведенных геохимических работ и дополнительным геохимическим выборочным доизучением отдельных участков площади листа, характеризующихся отсутствием ретроспективных геохимических материалов или неудовлетворительным их качеством;

– при отсутствии кондиционных материалов на всю площадь работ или большую ее часть (> 80 %) работы по созданию ГХО рационально проводить на всей территории по полному циклу с проведением полевых, лабораторных и камеральных работ.

§ 5. При оценке качества ретроспективных геохимических материалов и возможности их использования при составлении ГХО-200 особое внимание следует обращать на соответствие применяемых предшественниками методов ГХР геолого-ландшафтным условиям площади планируемых работ. **В случае отсутствия для открытых территорий кондиционной геохимической съемки по механическим потокам рассеяния, а для закрытых территорий – по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам или потокам рассеяния ретроспективные материалы должны быть признаны непригодными для составления ГХО-200.** Пригодность ретроспективных материалов по полузакрытым территориям оценивается исходя из степени проявленности в их пределах рудогенных вторичных ореолов и потоков рассеяния.

§ 6. Основными задачами ГХР-50 являются оценка перспектив площади на выявление месторождений полезных ископаемых и выделение перспективного участка (участков) ранга рудного месторождения (1–10 км²) под постановку детальных работ масштабов 1 : 25 000 – 1 : 10 000. Важно отметить, что при съемке масштаба 1 : 50 000 вероятность выявления вторичных ореолов отдельных линейных рудных тел при расстоянии между профилями 500 м достаточно мала даже при шаге опробования по профилю 50 м [Соколов, Марченко, 2019]. По этой причине проведение горных и буровых работ по результатам геохимических работ масштаба 1 : 50 000 может с высокой вероятностью привести к пропуску рудных тел и не должно практиковаться. Для обоснования мест заложения канав и скважин необходимо использовать результаты детальных геохимических работ масштабов 1 : 25 000 – 1 : 10 000, а также детальных геофизических работ.

2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

§ 7. Основанием для проектирования и проведения геохимических работ масштабов 1 : 200 000, 1 : 50 000 является выданное заказчиком техническое (геологическое) задание (ТЗ) на производство ГХО-200, ГДП-200 или ГМК-50. В задании указывается целевое назначение работ, пространственные границы объекта, оценочные параметры, основные задачи, методы и последовательность их решения, виды работ, ожидаемые результаты.

§ 8. В ходе подготовительных работ осуществляется сбор, обобщение и анализ всех необходимых материалов предшествовавшего геологического и геохимического изучения территории, в том числе:

– геологических материалов, включая сведения, обосновывающие перспективность территории на выявление остродефицитных и высоколиквидных полезных ископаемых;

– геохимических материалов, включая геохимическую изученность, результаты ранее проведенных геохимических работ и оценку поисковой эффективности применявшихся методов, результаты опытно-методических геохимических работ на проектируемой и(или) сходных по геологическому строению и ландшафтным условиям территориях, геохимические характеристики пород, руд и других компонентов природно-геологической среды;

– материалов, характеризующих ландшафты территории и условия ведения геохимических поисков полезных ископаемых;

– экономико-географических и экологических материалов, содержащих данные о расположении и характере источников загрязнения (если предусмотрено в ТЗ).

На основе собранной информации делаются выводы о качестве и эффективности ранее проведенных ГХР, их пригодности для составления ГХО и для оценки перспектив площади по ретроспективным данным; осуществляется ландшафтное районирование территории по условиям проведения геохимических работ, обосновывается выбор метода или комплекса методов ГХР на геохимически слабоизученных или не изученных площадях.

Качество ранее проведенных геохимических работ и их пригодность для создания геохимических основ оценивается в соответствии с критериями их оценки, изложенными в «Требованиях...» [2021].

§ 9. В ходе подготовительных работ корректируются или вновь составляются следующие вспомогательные картографические материалы:

- карта геохимической изученности;
- при ГХО-200 – ландшафтная карта масштаба 1 : 500 000 со схемами устойчивости ландшафтов к химическому загрязнению и районирования территории по условиям проведения геохимических работ;
- при ГХР-50 – схема районирования территории по условиям проведения геохимических работ масштаба 1 : 100 000;
- схематичная геологическая карта с месторождениями и проявлениями полезных ископаемых, а также геохимическими аномалиями по результатам предшествующих работ, если таковые проводились;
- проектная карта геохимического опробования площади или отдельных участков в случае необходимости дополнительного геохимического доизучения части площади;
- схема отработки площади.

§ 10. При ГХР-200 ландшафтно-геохимическое районирование территории по условиям и методам проведения геохимических работ проводится на основе ландшафтной карты. Составляется схема районирования территории по условиям проведения геохимических работ масштаба 1 : 500 000, выделяются ландшафтно-геохимические таксоны, различающиеся по проявленности остаточных вторичных ореолов рассеяния и наложенных сорбционно-солевых ореолов рассеяния. Содержание и оформление ландшафтной карты с вышеуказанной схемой регламентируются «Требованиями...» [2021]. Эта схема является основой для выбора методов геохимических работ и планирования геохимического опробования. Рекомендуемые методы геохимических поисков в зависимости от ландшафтных условий проведения работ приведены в разд. 2.3.1.2, 2.3.1.3 и в прил. 4.17. В проекте на основе ландшафтно-геохимического районирования должен быть обоснован выбор методики производства ГХР либо разных методик, применяемых в разных частях общей площади работ в зависимости от геолого-ландшафтных условий.

При ГХР-50 для составления схемы районирования территории по условиям проведения ГХР масштаба 1 : 200 000 и обоснования применения метода либо разных методов геохимических съемок используются имеющиеся геологические и ландшафтные карты масштабов 1 : 100 000 и мельче, а также топографические карты, аэро- и космические снимки территории.

§ 11. Проектная карта опробования составляется на топооснове на масштаб крупнее проводимых геохимических работ. С учетом этой карты, ландшафтных условий проведения ГХР и инфраструктуры территории составляется проектная схема отработки площади (§ 18).

§ 12. На основе материалов и информации, полученных в результате подготовительных работ, проводится проектирование с составлением соответствующего проекта, в котором:

- обозначаются границы исследуемой территории (номенклатура трапеции международной разграфки);
- описываются ландшафтные, геологические, металлогенические, гидрогеологические, хозяйственные условия территории;
- анализируются степень, характер и качество предшествующего геохимического изучения;
- конкретизируются целевое назначение и основные задачи работ в соответствии с геологическими, металлогеническими и хозяйственными условиями региона;
- в варианте геохимического доизучения отдельных участков или площади в целом обосновываются методы проведения геохимических работ, виды и объемы геохимического опробования, обозначаются пункты опробования с учетом ландшафтных условий и геохимической изученности территории, определяются виды, объемы и сроки проведения аналитических работ;
- предусматривается метрологическое обеспечение проектируемых работ;
- перечисляются состав и виды конечной продукции.

К проекту работ прилагаются вспомогательные карты, обозначенные в § 9.

§ 13. Стоимость подготовительных работ и проектирования включается в смету, которая составляется на основании сметно-финансовых расчетов, исходя из конкретных размеров картируемой территории, видов и объемов запроектированных работ, реальных природно-геологических условий, развитости инфраструктуры и др.

§ 14. Подготовительный период работ и проектирование считаются завершенными после прохождения экспертизы и утверждения проектно-сметной документации заказчиком.

2.3. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

2.3.1. Геохимические работы масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000

2.3.1.1. Общие положения

§ 15. Полевые геохимические работы проводятся с целью получения первичной геохимической информации, необходимой для составления ГХО Гостгеолкарты-200/2, а также при производстве ГМК-50 для оценки перспектив изучаемых площадей и выделения участков под постановку ГРР последующих стадий.

На территориях, не обеспеченных ретроспективными материалами удовлетворительного качества, полевые работы проводятся в полном объеме на всей площади, частично обеспеченных — только на геохимически недостаточно изученных участках. На территориях, удовлетворительно обеспеченных ретроспективными геохимическими материалами, полевые работы могут проводиться, если это предусмотрено ТЗ, только на перспективных АГХП, выявленных предшествующими работами либо в результате переинтерпретации материалов на подготовительном этапе.

§ 16. Состав полевых работ определяется стадией (подстадией) и масштабом их проведения. При составлении ГХО-200 в опережающем режиме на подстадии оценки изученности и обоснования постановки ГДП-200 в 2-годичном варианте полевые работы ограничиваются собственно площадной съемкой масштаба 1 : 200 000. При составлении ГХО-200 по самостоятельным 3-годичным проектам площадные работы масштаба 1 : 200 000 выполняются в 1-й и 2-й годы. На заключительных этапах во второй и (в некоторых случаях) в 3-й год дополнительно проводятся детализационные и заверочные геохимические работы (разд. 2.3.2) в пределах перспективных АГХП ранга РП, выделенных по результатам съемки масштаба 1 : 200 000, а также на участках, перспективность которых установлена по геологическим, геофизическим, дистанционным и другим данным.

При производстве ГХР-200 в сопровождающем ГДП-200 режиме площадные работы масштаба 1 : 200 000 проводятся на недостаточно геохимически изученных площадях, заверочные — в соответствии с ТЗ на проведение работ по геологическому доизучению площадей.

§ 17. Средняя плотность опробования при производстве площадных ГХР по вторичным ореолам рассеяния составляет не менее 1 пункта (точки) на 1 см² карты отчетного масштаба, т. е. не менее 1 пункта на 4 км² при ГХР-200 и 4 пунктов на 1 км² при ГХР-50. Более подробно варианты сетей приведены в табл. 2.1. Площадные работы сопровождаются выборочным опробованием горных пород из разных геологических комплексов с целью изучения их геохимической специализации (если это предусмотрено в ТЗ), а также минерализованных образований для оценки их потенциальной рудоносности (разд. 2.5.2).

§ 18. Геохимическая съемка масштаба 1 : 200 000 проводится с использованием схемы отработки площади, составленной на этапе проектирования (разд. 2.2). На схеме обозначаются участки проведения работ с использованием вертолетного, автомобильного, вездеходного и водного транспорта, отражается последовательность их отработки, обозначаются места подбаз, лабазов, рациональные маршруты отбора проб (однодневные и многодневные), переходов и переездов между временными стоянками. Планируемая протяженность однодневных и многодневных пеших маршрутов отбора проб определяется ландшафтными условиями проведения ГХР, проходимостью местности, наличием водных преград, подъездов к началу и концу маршрута и т. д.

§ 19. При наличии возможности использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для аэрофотосъемки местности на начальной стадии проведения полевых работ в схему отработки площади вносятся уточнения на основе анализа полученных аэрофотоматериалов. Эти материалы затем применяются также при выделении геолого-ландшафтных таксонов на площади ГХР, по которым проводится раздельная оценка параметров нормального и аномального геохимического поля (§ 106). БПЛА могут также применяться для фотодокументации участков проведения детализационных и заверочных работ.

§ 20. Основные объемы площадных ГХР-200, -50 выполняются полевыми бригадами, состоящими из геолога (техника-геолога) и 1–2 маршрутных рабочих (студентов-практикантов). Организация работ и их методическое сопровождение осуществляются начальником партии и ведущим геологом. В обязанности последних входит также геологический контроль, призванный обеспечить оценку качества опробования.

Таблица 2.1

**Рекомендуемая плотность сетей опробования при литохимической съемке
по вторичным ореолам рассеяния**

Масштаб	Объект прогноза площадь (км ²)	Сети ¹ (м × м)	Плотность сети	
			1 км ² на 1 точку опробования	кол-во проб на см ² карты
1 : 200 000	РП 10–100	1000 × 1000; 2000 × 1000; 2000 × 2000	1; 2; 4	4; 2; 1
1 : 50 000	РМ 1–10	500 × 500; 500 × 250; 500 × 100; 500 × 50*	0,25; 0,12; 0,05; 0,025	4; 8; 20; 40
1 : 25 000	РМ (РТ) 0,1–10,0	250 × 250; 250 × 100; 250 × 50	0,06; 0,025; 0,012	8; 40; 80
1 : 10 000	РТ 0,1–1,0	100 × 100; 100 × 50; 100 × 20	0,01; 0,005; 0,002	100; 200; 500

Пр и м е ч а н и е: жирным шрифтом выделены рекомендуемые значения сети.

*Может применяться при отчетливо выраженной линейности геологического строения, при поисках значительных по размерам зон рудной минерализации при их мощности не менее десятков метров в случае, если последующие детальные работы не предусмотрены. Для обнаружения локальных маломощных рудных тел (например, золоторудных кварцевых жил) требуются детальные работы более крупного масштаба.

§ 21. Геологический контроль в объеме 3 % от общего количества отобранных проб [Инструкция..., 1983, § 233], но не менее 30 проб осуществляется путем проведения контрольных маршрутов с повторным переопробованием выборочных пунктов опробования рядовых исполнителей. При детализационных геохимических работах и ГХР-50 (25) по вторичным ореолам контрольные пробы по возможности отбираются из тех же закопшек (ямок), из которых были отобраны рядовые пробы; при съемках по потокам рассеяния – из донных осадков водотоков на точках опробования с теми же координатами. Контрольное опробование на 2–3-й годы производства ГХР целесообразно проводить на участках, где по имеющейся геологической информации рудная минерализация маловероятна, а по результатам рядового опробования выявлены геохимические аномалии, а также на участках, где известны проявления рудной минерализации, а аномалии не установлены.

§ 22. По результатам геологического контроля и данным первичного опробования вычисляются величины средних систематических расхождений ($\Delta_{\text{сист}}$) и случайных ($\Delta_{\text{случ}}$) погрешностей логарифмов содержаний элементов, характеризующихся значимыми содержаниями и определяющим металлогеническую специализацию площади работ. Расчеты производятся по следующим формулам [Инструкция..., 1983]:

$$\Delta_{\text{сист}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg C_{i1} - \lg C_{i2}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg \frac{C_{i1}}{C_{i2}}, \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{случ}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n} \sum_{i=1}^n |\lg C_{i1} - \lg C_{i2}| = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n} \sum_{i=1}^n \lg \frac{C_{\text{бол}}}{C_{\text{мен}}}, \quad (2)$$

где n – число пар рядовой и контрольной проб (не менее 30); C_{i1} , C_{i2} – результаты анализа проб рядового и контрольного опробования; $C_{\text{бол}}$ и $C_{\text{мен}}$ – большее и меньшее значения из двух результатов анализа. В число пар контрольных проб, по которым производится подсчет погрешно-

¹Применение более редких, чем в «Инструкции...» [1983], квадратных или близких к квадратным сетей опробования позволяет с минимальными финансовыми потерями или вообще без них перейти от полуколичественных к количественным аналитическим методам, и, как следствие, повысить надежность прогноза рудогенных систем, соответствующих масштабу работ, достоверность оценок их рудноформационной принадлежности, минерагенического потенциала или прогнозных ресурсов.

сти, включают лишь те, где хотя бы в одной пробе из двух обнаружено значимое содержание элемента (превышающее нижний предел обнаружения). Если в другой пробе содержание незначимое, ей приписывают значение, равное половине нижнего предела обнаружения элемента.

Антилогарифм систематической погрешности ($S_{\text{сист}} = \text{antlg } \Delta_{\text{сист}}$) показывает, во сколько раз в среднем отличаются содержания в рядовых пробах от содержаний в контрольных. При величине $S_{\text{сист}}$ между рядовыми и контрольными анализами в интервале 0,9–1,1 (т. е. не более 10 % отн.) систематической погрешностью можно пренебречь; при $S_{\text{сист}} > 1,1$ или $S_{\text{сист}} < 0,9$ она подлежит устранению, для чего $\Delta_{\text{сист}}$ вычитают из логарифмов содержаний в рядовых пробах или значения содержаний в рядовых пробах делят на $S_{\text{сист}}$.

Затем вычисляют величину средней относительной случайной погрешности геохимического опробования ($S_{\text{случ}} = \text{antlg } \Delta_{\text{случ}}$). Допустимыми значениями $S_{\text{случ}}$ для рыхлых проб являются значения не более 1,6 (т. е. не более 60 % отн.), для проб коренных пород — не более 2,0 (т. е. не более 100 % отн.) [Инструкция..., 1983]; при большей погрешности работы считаются браком.

§ 23. Выбор методов геохимического площадного опробования определяется геолого-ландшафтными условиями территории (разд. 1.2; прил. 4.17) и масштабом проводимых работ. Такой выбор производится на подготовительном этапе с использованием схемы ландшафтно-геохимического районирования по условиям проведения геохимических работ (разд. 2.2). Могут применяться как один и тот же метод на всей площади, так и, на территориях с варьирующими ландшафтными условиями, разные методы геохимических поисков на отдельных участках площади. При ГХР-200, -50 основное значение имеют следующие методы литохимических съемок:

- при ГХР-200 на преимущественно открытых территориях — по механическим потокам и остаточным вторичным ореолам рассеяния; на закрытых—полузакрытых территориях — по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам, реже по сорбционно-солевым потокам рассеяния;
- при ГХР-50¹ — по вторичным ореолам рассеяния: на открытых территориях по остаточным механическим ореолам, на закрытых—полузакрытых — по наложенным сорбционно-солевым ореолам.

§ 24. Гидрохимические методы при ГХР-200 могут применяться на полузакрытых и закрытых территориях в варианте поисков по потокам рассеяния с опробованием поверхностных вод только в качестве сопутствующего вспомогательного метода при проведении поисковых съемок основными методами и как метод оценки загрязнения окружающей среды. В этом случае требуется специальное обоснование необходимости их применения.

§ 25. Атмохимические методы, нацеленные на выявление надрудных атмохимических ореолов восходящей миграции рудных элементов, могут применяться на закрытых территориях² в качестве метода, потенциально обладающего повышенной поисковой глубиной. При этом производится определение содержаний индикаторных элементов и соединений в приземном или почвенном воздухе. Учитывая технические и методические сложности аналитического определения ультрамалых количеств индикаторных элементов (металлов) в воздушной среде, в настоящее время эти методы при производстве региональных ГХР на территории России не применяются. В случае их планирования для проведения региональных геохимических работ требуется специальное обоснование необходимости их применения и конкретных методик атмохимического опробования.

§ 26. Биогеохимические методы на закрытых территориях применяются крайне ограниченно, в основном при детальных геохимических работах в варианте съемок по вторичным биогеохимическим ореолам с опробованием растительного покрова суши, мхов (биогеохимическая съемка), а также с опробованием водной растительности водотоков и прибрежной части водоемов. Применение биогеохимических методов при производстве региональных ГХР осложняется частым отсутствием на всей территории работ одного и того же конкретного вида биоты, а опробование нескольких растительных видов существенно осложняет интерпретацию аналитических данных. Для применения биогеохимических съемок требуется специальное обоснование.

§ 27. Глубинное литохимическое опробование на полузакрытых и закрытых территориях при региональных ГХР масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000, в том числе применение тиллевой съемки, как правило, нецелесообразно. Глубинное литохимическое опробование следует применять только при детальных работах масштабов 1 : 25 000 — 1 : 10 000.

¹ По опыту работ, применение метода поисков по потокам рассеяния в масштабе 1 : 50 000 не несет существенную дополнительную прогнозную информацию в сравнении с результатами предшествующих геохимических работ масштаба 1 : 200 000. Поиски по вторичным ореолам в этом масштабе более информативны.

² При производстве региональных геохимических работ на территории Китая применяется атмохимический метод GEOGAS (разд. 1.2).

2.3.1.2. Литохимическое опробование по потокам и вторичным ореолам рассеяния на открытых территориях

§ 28. На открытых территориях в ландшафтах расчлененных горных областей, в пределах которых лишь фрагментарно развиты ландшафты слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий с повышенной мощностью автохтонных рыхлых образований (полузакрытые площади), при ГХР-200 применяются методы поисков по механическим потокам рассеяния (прил. 4.17), которые на полузакрытых и закрытых фрагментах площади работ дополняются методами поисков по наложенным сорбционно-солевым потокам рассеяния (например, МАСФ ПР) или по наложенным вторичным ореолам рассеяния.

§ 29. В существующих «Требованиях...» [2021] методика опробования по потокам рассеяния не регламентируется¹, что на практике приводит к проведению этих работ по усмотрению исполнителей в различных вариантах. Чаще всего применяются следующие два близких способа опробования.

1. Способ опробования рыхлых отложений водотоков I–IV порядков в масштабе 1:200 000 с шагом 500 м, регламентированный «Инструкцией...» [1983] (рис. 2.1). Опробование начинается в 1,5–2,0 км от водораздела и заканчивается в 10–15 км вниз по течению. Плотность опробования в зависимости от реальной густоты речной сети составляет 1 проба на 0,7–2,0 км².

2. Способ опробования, используемый ФГБУ «ИМГРЭ» при производстве геохимических работ по составлению ГХО-200 (рис. 2.2). Литохимическое опробование по потокам рассеяния донных осадков водотоков I–III порядков производится с шагом в среднем 1,0–1,5 км, дополнительно опробуются почвы на слабодренлируемых водоразделах². Средняя плотность пробоотбора – 1 проба на 1,5–2,0 км².

Для повышения результативности литохимических съемок по потокам рассеяния на открытых территориях рекомендуется использовать апробированную при производстве региональных ГХР-200³ технологию ФГБУ «Институт Карпинского» [Соколов, Марченко и др., 2019]. В соответствии с этой технологией, при литохимической съемке по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 опробуются аллювий постоянных водотоков I и, иногда, II порядков. На участках, где плотность таких водотоков недостаточна, дополнительно опробуются пролювиальные отложения временных водотоков, рыхлые отложения эрозионных ложбин и нижних частей склонов. В § 31–38 приводится детальное описание этой технологии.

Выбор того или иного способа опробования из приведенных выше при производстве геохимической съемки по потокам рассеяния, как и выбор технологии проведения ГХР-200 в целом на конкретных территориях, обосновывается в проекте на проведение работ.

§ 30. Опробование по потокам рассеяния в масштабе 1:200 000 проводится с использованием **проектной карты опробования** (прил. 5.1), составленной в подготовительный период. Проектная карта составляется на топографической основе на масштаб крупнее проводимых геохимических работ. При ГХР-200 опробование аллювия проводится по водотокам, отраженным на топографических картах масштаба 1:100 000.

§ 31. При ГХР-200 по технологии ФГБУ «Институт Карпинского» опробуются донные осадки приустьевых частей водотоков I порядка с относительно близкими по площади бассейнами водосбора, содержания элементов

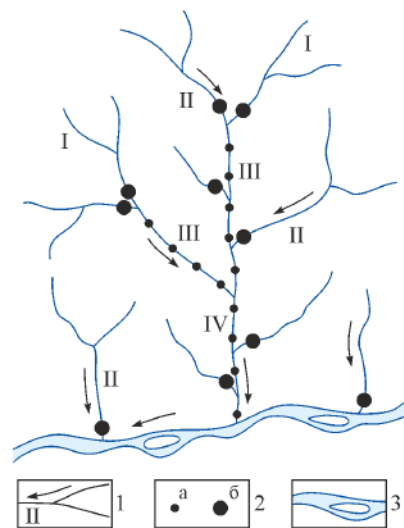


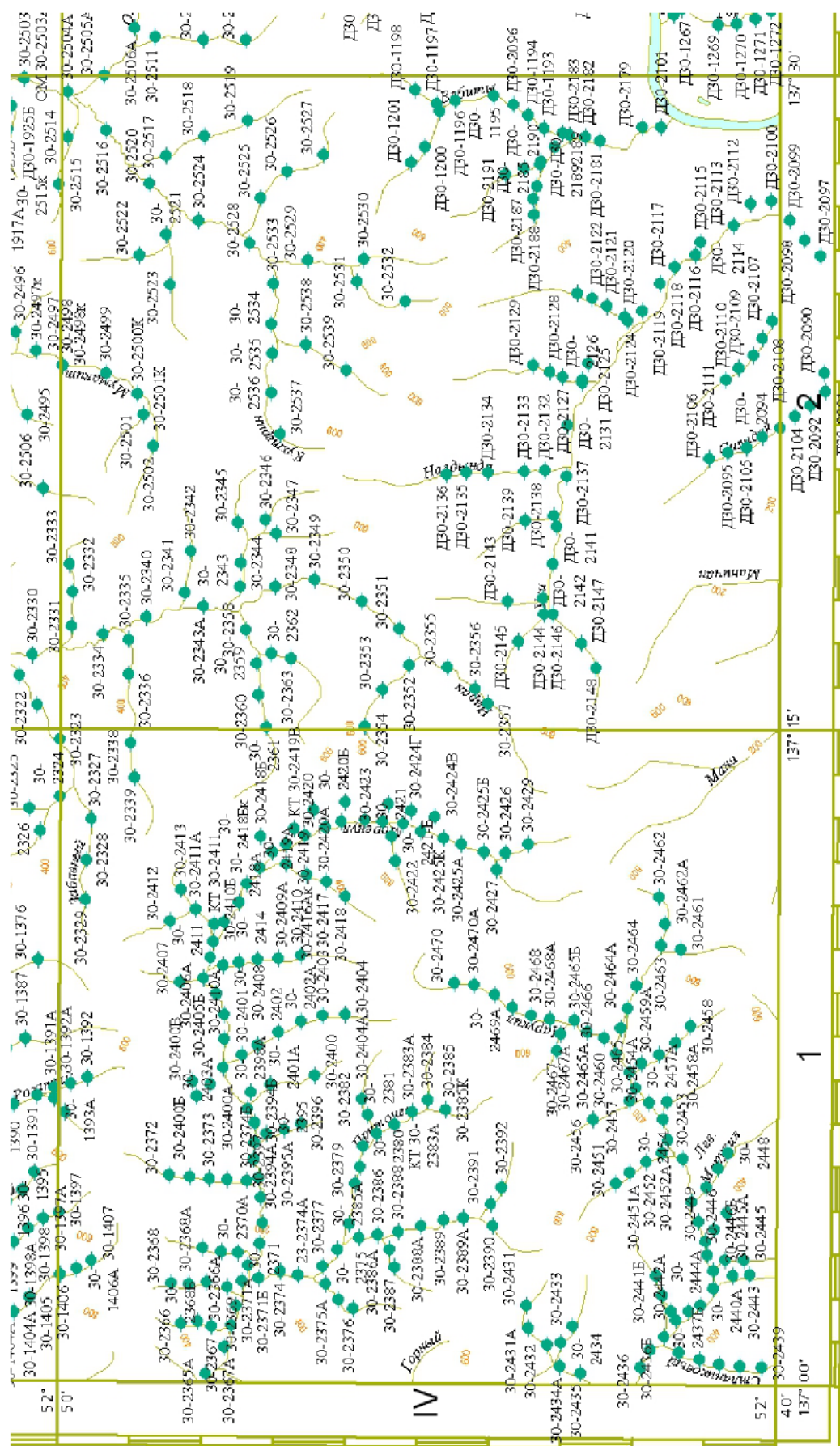
Рис. 2.1. Принципиальная схема опробования при региональной литохимической съемке масштаба 1:200 000 по потокам рассеяния [Справочник..., 1990]:

1 – реки и их порядок; 2 – точки отбора проб (а – рядовых, б – двойных); 3 – магистральная река

¹ Приводится только карта опробования донных отложений (рис. 2.2).

² Способ опробования приводится на примере листов О-50-XXIX,XXX (Чарская площадь, Якутия).

³ При составлении ГХО-200 на Дальнем Востоке и в Сибири по 19 листам Т-47-XXVIII,XXIX,XXX, Т-48-XXV, XXVI,XXVII, Т-48-XVI,XVII,XVIII, Т-47-XVI,XVII,XVIII, Т-47-XXII,XXIII), Т-48-XIII,XIV,XV, R-49-XXI,XXII, апробированных и принятых на Геохимической секции НРС, и при производстве поисковых геохимических работ масштаба 1:200 000 на листах М-52-XXIX,XXX,XXXV,XXXVI (Малохинганская площадь, Дальний Восток).



в рыхлом материале которых будут сопоставимы между собой, т. е. адекватные по масштабу рудные объекты в близких по площади бассейнах водосбора будут отражаться близкими содержаниями элементов в отбираемых пробах. При этом бассейны водосбора выделяются с таким расчетом, чтобы свести к минимуму площади остающихся геохимически не охарактеризованных участков. По опыту работ, эти два условия достигаются при выделяемой площади бассейнов водосбора водотоков I порядка в каждом конкретном случае от 2 до 8 км².

§ 32. В местах слияния водотоков I порядка в каждом из них опробование производится выше места их слияния на минимальное расстояние, заключающее попадание в пробу материала, принесенного смежным водотоком. Как правило, это расстояние составляет 100–300 м от слияния водотоков. Для водотоков I порядка с бассейном водосбора менее 8 км², непосредственно впадающих в ручьи и реки II–IV порядков, опробование производится выше их устья на расстоянии, исключающем попадание в пробу аллювия водотока более высокого порядка.

§ 33. Для исключения случайных флуктуаций содержаний элементов, связанных с ландшафтными условиями, попаданием в пробу органического материала и т. п., а также для получения более объективной характеристики содержаний элементов на площади бассейна денудации, в приустьевой части мелких водотоков I порядка с бассейнами водосбора 2–5 км² отбираются две пробы с расстоянием между ними 500 м (рис. 2.3) на отрезке с явными признаками накопления аллювия, которые определяются непосредственно на местности (например, на отрезке ручья с накоплением на его дне песчаного или илесто-глинистого материала). По вышеуказанным причинам для более крупных водотоков I порядка (с бассейнами 5–8 км²) отбираются три пробы, как и в предыдущем случае, на отрезке с явными признаками накопления аллювия, с шагом 500 м (рис. 2.3). В упрощенном варианте допускается для водотоков с бассейнами водосбора как 2–5 км², так и 5–8 км² отбор двух (в том числе сближенных) проб с расстоянием между ними 20–50 м, как это предусмотрено «Инструкцией...» [1983] (§ 124) в концевых точках опробования аллювия водотоков I порядка.

§ 34. С целью минимизации геохимически не охарактеризованных «белых пятен» дополнительно опробуются рыхлые отложения в нижней, прилегающей ко дну долины части крупных эрозионных ложбин и временных водотоков с бассейнами сноса рыхлого материала ≥ 2 км² (см. рис. 2.3). Здесь, как и для мелких водотоков I порядка, отбираются две пробы с расстоянием между ними до 500 м в низовьях врезанного в днище ложбины углубления или периодически протекающего по ней временного водотока. При этом отбор проб должен производиться вне сильно заболоченных участков, где невозможно докопаться до подторфяных отложений, и выше по склону участков, которые периодически подвергаются затоплению паводковыми водами.

§ 35. На отрезках русла водотоков старших порядков (II–IV), где отсутствуют боковые притоки I порядка и крупные эрозионные ложбины, дополнительно опробуется рыхлый материал нижних, прилегающих ко дну долины частей мелких эрозионных ложбин с бассейнами сноса ≤ 2 км². По 2–4 пробам, расположенным на расстоянии 1,0–1,5 км друг от друга, достаточным для фиксации АГХП ранга РП площадью $n \times 10^1$ км², выделяется суммарная площадь сноса рыхлого материала (рис. 2.3; прил. 5.1). Суммарная площадь сноса уже при отборе двух соседних проб становится, как правило, более 2 км², т. е. среднее содержание элемента по этим пробам, характеризующее суммарную площадь, будет сопоставимо с содержаниями в пробах, отобранных из аллювия водотоков I порядка (2–8 км²).

Если и после этого в пределах территории съемки останутся геохимически

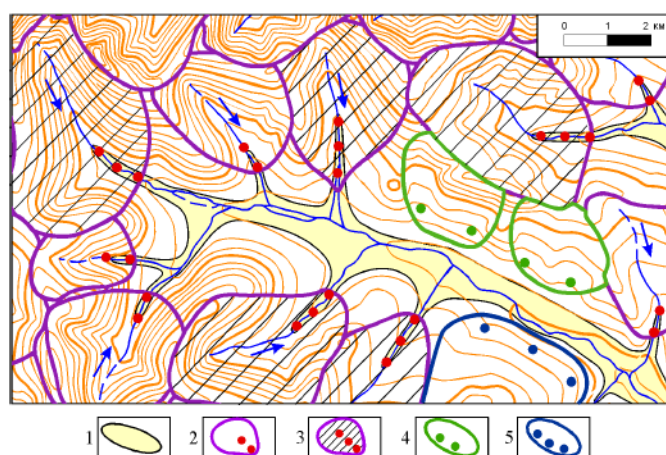


Рис. 2.3. Схема опробования рыхлых отложений водотоков I порядка, эрозионных ложбин и нижних частей ровных склонов:

1 – аллювиальные отложения днищ долин (пойменные отложения); 2–3 – бассейны водосбора и точки опробования водотоков I порядка: 2 – площадью 2–5 км² – отбираются две пробы с расстоянием между ними 500 м; 3 – площадью 5–8 км² – отбираются три пробы с шагом 500 м; 4 – бассейны сноса и точки опробования рыхлых отложений (делювий, коллювий или пролювий) эрозионных ложбин (площадью < 2 км²); 5 – площади сноса рыхлого материала и точки опробования (делювий, коллювий или пролювий) ровных склонов

не охарактеризованные фрагменты площадью более 10 км² (минимальная площадь РП – основного объекта прогноза при ГХР-200), а также на неопробованных участках меньшей площади, дополнительно отбирается рыхлый материал в нижних частях протяженных, относительно ровных склонов (по возможности, в низовых мелких локальных ложбин и ложков) с шагом примерно 1,0–1,5 км (рис. 2.3; прил. 5.1), достаточным для фиксации АГХП ранга РП. По 3–4 пробам выделяется суммарная площадь условного сноса рыхлого материала (рис. 2.3). Как и в предыдущем случае (§ 34), отбор проб должен производиться вне сильно заболоченных участков и выше зоны влияния паводковых вод.

§ 36. На участках расчлененного горного рельефа при ГХР-200 допускается опробование аллювия водотоков II порядка с шагом 500 м в случае их протекания по отчетливо врезанной во вмещающие породы V-образной долине.

§ 37. При ГХР-200 литохимическую съемку по потокам рассеяния на равнинных и слаборасчлененных площадях (углы склонов до 5°) проводить нецелесообразно¹. Здесь рекомендуются геохимические работы по остаточным вторичным ореолам рассеяния на открытых территориях, например, на многих участках Анабарского щита, характеризующихся холмисто-увалистым рельефом с развитием преимущественно элювиально-делювиальных отложений (рис. 2.4) или по наложенным вторичным ореолам на отдельных закрытых участках в пределах открытых территорий (рис. 2.5). В этих случаях опробование проводится по регулярной сети 1 × 1, 2 × 1, 2 × 2 км (табл. 2.1).

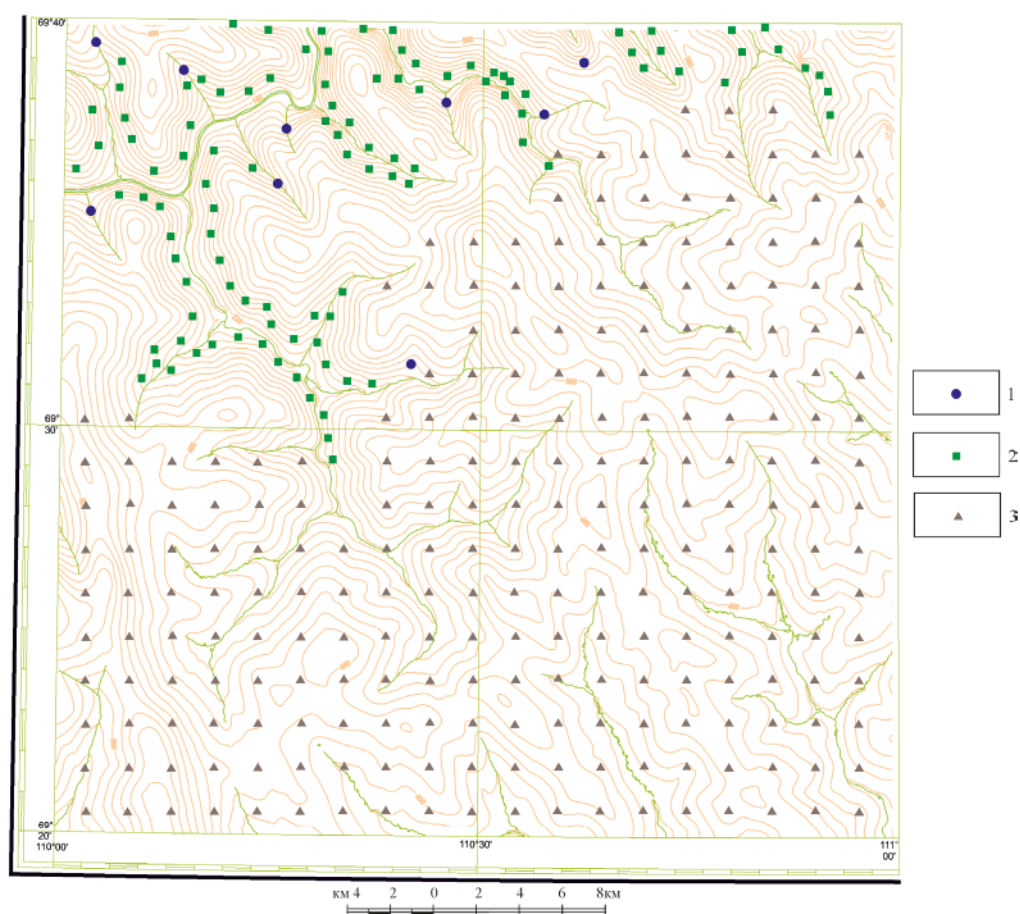


Рис. 2.4. Фрагмент карты фактического материала литохимического опробования Сергеевской площади (материалы М. А. Калинина, М. Ю. Ладыгиной):

1 – пункты опробования донных осадков речной сети; 2 – пункты опробования рыхлых отложений нижних частей склонов и эрозионных ложбин; 3 – пункты опробования рыхлых отложений по вторичным ореолам (сеть 2 × 2 км)

¹ На таких площадях денудация материала ближних пологих склонов в водотоки отсутствует или резко ослаблена, роль делювиального смыва на два-три порядка ниже, чем в средне-, сильнорасчлененных элементарных ландшафтах (Методические рекомендации..., 1992). Следовательно, содержания элементов в аллювии водотоков могут определяться содержаниями в подстилающем пойму водотока коренном субстрате, а также – чуждым материалом, принесенным с верховьев бассейна водосбора, а не с ближних склонов. В этом случае пространства между водотоками окажутся геохимически не охарактеризованными, что может привести к пропуску рудных объектов.

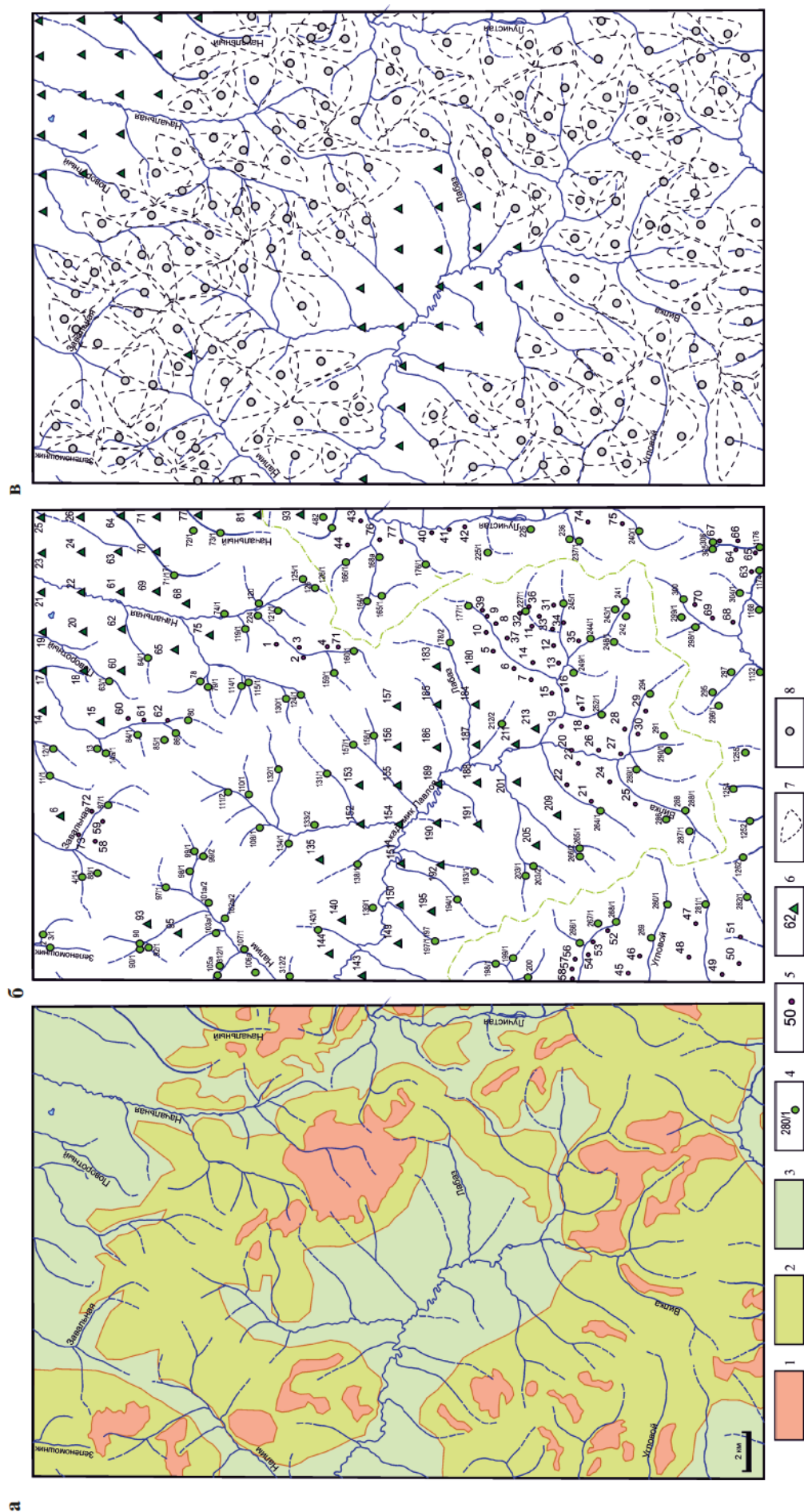


Рис. 2.5. Фрагменты схемы районирования по условиям проведения геохимических работ (а), карты опробования по потокам и вторичным ореолам рассеяния в масштабе 1 : 200 000 (б) и карты центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала (в).

Лист Q-56-XXXIII (Белоночская площадь):

1 — открытые территории; 2 — полузакрытые территории; 3 — закрытые территории; 4 — места отбора двух проб из аллювия постоянных водотоков [порядка с расстоянием между ними 500 м; 5 — опробование рыхлых отложений нижних частей склонов и эрозонных ложбин; 6 — пункты опробования рыхлых отложений по сети 2×2 км; 7 — бассейны водосбора; 8 — центры бассейнов водосбора, сноса рыхлого материала

§ 38. В зависимости от степени расчлененности и морфологии рельефа, плотность опробования по рассматриваемой технологии составляет 1 проба на 1,0–2,5 км², реже – до 4 км², что соответствует съемке масштаба 1 : 200 000.

§ 39. Основной задачей геохимических работ масштаба 1 : 50 000 по вторичным ореолам рассеяния является выделение перспективных АГХП ранга РМ (1–10 км²) и соответствующих участков под постановку детальных работ. При ГХР-50 на площадях с преимущественным развитием элювиально-делювиальных отложений (открытые территории) в случае, если азимуты простирания линейных потенциально рудоносных зон установлены, площадные работы по остаточным вторичным ореолам рассеяния проводятся по сетям 500 × 250, 500 × 100 м (оптимальные при прогнозе рудных линейных объектов ранга РМ); при изометричной форме ожидаемых рудных объектов – по сети 250 × 250 м (оптимальный вариант) или по сети 500 × 500 м – минимальная плотность опробования в масштабе 1 : 50 000¹ (табл. 2.1).

§ 40. В ходе полевых работ при ГХР-200, в соответствии с «Требованиями...» [2021], составляются две *карты фактического материала* литохимического опробования: по потокам и вторичным ореолам рассеяния, которые в камеральный период при построении моно- и полиэлементных ореолов объединяются в одну *сводную карту фактического материала*. На этих картах выносятся контуры сноса рыхлого материала, все точки отбора рыхлых проб в приустьевой части водотоков I порядка, в нижних частях эрозионных ложбин и ровных склонов, а также проб, отобранных по регулярной сети. Все **без исключения** пробы по завершению полевого сезона направляются в лабораторию для аналитических определений содержаний элементов (разд. 2.4).

§ 41. Пробы, отобранные по выше рассмотренной методике, согласно модели А. П. Соловова [1985], формируются за счет всего бассейна денудации водотоков I порядка, **т. е. характеризуют содержания элементов не в подстилающую точку отбора коренном субстрате, а на всей площади бассейна водосбора (для эрозионных ложбин – всей площади сноса рыхлого материала)**. В этой связи с использованием *сводной карты фактического материала* литохимического опробования по потокам и вторичным ореолам рассеяния составляется *карта центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала* (рис. 2.5; прил. 5.2) путем отнесения точек опробования, расположенных в нижней части бассейнов водосбора и площадей сноса рыхлых склоновых отложений, к их центрам. Выделение таких центров производится с применением ГИС-технологий или вручную. Затем к этим центрам привязываются аналитические данные (§ 117), и на этой основе строятся карты моноэлементных и полиэлементных аномалий в изолиниях (разд. 2.5.1.2).

2.3.1.3. Литохимическое опробование по вторичным ореолам и потокам рассеяния на закрытых и полужакрытых территориях

§ 42. На преимущественно закрытых–полужакрытых территориях с фрагментарно встречающимися открытыми участками (например, Карело-Кольский регион)² при производстве региональных ГХР рекомендуются методы по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам рассеяния, приоритетными среди которых (по результатам практического их применения на территории Российской Федерации) являются МАСФ-МАПФ, МММ, МЕФФА (разд. 1.2; прил. 4.17). Другие методы (см. с. 21), до настоящего времени практически не используемые при производстве региональных площадных ГХР, могут применяться после обоснования их поисковой эффективности и экономической целесообразности в конкретных условиях. При ГХР-200 на полужакрытых территориях – в ландшафтах слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий – рационально также применение метода анализа сверхтонкой фракции по потокам рассеяния (МАСФ ПР) с опробованием донных осадков водотоков.

¹ Расчеты показывают, что вероятность выявления основного объекта прогноза и поисков при ГХР-50 ранга РМ с применением вышеуказанных квадратных и близких к квадратным сетей опробования практически равна 100 % [Соколов, Марченко, 2019].

² В Карело-Кольском регионе России региональные работы проводились преимущественно по остаточным вторичным ореолам и механическим потокам рассеяния, т. е. методами, эффективными на открытых и неэффективными на закрытых территориях; в соседней Финляндии применялась информативная при поисках в сложных ландшафтных условиях территории тиллевая съемка (разд. 1.2). В результате сложилась парадоксальная ситуация: Государственная граница России и Финляндии разделяет Балтийский щит на две части: западную продуктивную, где выявлены многочисленные месторождения металлов (Au, Pt, Ni, Cu, Pm, Cr, Nb и др.) преимущественно на закрытых и полужакрытых площадях, и восточную малопродуктивную, на которой известные рудные объекты (Fe, V, Ti, Ni, Cu и др.) обнаружены в основном в благоприятных для поисков традиционными методами ландшафтах расчлененных горных сооружений (Мончегорский, Печенгский РР и некоторые другие).

§ 43. По технологии МАСФ (разд. 1.2) при ГХР-200 опробование рекомендуется проводить следующим образом:

– при ГХР-200 на полузакрытых территориях, в ландшафтах слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий – по методике МАСФ ПР с опробованием аллювия водотоков, дополненное опробованием по методике МАСФ рыхлых отложений нижних частей склонов так же, как это делается при производстве работ по потокам рассеяния на открытых территориях (см. § 31–36);

– при ГХР-200 на закрытых территориях – по вторичным ореолам рассеяния по регулярной сети, соответственно, 1×1 км (оптимальный вариант), 2×2 км (см. табл. 2.1); при ГХР-50 – 250×250 м, 500×500 м (см. табл. 2.1).

В последнем случае при проведении работ на сильно заболоченных участках с повышенной мощностью торфяных отложений горизонта A_1 , где опробование горизонта G технически не представляется возможным, в комплексе с МАСФ рекомендуется использовать метод анализа подвижных форм (МАПФ) с опробованием торфяного горизонта A_1 . При этом по завершении полевых работ в камеральный период расчет фоновых содержаний элементов должен проводиться раздельно по опробуемым средам: для горизонтов B , G (МАСФ) и горизонта A_1 (МАПФ) с последующим выделением аномалий в коэффициентах концентрации, нормированных (стандартизованных) содержаниях или с применением уравнений регрессии содержания элемента от содержания органического углерода [Макарова, Соколов, 2015]. Масса отбираемой торфяной пробы должна обеспечивать получение при последующем озолении навески, достаточной для аналитических определений содержаний элементов количественными методами (0,5–1,0 г). При зольности материала горизонта A_1 в среднем на уровне 2–5 % вес пробы должен составлять не менее 100 г, что соответствует объему стандартного пробного мешочка (10×20 см). При этом следует воздержаться от опробования горизонта A_0 , содержащего переменные количества слабо разложившейся растительной подстилки и минеральных частиц, т. к. в этом случае возникают проблемы с надежной оценкой для таких проб фоновых и аномальных содержаний элементов. По этой же причине при наличии в минеральной пробе, отобранной из горизонта B или G , неразложившегося растительного материала, такой материал после просушки при просеивании подлежит удалению способом отдувки (растительные остатки) исполнителем работ.

§ 44. При проведении геохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния, как и при съемке по потокам рассеяния, в случае отсутствия в проектной точке представительного материала опробование проводится в подходящих условиях вблизи от проектной точки. Допускается смещение от проектной точки на расстояние, не превышающее половины шага опробования или половины расстояния между профилями с сохранением координат точек реально выполненного пробоотбора. Если вблизи проектной точки не удастся найти точку с подходящими условиями, проба не отбирается.

§ 45. По технологии ММІ почвенные пробы массой 300–500 г отбираются методом непрерывной борозды из интервала глубин 10–15 см ниже дневной поверхности или подошвы гумусового слоя A при его наличии, т. е. без привязки к конкретному почвенному горизонту [Mann et al., 2005; Mann, 2010], хотя указанный интервал глубин чаще всего соответствует горизонту B . Пробы помещаются в полиэтиленовые пакеты и в таком виде направляются в лабораторию без какой-либо полевой пробоподготовки. Допускается только подсушивание наиболее мокрых проб при комнатной температуре непосредственно в полиэтиленовом пакете, открытом сверху.

§ 46. По технологии МЕFFA отбор проб производится так же, как по технологии МАСФ (§ 43). Отобранные пробы высушиваются и направляются в лабораторию, где затем производятся выделение фракции < 5 –10 мкм методом отмучивания в воде и аналитические исследования.

2.3.1.4. Отбор проб, полевая документация и пробоподготовка

§ 47. При ГХР-200 в постоянных и временных водотоках I порядка опробуется илисто-глинистая или песчаная фракция аллювиальных или пролювиальных отложений. В тех случаях, когда при выходе на проектную точку опробования условия неблагоприятны для отбора представительной пробы мелкозема (донные отложения водотока оказываются в стороне от точки с проектными координатами или в проектной точке представлен только органогенный торфяной материал и т. п.), следует на местности вблизи от проектной точки найти место с подходящими условиями для отбора пробы. Допускается смещение от проектной точки на расстояние, не превышающее половины шага опробования (расстояния между соседними точками пробоотбора). Координаты точек реально выполненного пробоотбора сохраняются в памяти GPS-навигатора и затем включаются в базу данных геохимического опробования, по которой строится карта

фактического материала. В случае, если вблизи проектной точки не удастся найти место с подходящими условиями, проба не отбирается, в журнале опробования фиксируется неотбор пробы и указывается его причина.

§ 48. Пробы отбираются из головных частей кос или из русловых отложений с поверхности либо с глубины до 60 см. При ГХР-200 из эрозионных ложбин, конусов выноса и ровных протяженных склонов опробуется мелкозем из делювия, коллювия или пролювия. Вес отбираемой пробы должен обеспечить выход фракции < 1 мм массой 100–200 г, достаточной для последующих аналитических определений содержаний элементов количественными методами (ААС на Au, ICP-MS, ICP-AES и др.), при необходимости для повторных анализов и для получения дубликата пробы для хранения. В зависимости от гранулометрического состава рыхлых отложений вес отбираемой пробы составляет 200–300 г (глинисто-суглинистые отложения, тонкие супеси), 300–500 г (супесчаные и песчаные отложения), более 500 г (крупнозернистые пески, гравийно(галечно)-песчаные отложения).

§ 49. Отбор проб при литохимической съемке по вторичным ореолам рассеяния производится:

– при ГХР-200 на равнинных и слаборасчлененных площадях, перекрытых автохтонными элювиально-делювиальными отложениями, относящихся к категории открытых территорий (разд. 1.2, § 37) и при ГХР-50 на открытых территориях с фрагментами полузакрытых территорий – по стандартной методике литохимических поисков по остаточным вторичным ореолам;

– при ГХР-200, -50 на полузакрытых и закрытых территориях – по технологиям МАСФ, МЕФФА, ММІ или других методов литохимических поисков по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам рассеяния.

§ 50. Пробы рыхлых образований отбираются из представительного приповерхностного горизонта, положение которого в каждой конкретной точке определяется при проходке и документации закопушки. Типичные почвенные горизонты и положение представительного горизонта опробования показаны на рис. 2.6. При полном развитии почвенного профиля представительным является иллювиальный горизонт В, залегающий ниже обогащенного гумусом горизонта А₁, а в подзолистых почвах – ниже осветленного элювиального горизонта вымывания А₂. Горизонт В, обычно имеющий красноватую (красновато-бурую, темно-желтую, оранжевую, рыжую) окраску, характеризуется относительным накоплением гидроксидов железа, марганца и фиксацией в нем других металлов, что приводит к усилению полезного геохимического сигнала, получаемого при литохимическом опробовании рыхлого покрова.

В случае неразвитости почвенного профиля, что встречается на отдельных участках открытых, реже – полузакрытых территорий (в тундровых ландшафтах, на гребнях сопок и крутых склонах с обнажениями коренных пород и выходом на дневную поверхность дезинтегрированного элювиально-делювиального чехла коренных пород), пробы отбираются с меньшей глубины (0,05–0,2 м), что соответствует горизонтам С (мелкозем дезинтегрированной породы) или D (дресва), слабо затронутым почвенными процессами. На закурумленных склонах допускается отбор в пробу глинисто-суглинистого или супесчано-песчаного материала из межглыбового пространства или из корневой системы преимущественно травянистых растений¹. В областях развития мерзлотных ландшафтов пробы могут отбираться из мерзлотных медальонов.

В заболоченных ландшафтах пробы отбираются из оглеенного горизонта В_г, залегающего ниже гумусового (торфяного) горизонта А₁, или из минерального глеевого горизонта G, залегающего под слоем торфа. Материал горизонта G обычно представлен суглинками зеленовато-серого или голубовато-серого цветов.

Если на **открытых** территориях² в точке опробования представлен только сплошной органический материал (мощный торфяной слой и т. п.), опробование не производится. Также не производится отбор проб из горизонта не оттаявшей многолетней мерзлоты, потому что, как правило, соответствующий материал содержит только органическое вещество и лед.

§ 51. Глубина отбора проб зависит от фактического положения указанных горизонтов и обычно составляет 0,2–0,5 м, реже до 1,0–1,5 м, что позволяет проводить работы с помощью лопаты или кайла либо легкого переносного мотобура, ручного механического бура.

Как и при опробовании аллювия (§ 48), вес отбираемой пробы зависит от гранулометрического состава рыхлых отложений и составляет 200–300 г (глинисто-суглинистые отложения, тонкие

¹ В конкретных ландшафтах существуют виды растений, в корневой системе которых, с высокой вероятностью, обнаруживается песчано-глинистый материал с минимальным количеством или отсутствием органики.

² На закрытых территориях отбор проб рекомендуется проводить с использованием метода МАПФ (разд. 1.2, § 43).

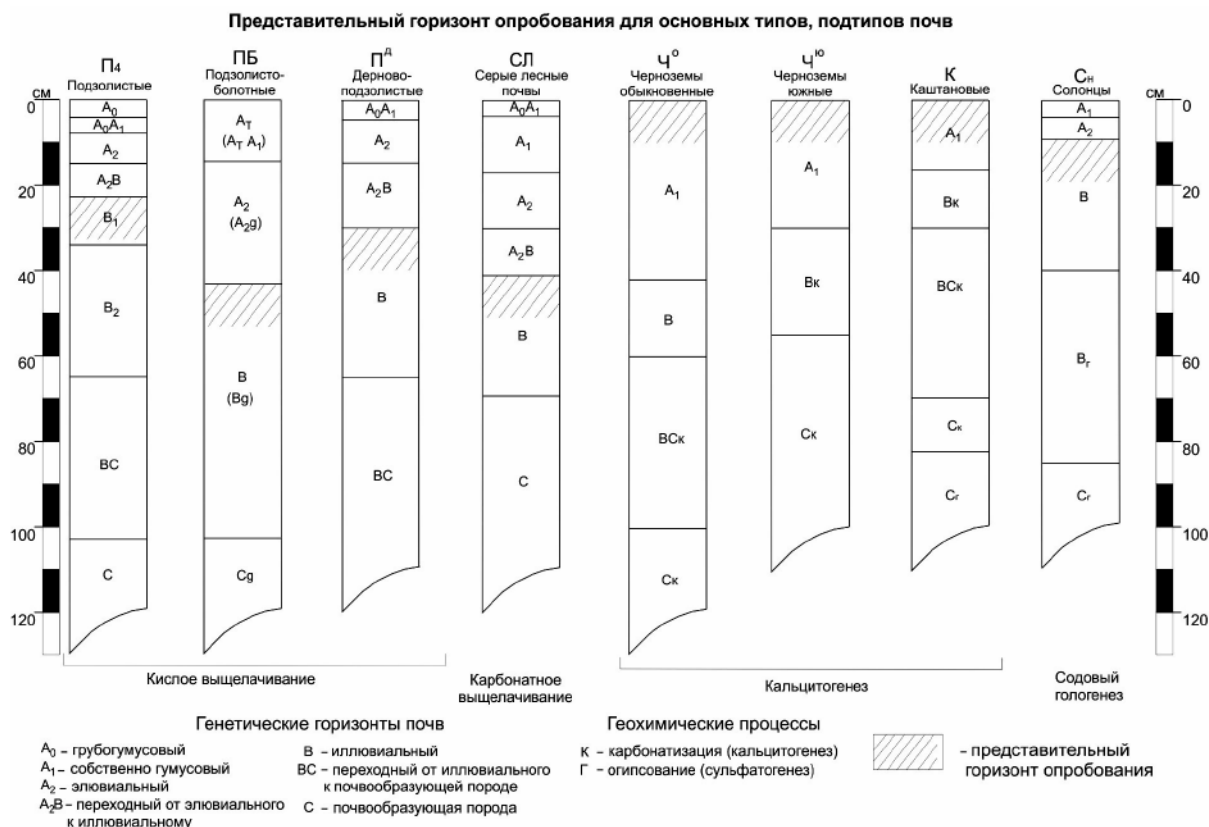


Рис. 2.6. Типичные почвенные разрезы основных типов почв и положение в них представительного горизонта опробования [Требования..., 2021]

супеси), 300–500 г (супесчаные и песчаные отложения), более 500 г (крупнозернистые пески, гравийно-песчаные отложения).

Каждая литохимическая проба получает свой уникальный номер, который составляется из нескольких цифр, либо букв и цифр, обозначающих индекс типа пробы и номер пробы. При площадной съемке по вторичным ореолам рассеяния номер пробы состоит из индекса и номеров профиля и пикета точки опробования. Пробы отбираются в плотный тканевый мешочек, не допускающий пыления сухого материала. Каждая проба обязательно сопровождается бумажной этикеткой с номером пробы, вложенной в полиэтиленовый пакетик с замком (гриппер)¹, который помещается в пробный мешочек. Возможно использование ламинированных этикеток.

С целью предотвращения перекрестного заражения проб желательно однократное использование пробных мешков. При повторном их использовании они в обязательном порядке должны быть вывернуты наизнанку и тщательно вытрясены (обколочены о твердый предмет) с целью удаления из ткани мешочка застрявших частиц материала ранее отобранной пробы².

При региональных ГХР-200 пробоотбор может сопровождаться фотодокументацией точек опробования³. В этом случае каждый мешочек подписывается уникальным номером отобранной пробы. На фотографии должны быть видны закопушка, материал пробы и номер точки отбора (рис. 2.7). В случае отсутствия материала для пробоотбора делается фотография местности, на которой должен быть четко отображен ландшафт.

§ 52. Для ориентирования на местности и ведения документации рекомендуется использовать специализированную программу Sherpa на современных планшетных компьютерах на базе системы Android. Программа Sherpa позволяет ориентироваться на местности за счет GPS-навигации,

¹ Универсальные полиэтиленовые пакеты со специальным струнным замком zip-lock.

² По результатам опытных работ установлено, что после удаления из ткани мешочка застрявших частиц материала ранее отобранной пробы с экстремально высокими содержаниями элементов заражение отобранной в этот мешочек пробы с фоновыми содержаниями не происходит.

³ Обязательное условие при производстве региональных геохимических работ за рубежом и поисковых геохимических работ крупными частными компаниями на территории России.



Рис. 2.7. Примеры фотодокументации точки отбора

работать с различными картографическими слоями, вести соответствующую документацию, осуществлять точную координатную привязку точек наблюдения и опробования, создавать и хранить геопривязанные фотографии. В предполевой период проводится разработка легенды, соответствующей ландшафтным условиям и геологическому строению площади работ, и внесение ее в программу Sherpa. В это же время в программу вносятся плановые точки отбора проб.

§ 53. Документирование опробования ведется с использованием технологии по ведению полевой документации Sherpa, а при ее отсутствии – от руки на бумажном носителе, непосредственно на площади проведения работ в процессе опробования.

Легенда включает следующий перечень фиксируемых при отборе каждой пробы ландшафтных и геологических характеристик:

- характеристики элементарного ландшафта в точке опробования;
- условия пробоподготовки (глубина, почвенный горизонт и т. п.);
- характеристики материала пробы (состав проб, их цвет, наличие или отсутствие органо-генного материала и др.);
- геологические характеристики (обнаженность в окрестности точки опробования, тип коренных пород или развалов каменного материала при их наличии, признаки изменения пород и рудной минерализации).

Указанные характеристики приведены в рекомендуемой форме журналов литохимического опробования при проведении работ по потокам и вторичным ореолам рассеяния (прил. 4.2, 4.3).

Полные сведения о технологии ведения полевой документации Sherpa приводятся в руководстве «Технология использования мобильных устройств при ГРП (технология Sherpa версии 4.2.5)» на официальном сайте Института Карпинского (https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/prog_ggk200-ggk1000/sherpa/).

§ 54. После завершения полевых работ вся рабочая информация с планшетных компьютеров переносится на персональный компьютер и формируется цифровая база данных. Кроме того, составляется итоговая карта фактического материала на основе экспортированных с рабочих планшетов файлов формата shp, имеющих координатную привязку.

§ 55. Полевая пробоподготовка глинисто-суглинистых и песчано-супесчаных рыхлых образований, отобранных по стандартной методике и по технологии МАСФ, МЕФФА, заключается в их просушке, просеивании, упаковке просеянных проб в бумажные капсулы либо в грипперы, которые помещаются в коробки или ящики. На территориях с коротким полевым сезоном и суровыми климатическими условиями (арктическая и субарктическая зоны) допускается отправка подсушенных проб в лабораторию в пробных мешочках, упакованных в мешки или ящики.

Просушка проб может производиться в зависимости от климатических условий на открытом воздухе или в специальных помещениях, как правило, в 10-, 20-местных палатках, оборудованных при необходимости тепловой пушкой или печью. В таких случаях пробы должны находиться не ближе 1–2 м от источника тепла, чтобы избежать потерь легколетучих элементов (Hg, Sb и др.). Пробы сушатся на специальных вешалах (жердях) или полках из крупной сетки.

Сцементированные после просушки пробы подлежат деликатному дроблению (или раздавливанию) обычно прямо в матерчатых пробных мешочках, без нарушения целостности минеральных зерен с использованием, например, деревянной киянки.

Пробы просеиваются через сито из нержавеющей стали с размером ячеек 1 мм, если при съемах по наложенным сорбционно-солевым потокам и ореолам рассеяния техническим заданием не предусмотрен иной размер гранулометрической фракции. Не допускается использование сит из сплавов цветных металлов (латунные и т. п.) в связи с высокой вероятностью заражения проб. На этом этапе пробоподготовки в случае наличия в пробе органического материала он удаляется при просеивании путем извлечения вручную или путем элементарной отдувки. Практикуемая иногда для удаления органики мокрая сепарация (отмывка в водной среде) не рекомендуется к применению по причине значительных потерь высокоинформативных тонкой и сверхтонкой (илисто-глинистой) фракций¹. После просеивания каждой пробы проводится очистка сита для исключения заражения последующей пробы. **Просеянные пробы упаковываются в тару в случайном по номерам порядке, сопровождаются соответствующей описью, согласно которой анализируются в лаборатории (см. пояснения § 102).**

2.3.1.5. Литохимическое опробование коренных пород

§ 56. Геохимическое опробование коренных пород проводится с целью:

- получения геохимических характеристик горных пород, геологических комплексов (ГК) и оценки их геохимической специализации;
- прогноза металлогенической специализации и минерагенического потенциала геологических подразделений;
- изучения химического состава известных на территории проявлений ПИ для обоснованной и корректной интерпретации аномалий, выявляемых при геохимических работах по вторичным ореолам и потокам рассеяния;
- оценки уровня содержания элементов в потенциально рудоносных образованиях.

Оценка геохимической (металлогенической) специализации производится при создании ГХО-200. Изучение химического состава известных проявлений, оценка рудоносности предположительно рудных образований осуществляется как при ГХР-200, так и при проведении ГХР-50 (25).

§ 57. Для определения геохимической специализации геологических образований из естественных, искусственных обнажений, при их отсутствии – из элювиальных отложений, в пробы отбираются гипергенно не измененные разности горных пород без видимой рудной минерализации. При этом исключаются из опробования выветрелые поверхности горных пород. Опробуются геологические образования, по которым информация, полученная в процессе ранее проведенных геохимических и геологосъемочных работ, недостаточна. Опробованию подлежат разности горных пород, которые не менее чем на 90 % характеризуют вещественные особенности изучаемого геологического комплекса. Желательно, чтобы каждый тип пород был охарактеризован с учетом ретроспективных петрохимических и геохимических данных не менее чем 15 пробами.

Пробы каменного материала (сколки) отбираются методом конверта или точечным способом. Масса пробы коренных пород должна быть 300–500 г для обеспечения материалом всех необходимых видов аналитических исследований и получения дубликата пробы для долговременного хранения.

§ 58. Опробование известных проявлений ПИ производится при отсутствии в ретроспективных материалах кондиционных определений содержаний на широкий спектр элементов (руд-

¹ В зависимости от гидродинамического режима потока (водной среды), в котором производится отмучивание и просев литохимической пробы, потери тонкой фракции происходят в различной степени. В этой связи имеет место обеднение элементами литохимических проб, подвергнутых мокрой сепарации (см. табл. 2.7, $K'_0/K'_m \geq 1$), и высокая дисперсия K' – коэффициента соответствия поток – вторичный ореол. Так, в Амурской области, где Александровской экспедицией использовался этот метод, установлены недопустимые вариации коэффициента соответствия потока – вторичный ореол на конкретных известных рудных объектах (в Бамском золоторудном поле в абсолютно идентичных ландшафтных условиях – более чем в 20 раз!), что резко снижает достоверность оценки прогнозных ресурсов.

ные элементы, главные и второстепенные элементы-спутники, элементы выноса). В этом случае опробованию подвергается продуктивная минеральная ассоциация известного рудного объекта в количестве по возможности 15–20 проб, но не менее 5 проб с последующим их анализом количественными методами.

В пробу отбираются 5–10 сколков из представительного, типичного для опробуемого объекта материала общим весом 300–500 г. При наличии дубликатов штучных, бороздовых или керновых рудных проб предшественников, по которым имеются анализы неудовлетворительного качества, для получения представительной выборки производится их повторный анализ. При достаточном количестве и качестве ретроспективных данных по коренным породам и рудам полевое опробование может не проводиться.

§ 59. Опробование потенциально рудоносных образований производится при проведении маршрутов по потокам, по вторичным ореолам рассеяния или в процессе специальных геолого-поисковых маршрутов (если они предусмотрены ТЗ). В пробу отбираются 5–10 сколков, по возможности содержащих среднее для конкретного опробуемого образования количество рудных минералов общим весом 300–500 г. Наиболее продуктивные по внешним признакам потенциально рудоносные образования для более объективной их оценки опробуются штучными пробами весом 2–3 кг.

2.3.1.6. Гидро-, атмо- и биогеохимические методы

§ 60. Гидрохимические методы в масштабе 1 : 200 000 применяются для выявления и оценки техногенного загрязнения водной среды, а также в качестве сопутствующего вспомогательного метода прогноза рудогенных АГХП при обосновании необходимости их применения на площади работ.

Пробы поверхностных вод отбираются из водотоков параллельно с выполнением литохимических съемок по потокам рассеяния с глубины 0,2–0,5 м, а на водозаборах речных долин – из водослива насосной станции после прокачки. Пробы отбираются с соблюдением требований ГОСТ 24902-81. Отбор проб воды на каждой точке включает необходимый комплекс описаний, измерений и определений [Требования..., 2002; Требования..., 1999]. Гидрогеохимическое опробование грунтовых и подземных вод производится из родников, колодцев и гидрогеологических скважин при их наличии после прокачки емкостью для отбора и отстаивания, прокачки погружным насосом или иным способом. При наличии видимой мути пробу фильтруют через фильтр 0,4 мкм.

На каждой точке согласно Требованиям к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования... [1999, 2002] отбираются три пробы для аналитических определений комплекса элементов и соединений:

1) объемом 1 л на общий или сокращенный химический анализ, определение соединений азота и C_{org} (методом бихроматной окисляемости) без консервации. При наличии полевой лаборатории эти анализы выполняются на водопункте и(или) в полевом лагере [ГОСТ 24902-81];

2) объемом 0,15 л для определения суммы тяжелых металлов ($Zn + Cu + Pb$) дитизиновым методом непосредственно на водопункте [ГОСТ 1030-81];

3) объемом 0,5 л с консервацией способом подкисления пробы для последующего инструментального анализа (ICP MS, AAS и др.) на выбранный круг микроэлементов.

§ 61. Атмохимические методы опробования почвенного воздуха или приземной атмосферы, нацеленные на выявление надрудных атмохимических ореолов рассеяния, могут применяться при региональных ГХР на закрытых территориях при обосновании необходимости их применения по результатам ранее проведенных опытно-методических работ. При атмохимическом опробовании могут анализироваться как газы (CO_2 , SO_2 , He, Rn, углеводородные газы и др.), так и металлы, содержащиеся в виде микропримесей в атмохимических ореолах рассеяния (Hg и др.). Атмохимическое опробование следует выполнять с учетом требований «Инструкции...» [1983] и других методических руководств [Справочник..., 1990; Фурсов, 2001]. Могут быть использованы аналоги разработанного в Китае метода GEOGAS («Геогаз») и методы выявления в приземной атмосфере нанохимических аномалий – наночастиц металлов, содержащихся в системе из газов и аэрозолей [Соколов и др., 2015].

§ 62. Биогеохимическое опробование в масштабе 1 : 200 000 может применяться как метод выявления и оценки техногенного загрязнения земной поверхности путем опробования наземной растительности (мхи, листья и кора деревьев и др.) и поверхностных вод путем опробования водной растительности (водные мхи, водоросли, эпилитовзвесь и др.), а также в качестве вспомогательного метода выявления рудогенных АГХП. Требуется обоснование необходимости

применения и технологии биогеохимического опробования опытно-методическими работами. Биогеохимическое опробование следует выполнять в соответствии с методическими положениями «Инструкции...» [1983] и других публикаций [Справочник..., 1990; Янин, 2002].

2.3.2. Геохимические работы масштаба 1 : 50 000 при ГХР-200, ГДП-200, ГМК-50

§ 63. Детализационные и заверочные геохимические работы масштаба 1 : 50 000 (ГХР-50) в 1970–1990-х годах являлись обязательными при проведении геохимических съемок по потокам рассеяния масштаба 1 : 200 000 и проводятся до настоящего времени практически по всем объектам при производстве ГХО-200 [Николаев и др., 2022] и ГДП-200, но при этом никак не регламентируются существующими «Требованиями...» [2021]. В этой связи в дополнение к вышеуказанным «Требованиям...», а также к «Практическому руководству...» [2025], регламентирующему производство ГМК-50, ниже приводятся рекомендации по составу и методам проведения этих работ, особенностям опробования на открытых и закрытых территориях.

§ 64. Детализационные и заверочные работы при создании ГХО-200 проводятся на перспективных АГХП ранга рудного поля ($n \times 10^1 \text{ км}^2$), выделенных по результатам площадных ГХР-200. ГХР-50 при производстве ГМК-50 проводятся на участках недр, отвечающих перспективным площадям рангов рудного поля, рудного узла с оцененными прогнозными ресурсами категории Р₃, установленными по материалам предшествующих геологоразведочных работ масштабов 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000.

§ 65. Детализационные и заверочные геохимические работы при производстве ГХР-200 на открытых территориях включают:

- рекогносцировочные геологические маршруты (геологический осмотр);
- собственно геохимические площадные работы по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1 : 50 000;
- поисковые маршруты с опробованием потенциально рудоносных образований.

Заверка АГХП начинается с проведения рекогносцировочных маршрутов, основной целью которых является общая оценка рудоносности площади (участка) с уточнением прогнозируемого на подготовительной стадии простираия потенциально рудоконтролирующих структур. По результатам рекогносцировочных маршрутов, с учетом геофизических данных (при их наличии), уточняется направление профилей (при прямоугольной сети). Если азимуты простираия линейных потенциально рудоносных тел и зон установлены, площадные работы по вторичным ореолам рассеяния рационально проводить по сети $500 \times 250 \text{ м}^1$, $500 \times 100 \text{ м}$ (оптимальные при прогнозе рудных линейных объектов ранга РМ ($n \times 10^0 \text{ км}^2$); при изометричной форме ожидаемых рудных тел – по сети $250 \times 250 \text{ м}$, допускается сеть $500 \times 500 \text{ м}$ – минимальная плотность опробования в масштабе 1 : 50 000 [Соколов, Марченко, 2019; Марченко и др., 2022]. При средней площади РП $30\text{--}60 \text{ км}^2$ количество проб на заверку АГХП будет составлять для сети $500 \times 500 \text{ м}$ – 120–240 проб, для сети $500 \times 250 \text{ м}$ – 240–480 проб, для сети $500 \times 100 \text{ м}$ – 600–1200 проб, для сети $250 \times 250 \text{ м}$ – 480–960 проб.

Как вариант, при проведении ГХР-50 допускается погоризонтное опробование склонов по вторичным ореолам рассеяния с шагом 50 м с проложением маршрутов примерно параллельно нижележащему водотоку вдоль склонов в нижней, средней и верхней их частях, а также по водоразделу².

§ 66. При детализационных и заверочных работах в составе ГХР-200 и при ГХР-50 как на открытых, так и на закрытых территориях целесообразно применение переносных портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов (pXRF) для оперативного определения содержаний элементов в рыхлых отложениях непосредственно на местности или в отобранном рыхлом

¹ Применение прямоугольной сети $500 \times 100 \text{ м}$ в сравнении с сетями $500 \times 250 \text{ м}$ и $500 \times 500 \text{ м}$ при одинаковых асигнованиях и аналитическом окончании сокращает опробованные площади в 2,5–5,0 раз. С другой стороны, минимизация сетей опробования, т. е. применение относительно редких квазиквадратных сетей вместо прямоугольных, позволяет без дополнительных финансовых затрат и без потери информативности (разд. 1) перейти от полук количественных к количественным методам анализа проб и как следствие – повысить надежность прогноза рудоносных систем.

² В Магаданской области при геологической экскурсии школьников на аномалии золота, выделенные погоризонтным опробованием (Геохимическая партия Центральной геофизической экспедиции СВНГО), были выявлены развалы жил с промышленными содержаниями золота, а впоследствии – месторождение Школьное.

материале проб [Генералов, 2016; Карась и др., 2013] с последующим оперативным сгущением опробования на аномальных интервалах. С использованием таких анализаторов прямо в поле определяются рудные (Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Mo, As и др.) и некоторые породообразующие элементы. Это дает возможность прогнозировать рудные объекты не только вышеуказанных рудных элементов, но и с некоторой долей условности благородных металлов (в том числе золота) по аномалиям их спутников (As, Cu, Pb и др.)¹.

§ 67. По результатам работ масштаба 1 : 50 000 и сгущения сети опробования с применением рентгенофлуоресцентного анализатора могут проводиться детальные работы по вторичным ореолам рассеяния масштабов 1 : 25 000, 1 : 10 000 по профилям вкрест простирания линейных зон с шагом 40–50 м или 20 м, для изометричных тел – по сетям 250 × 250 и 100 × 100 м.

Основные принципы и методика применения портативных рентгенофлуоресцентных спектрометров изложены в работе «Практическое пособие...» [2024].

§ 68. Поисковые маршруты рекомендуется проводить преимущественно в центральных частях геохимических аномалий (в точках с максимальными содержаниями предположительно рудных элементов) продуктивных АГХП ранга РП, РМ локализованных по результатам ГХР-200, -50. При этом поисковые маршруты, как правило, должны проходить строго по профилям ранее проведенного литохимического опробования. Все встреченные при проведении площадных работ и поисковых маршрутов потенциально рудоносные образования следует опробовать сколковыми (300–500 г) или штучными (2–3 кг) пробами в соответствии с § 58, 59.

§ 69. Для повышения надежности оценки природы гипергенных аномалий, рудноформационной принадлежности коренных рудных источников благороднометалльной специализации целесообразно проведение шлихового опробования по высоко аномальным водотокам в эпицентрах АГХП ранга РП с последующим изучением современными методами минерального состава шлихов, типоморфных особенностей и химического состава шлиховых минералов (подробнее см. в «Практическом руководстве...» [2025]).

§ 70. В случае выявления по результатам детализационных геохимических работ при ГХР-200, при производстве ГХР-50 и заверочных поисковых маршрутов локальных потенциально рудоносных зон (ранг РМ) помимо штучного и сколкового опробования предполагаемого рудного материала желательно отбирать вкрест их простирания пунктирно-бороздовые пробы. В отдельных случаях при явных признаках концентрированной (предположительно промышленной) минерализации при ГХР-200 желательна проходка вручную одной или нескольких поверхностных горных выработок (канавы, шурфы) с опробованием бороздовыми пробами². В этом случае при положительном результате (выявлении рудных пересечений) в камеральный период проводится оценка ресурсов ПИ по категории Р₂.

§ 71. При ГХР-200 на закрытых территориях проводятся детализационные геохимические работы масштаба 1 : 50 000. Учитывая, что рудные объекты на таких площадях недоступны для непосредственного наблюдения в поисковых маршрутах, оценка морфологии рудоносных структур проблематична. В этой связи на таких территориях целесообразно применять квадратные сети опробования по наложенным вторичным ореолам рассеяния 250 × 250, 500 × 500 м. В камеральный период по результатам геохимической съемки с привлечением геологических и геофизических признаков оцениваются вероятная морфология и простирание потенциально рудоносных структур. Так, например, основным критерием выделения рудоносных зон является пространственная корреляция линейных локальных относительно контрастных ореолов предположительно рудных элементов с линеаментами, эрозионными бороздами, отдешифрованными по космоснимкам и(или) выделенными при проведении маршрутов, а при наличии результатов геофизических съемок соответствующего масштаба – с линейными геофизическими аномалиями.

§ 72. С целью повышения надежности прогноза на наиболее перспективных участках, выделенных по результатам площадных ГХР-200, при производстве заверочных работ, а также при проведении ГХР-50 в дополнение к основным методам по вторичным ореолам рассеяния возможно применение методики крупномасштабного картирования слабопроявленных гидротермально-метасоматических образований, изложенной в работах Е. В. Плющева, В. В. Шатова и др. [1985, 2012], в «Практическом пособии...» [2023] и «Практическом руководстве...» [2025].

¹ Например, проявлений арсенопиритового типа золото-кварцевой формации по ореолам мышьяка.

² Проходка единичных канав на завершающем этапе ГХР-200 широко применялась с положительным поисковым эффектом в Александровской опытно-методической экспедиции.

2.3.3. Опытные-методические работы

§ 73. Опытные-методические работы (ОМР) в 1970–1990-х годах являлись обязательным атрибутом геохимических съемок специализированными геохимическими организациями по потокам рассеяния масштаба 1 : 200 000. По их результатам уточнялись представительные фракции опробуемого материала, местные коэффициенты, применяемые при оценке прогнозных ресурсов и др., что способствовало повышению качества ГХР-200. В рамках составления ГХО-200 «Требованиями...» [2021] эти работы не предусматриваются, хотя некоторые оценочные параметры получаются именно в процессе их проведения. Обычно не предусматривается этот вид работ и при производстве более детальных работ, в том числе и при ГХР-50, что по совокупности с их игнорированием при проведении ГХР-200 приводит к стагнации на существующем уровне технологии региональных геохимических поисков, в первую очередь, методики оценки прогнозных ресурсов объектов прогноза. С целью повышения поисковой эффективности и достоверности прогноза рудных объектов при ГХР-200, -50 проведение ОМР, в большинстве вариантов не требующее значительных временных и финансовых затрат, представляется рациональным.

§ 74. Рекомендуются следующие основные направления ОМР:

- определение наиболее информативной анализируемой фракции материала проб;
- определение в типовых геолого-ландшафтных условиях площади работ коэффициентов соответствия вторичный остаточный ореол – первичный ореол¹ (k) на открытых территориях;
- определение значений коэффициентов соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') или вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k''') на закрытых и полукрытых площадях;
- апробация и оценка поисковой эффективности специфических геохимических методов поисков на площадях со сложными ландшафтными условиями проведения региональных ГРР, для которых такие методы недостаточно обоснованы или не установлены;
- определение рациональной плотности и геометрических параметров сетей опробования для уверенной локализации объектов прогноза в типовых геолого-ландшафтных условиях площади работ;
- выделение типоморфных химических элементов известного и прогнозируемого на площади оруденения.

§ 75. **Определение наиболее информативной** в конкретных ландшафтных условиях **анализируемой фракции материала пробы** производится на основе анализа графиков изменения содержания рудных элементов в аномальных пробах рыхлых отложений в зависимости от класса крупности. Критерием оценки информативности фракций крупности рыхлых проб является уровень в них аномальности содержания элемента. Как правило, имеет место установленная многими исследователями [Методические рекомендации..., 1992; Квятковский и др., 1980 и др.] тенденция возрастания информативности от крупных к мелким фракциям рыхлых отложений. В то же время наблюдается и противоположная ситуация [Методические рекомендации..., 1992]: в областях развития эоловых отложений небольшой мощности, характеризующихся преобладанием мелких фракций менее 0,25 мм, наиболее представительной является фракция 1–2 мм. В подобных нестандартных специфических условиях для уточнения информативности фракций рыхлых отложений может потребоваться проведение опытных работ.

§ 76. **Определение местных значений коэффициентов соответствия вторичный остаточный ореол – первичный ореол (k)** на открытых территориях может производиться:

- при детализационных работах в составе ГХР-200 и при ГХР-50 по результатам заверки вторичных ореолов канавами;
- при проведении ОМР на ранее пройденных предшественниками выработках.

В первом случае проводится опробование коренных пород по полотну канавы и рыхлого материала по ее бортам. Опробование по полотну производится в пределах рудной зоны бороздовыми пробами² сечением 10 × 5 см длиной до 1–2 м (преимущественно 1 м), зависящей от мощности рудной залежи, в соответствии с «Методическими рекомендациями по опробованию при проведении средне- и мелкомасштабных полевых работ» [2019]. За пределами зоны рекомендуется пунктирно-бороздовое опробование с шагом 2–5 м. В пунктирно-бороздовую пробу отбираются 5–10 сколов, распределенных равномерно по интервалу опробования, общим весом 300–500 г.

¹ Под термином «первичный ореол» в данном разделе понимается рудогенная геохимическая аномалия в коренных породах, включающая и рудные тела (зоны) с кондиционным оруденением, и их ореольное обрамление.

² Допускается пунктирно-бороздовое опробование с шагом 1–2 м.

Опробование рыхлого элювио-делювия производится по профилю, параллельному канаве, в 1–5 м от нее с шагом 5–10 м, при мощности рудной зоны более 50 м – с шагом 15–20 м. Профиль по борту канавы обеими концами должен выходить за ее пределы и иметь протяженность, превышающую длину канавы не менее чем на 10 интервалов опробования.

При проведении ОМР на ранее пройденных выработках по возможности опробуются коренные породы; при недостаточной их обнаженности (сохранности) используются ретроспективные данные опробования полотна канав. Во втором случае, для исключения систематических аналитических различий данных по опробованию рыхлого элювио-делювия и ретроспективных данных по опробованию канав, крайне желателен анализ дубликатов бороздовых проб предшественников (при их сохранности) теми же методами, которые использовались при анализе рыхлых проб.

При отборе рыхлых проб следует исключить попадание в них техногенного материала (отвалов при проходке канав), для чего опробование производится не с поверхности, а из закопшек, из незатронутых техногенным заражением горизонтов. При интенсивном заражении техногенными выбросами ближайших к канаве поверхностей профиль опробования смещается от нее на расстояние 5–20 м.

§ 77. В камеральный период оценивается значение k из отношения линейной продуктивности остаточного вторичного ореола ($M_{\text{во}}$) и линейной продуктивности первичного ореола ($M_{\text{по}}$) по следующим формулам [Инструкция..., 1983]:

$$M_{\text{по}} = \sum_{i=1}^n l_i C_i, \quad (3)$$

$$M_{\text{во}} = \sum_{x=1}^n (C_x - C_{\phi}) \Delta x, \quad (4)$$

$$k = \frac{M_{\text{во}}}{M_{\text{по}}}, \quad (5)$$

где l_i – длина интервала опробования полотна канавы с содержанием C_i ; Δx – шаг отбора рыхлой литохимической пробы; C_x – содержание элемента в рыхлой пробе из точки x ; C_{ϕ} – фоновое содержание; n – количество литохимических проб.

Если геохимический профиль расположен не параллельно канаве, заданной вкрест простираения рудной зоны, а под некоторым углом β (пример расчета k приводится в прил. 3.1), то в этом случае величина $M_{\text{во}}$ корректируется следующим образом:

$$M_{\text{во}}^{\text{ист}} = M_{\text{во}} \cos \beta. \quad (6)$$

Если получено несколько определений k , вычисляется среднегеометрическое значение, которое и используется затем при оценке прогнозных ресурсов.

§ 78. *Оценка коэффициентов соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') или вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k''')* на закрытых территориях, где в нижней части перекрывающих оруденение рыхлых отложений развиты остаточные, а в верхней части – наложенные вторичные литохимические ореолы рассеяния.

Оценка может проводиться в двух вариантах:

- по данным опробования коренных пород и перекрывающих их рыхлых отложений в бортах вскрышных работ (карьеров) на разрабатываемых месторождениях ПИ;
- путем опробования рыхлых отложений вдоль буровых профилей или канав, вскрывающих рудные зоны параллельно проведению (при возможности) поисковых или разведочных работ, и сопоставления данных по рыхлым отложениям и коренным породам.

ОМР на лицензированных поисковых участках, на разведываемых или эксплуатируемых месторождениях проводятся по согласованию с недропользователями.

§ 79. Первый вариант оптимальный, т. к. позволяет изучить по вертикальному разрезу рыхлых отложений, перекрывающих оруденение, морфологию и характер взаимосвязи остаточных и наложенных вторичных ореолов рассеяния, выделить интервалы мощностей рыхлых отложений,

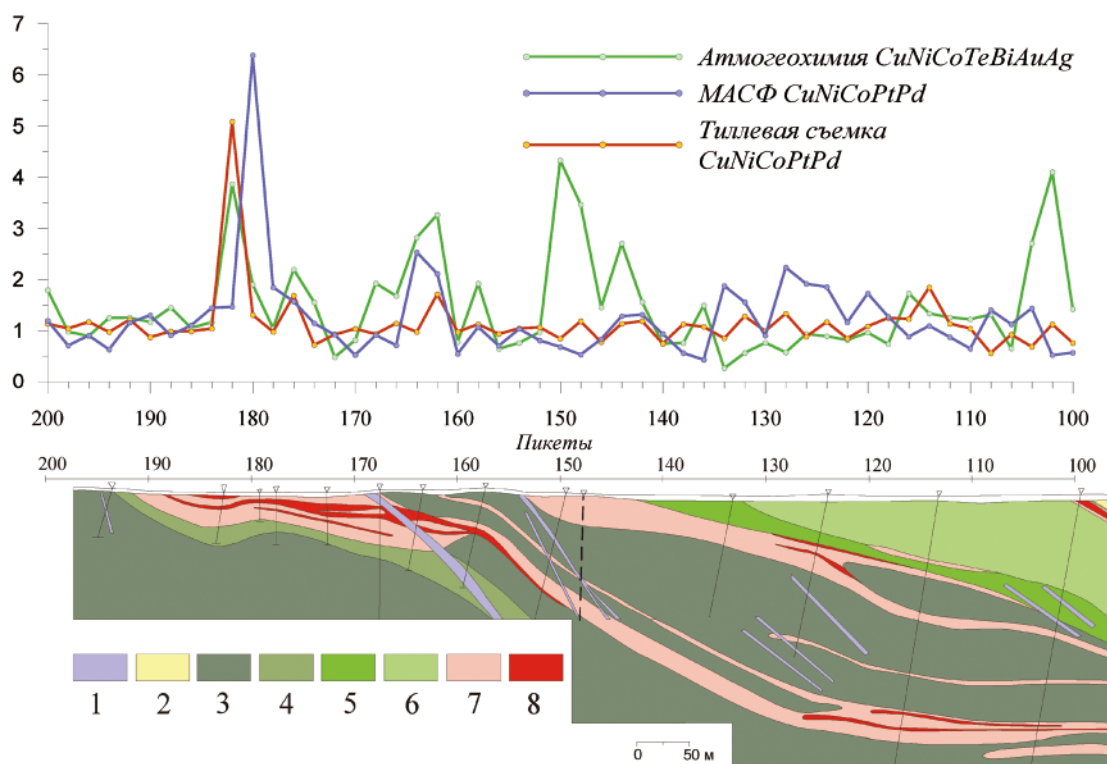


Рис. 2.8. Графики мультипликативных геохимических показателей (в усл. ед.) и вертикальный разрез (по материалам ООО «Печенгагеология») массива Вуручайвенч по профилю 35 [Колонских, 2009]

Породы Имандра-Варзугской структуры (1–2): 1 – metabазальты; 2 – metabазальты и конгломераты; габбронориты г. Вуручайвенч (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 платинометалльной минерализации

при которых должны применяться соответствующие методы поисков, с высокой достоверностью определить значения коэффициентов соответствия вторичный остаточный ореол – первичный ореол (k), вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') или вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k'''). Практическая реализация этого варианта при ГХР-200 в большинстве случаев в силу отсутствия эталонных объектов или невозможности проведения по разным причинам ОМР на разрабатываемых месторождениях затруднительна¹.

Реализация второго варианта с опробованием рыхлых отложений по буровым профилям или канавам при ГХР-200 более вероятна, но возможна только до проведения добычных работ (рис. 2.8).

§ 80. При проведении ОМР по первому варианту в карьерных отработках используются ретроспективные данные опробования коренных пород при условии удовлетворительного качества анализов; при отсутствии таковых по возможности производится анализ дубликатов проб (при их сохранности) или переопробование (по возможности) верхнего горизонта коренных пород, не затронутых процессами дезинтеграции и выветривания, с выходом за границы визуального распространения рудного тела (зоны) и вмещающих измененных пород. Опробование коренных пород осуществляется аналогично опробованию полотна канав (§ 76).

§ 81. Опробование рыхлых отложений в карьерах производится в зависимости от их мощности. При мощности до 2–3 м можно ограничиться двумя профилями: первый – в непосредственной близости от коренных пород выше их уровня дезинтеграции, второй – у поверхности из горизон-

¹ В связи с высокой научной и практической значимостью результатов таких исследований весьма актуальна постановка специальных тематических работ.

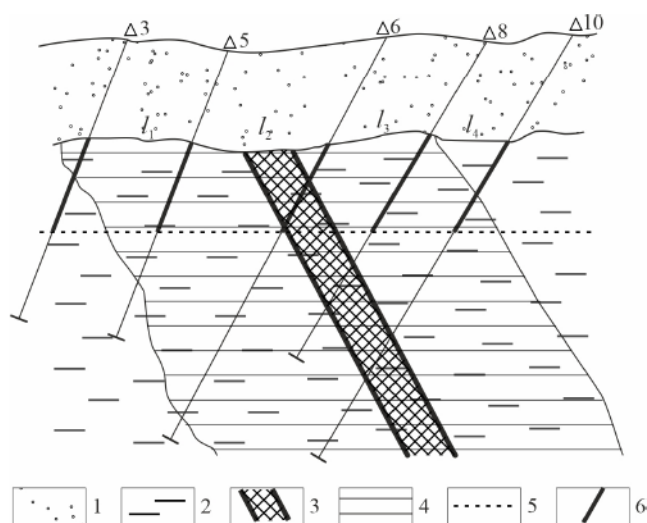


Рис. 2.9. Схема опробования по буровому профилю рудной зоны наклонного залегания:

1 – рыхлые отложения; 2 – коренные породы; 3 – рудная зона; 4 – обрамляющий рудную зону первичный ореол; 5 – нижний уровень пересечения рудной зоны скважиной (на рис. – скв. 6); 6 – интервалы, по которым оцениваются средние содержания элементов по скважинам

В камеральный период оценка коэффициента соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') и коэффициента соответствия вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k''') производится из следующих соотношений:

$$k'' = \frac{M_{\text{нво}}}{M_{\text{ово}}}, \quad (7)$$

$$k''' = \frac{M_{\text{нво}}}{M_{\text{по}}}, \quad (8)$$

где $M_{\text{нво}}$ – линейная продуктивность наложенного вторичного ореола по профилю у поверхности и по профилям в средней части разреза рыхлых отложений; $M_{\text{ово}}$ – линейная продуктивность остаточного вторичного ореола по профилю, расположенному в непосредственной близости от коренных пород; $M_{\text{по}}$ – линейная продуктивность первичного ореола.

При проведении ОМР по второму варианту – по буровым профилям или канавам – отбор проб из верхнего горизонта рыхлых отложений и из полотна канав проводится в соответствии с § 76.

§ 83. При проведении ОМР по буровым профилям используются данные опробования коренных пород, полученные при поисковых и разведочных работах, в двух вариантах:

– для субгоризонтальных рудных залежей, вскрываемых субвертикальными скважинами (см. пример на рис. 2.8);

– для рудных тел (зон) наклонного залегания, вскрытых наклонными скважинами (см. пример на рис. 2.9).

Рыхлые пробы по буровому профилю отбираются из незатронутых техногенным заражением горизонтов с шагом 2–10 м.

§ 84. Оценка линейной продуктивности первичного ореола рудного тела по буровому профилю производится по следующей формуле:

$$M_{\text{PT}} = \sum_{i=1}^n \frac{(l_{i-1} + l_{i+1})}{2} C_i, \quad (9)$$

где C_i – среднее содержание элемента за вычетом фона в i -й скважине: для субгоризонтальных залежей – по трем-пяти керновым пробам из верхней части разреза коренных пород, для рудной

тов В, С или Г. При мощности рыхлых отложений от 3 до 20 м по возможности дополнительно с соблюдением техники безопасности проводится опробование по горизонтальному профилю в средней части разреза. При большой мощности рыхлых отложений (более 20 м) при достаточном финансировании ОМР и реальной возможности проводить опробование без нарушения техники безопасности по всему разрезу рыхлых отложений проходятся горизонтальные профили на расстояние по вертикали 10–20 м. Шаг опробования во всех вариантах – 5–20 м.

§ 82. Опробование рыхлых отложений в карьерах производится следующими методами:

– стандартным по остаточным вторичным ореолам по профилю, расположенному в непосредственной близости от коренных пород (до 1 м над ложем коренных);

– оцениваемым методом (ами) по наложенным вторичным ореолам по профилю, у поверхности и по профилям в средней части разреза рыхлых отложений (при их наличии).

зоны наклонного залегания – по керновым пробам от нижнего уровня пересечения рудного тела скважиной, пересекающей его верхнюю часть (на рис. 2.9 – скв. 6), до границы с рыхлыми отложениями; l_{i-1} и l_{i+1} – расстояния от опробуемой i -й скважины до ближайших соседних скважин.

По этим данным в камеральный период определяются значения коэффициентов соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') и(или) вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k''') по формулам (7), (8) (§ 82).

§ 85. *Оценка эффективности методов прогноза по наложенным вторичным ореолам рассеяния* производится на основе анализа графиков распределения содержаний рудных элементов по профилям рыхлых отложений, пройденных вкрест простирания рудных объектов. В качестве примера на рис. 2.8 представлены такие графики, построенные по результатам тиллевой съемки, метода анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) и атмогеохимического метода, по разрезу платинометалльного месторождения Вуручайвенч. Критериями оценки методов являются контрастность, линейная протяженность и линейная продуктивность ореола, соответствующего рудному телу или минерализованной зоне. Линейная продуктивность вторичного ореола ($M_{во}$) оценивается по формуле (4) (§ 77).

Примеры определения значений коэффициентов соответствия продуктивностей коренного оруденения, вторичных ореолов и потоков приводятся в прил. 3.1.

§ 86. *Определение эффективной плотности и параметров сетей опробования* производится для уверенной локализации объектов прогноза заданного ранга: при ГХР-200 – РП, ГХР-50 – РМ в типовых геолого-ландшафтных условиях площади работ. Такие определения могут производиться по ретроспективным данным ГХР более крупного масштаба или по результатам детализационных работ: при ГХР-200 – масштабов 1 : 50 000 – 1 : 100 000, при ГХР-50 – масштабов 1 : 25 000 – 1 : 10 000. Ретроспективные или детализационные съемки должны охватывать площади с типовыми геолого-ландшафтными условиями, в пределах которых известны искомые объекты рангов РП и РМ с установленным в их пределах промышленно-значимым оруденением.

Определение эффективной плотности опробования производится на основе анализа проявленности рудных объектов в ореолах, построенных по исходной сети опробования и по разреженным сетям. Для этого производится последовательное разрежение сети (прил. 3.2) путем частичного исключения из исходной базы геохимических данных точек опробования. Например, сначала двукратное разрежение (из исходной БД получаем два варианта разреженной сети, где из последовательности пространственно сближенных точек исключены каждая первая или каждая вторая точка), затем четырехкратное (четыре варианта) и т. д. Процесс разрежения сети останавливается, когда достигается минимальная плотность: для масштаба 1 : 200 000 – 1 точка на 4 км², для масштаба 1 : 50 000 – 1 точка на 0,25 км². По данным съемки по потокам рассеяния сначала разрежается шаг опробования вдоль водотоков или вдоль нижних частей склонов, а затем исключается из рассмотрения часть соседних бассейнов водосбора.

§ 87. Построение карт изолиний по исходной и разреженным сетям производится для главных рудных элементов – индикаторов известных РП или РМ в моноэлементном и(или) полиэлементном вариантах. Целесообразной (максимально экономичной и при этом достаточно информативной) признается такая минимальная плотность опробования, при которой по всем вариантам разреженной сети уверенно оконтуриваются рудогенные АГХП соответствующих рангов, в пределах которых имеется не менее 3 и более точек опробования с аномальными содержаниями главных индикаторных элементов.

На основе сравнения результатов, получаемых по разреженным сетям одного масштаба, но с разными параметрами (например, сети 500 × 500 м, 500 × 250 м и 500 × 100 м) выбирается вариант, позволяющий наиболее надежно выделить и охарактеризовать рудогенные АГХП известных РП или РМ. Анизотропные сети могут быть более информативными в районах с явно выраженным преобладанием рудоконтролирующих структур однонаправленного линейного облика, а в других обстановках обычно более информативными являются изотропные или близкие к изотропным сети опробования.

§ 88. *Выделение типоморфных химических элементов прогнозируемого на площади оруденения* производится путем опробования известных рудных объектов в соответствии с § 58, 59 для последующего их использования при прогнозе РП и РМ по результатам площадных ГХР по потокам и вторичным ореолам рассеяния (разд. 2.5.1.3).

2.4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

§ 89. Как свидетельствует мировой опыт, высокая прогнозно-поисковая эффективность геохимических работ достигается при обязательном условии использования прецизионных

инструментальных аналитических методов (ICP-AES, ICP-MS, AAS и др.) на широкий круг химических элементов с нижним пределом определения содержаний на уровне или ниже кларка земной коры (К). Особое значение такие методы приобретают при мелкомасштабном (ГХР-200 и мельче) прогнозировании рудных полей, узлов и районов, характеризующихся в основном относительно невысоким (по сравнению с региональным полем) уровнем концентрации химических элементов, и в сложных для поисков ландшафтных условиях при большой мощности перекрывающих оруденение рыхлых отложений различного генезиса (закрытые и полужакрытые территории). Надежность выделения слабых аномалий возрастает с увеличением точности и разрешающей способности аналитических методов и, соответственно, с уменьшением случайных лабораторных погрешностей, т. е. при переходе от полуколичественных к количественным методам анализа.

§ 90. Аналитические работы проводятся в лабораториях, прошедших аккредитацию на техническую компетентность и в соответствии с требованиями, изложенными в отраслевых нормативных документах [ОСТ 41-08-205-04, ОСТ 41-08-212-04, ОСТ 41-08-214-04].

§ 91. Рациональный набор аналитических методов определяется на стадии проектирования на основе сведений об элементах-индикаторах ожидаемых типов оруденения (прил. 4.5–4.8). В качестве количественных аналитических методов определения содержаний элементов могут применяться атомно-эмиссионная спектрометрия и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES, ICP-MS), пробирный анализ с ICP-окончанием или AAS-окончанием на Au, Pt, Pd, рентгенофлуоресцентный (XRF), атомно-абсорбционный (AAS) анализы и другие методы, выбираемые в зависимости от определяемого комплекса химических элементов и требуемого предела их определения¹ (прил. 4.4). При более высокой стоимости количественных методов анализа, по сравнению с широко используемым на практике приближенно-количественным спектральным анализом (ПКСА), выбранные аналитические комплексы должны обеспечивать рациональный баланс «цена–качество»: высокую надежность аналитических данных и, как следствие, прогнозно-поисковых построений при минимально необходимых экономических затратах.

§ 92. В условиях ограниченного финансирования геологосъемочных работ в Российской Федерации оптимальным комплексом аналитических методов при производстве ГХР-200, -50 *на открытых территориях* являются масс-спектрометрия (ICP-MS, в том числе МВИ № 001-ХМС-2007 и МВИ №002-ХМС-2009) и атомно-эмиссионная спектрометрия (ICP-AES) с индуктивно-связанной плазмой с различными вариантами пробоподготовки, т. е. методы, позволяющие проводить одновременное определение содержаний широкого круга элементов с низкими пределами определения их содержаний (прил. 4.4, столбцы 8–15). В зависимости от металлургической специализации площадей этот комплекс может быть дополнен другими аналитическими методами (пробирный анализ, AAS, анализ ртути методом «холодного пара» и др.) для элементов, по которым чувствительность и точность определения содержаний вышеуказанными методами недостаточна (Au, платиноиды, Hg и др.). На конкретных объектах при отсутствии у исполнителей работ реальных возможностей анализа содержаний элементов количественными методами допускается применение ПКСА, а также дополнительных аналитических методов только для тех важных элементов-индикаторов, по которым чувствительность и точность определения содержаний методом ПКСА недостаточна (прил. 4.4).

§ 93. При производстве ГХР-200, ГХР-50 *на закрытых и полужакрытых территориях* используются методы, основанные на селективном извлечении различными экстрагентами солевых и сорбированных форм нахождения элементов в раствор с последующим определением их содержаний (разд. 1.2). В частности, в составе широко апробированного на территории России метода анализа свертонкой фракции (МАСФ) производятся следующие виды лабораторных исследований:

– выделение свертонкой фракции в оптимальном варианте с использованием специальной технологии на воздушном классификаторе «ГОЛЬФ-2» с размером частиц в зависимости

¹ В методиках количественного анализа для обозначения наименьшего содержания аналита, которое может быть количественно определено с помощью данной методики с установленными значениями характеристик погрешности [ГОСТ Р 52361-2018], используется термин «*предел определения*». При этом нижняя граница количественного определения должна по крайней мере в 3 раза превосходить предел обнаружения [ОСТ 41-08-205-04]. В полуколичественных методиках для установления нижней границы диапазона определяемого содержания аналита используется термин «*предел обнаружения*» – наименьшее значения аналита, при котором он может быть обнаружен по данной методике анализа с заданной доверительной вероятностью; обычно он составляет утроенное значение стандартного отклонения холостого опыта. Таким образом, в прил. 4.4 для полуколичественных методов указан предел обнаружения, а для количественных – предел определения.

от гранулометрического состава исходной пробы менее 10 мкм или еще более тонкой фракции (существуют и другие варианты, в частности ранее использовавшийся в МАСФ и используемый в методе MEFFA способ отмучивания в водной среде). Масса выделенной фракции должна составлять не менее 0,5–1,0 г;

– определение содержаний сорбционно-солевых форм элементов методом ICP-MS. Методика анализа сверхтонкой фракции предусматривает разложение пробы царской водкой и перекисью водорода, выпаривание до сухого остатка с последующим растворением солей в азотной кислоте и проведением аналитических определений содержаний элементов из растворов. В этом случае самородные золото, платина, палладий, а также металлы, содержащиеся в сульфидах, практически полностью переходят в раствор, а основные матричные элементы пробы остаются в осадке. Применение масс-спектрометрии для анализа полученных растворов обеспечивает достижение низких пределов определения содержаний элементов (прил. 4.4, столбец 13).

§ 94. В комплекс анализируемых элементов целесообразно включать не только главные и попутные компоненты руд (ЦС элементы), которые демонстрируют повышенные концентрации (привнос), но и элементы, характеризующиеся пониженными содержаниями (ЦБ элементы). Типичными ЦБ элементами, образующими ореолы выноса в АГХП рудогенных систем гидротермального генезиса халькофильной и благороднометалльной (Au, Ag) специализаций, являются Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Ba, Ti, Zn (разд. 2.5.1.2).

§ 95. При ГХР-200 список анализируемых элементов определяется в зависимости от металлогенической специализации территорий. В этот список для площадей халькофильной и благороднометалльной специализации рекомендуется включать следующие элементы: ЦС – Au, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Bi; вероятные ЦБ – Ni, Co, Mn, Cr, V, Ba, Ti, Sc, Zn. В зависимости от рудноформационной принадлежности ожидаемого оруденения он дополняется Pt, Pd, S, Se, Te, U, Hg и другими, в том числе некоторыми пороодообразующими элементами (Fe, Ca, Mg, K, Na и др.). Для территорий, металлогенически специализированных на литофильные элементы, примерный перечень анализируемых элементов включает Li, Be, Ga, Nb, Ta, Zr, Th, TR, Sr, P, B, Rb, Ce, а также некоторые другие рудные элементы (Sn, Bi, Mo, W, Sb) и вероятные ЦБ элементы для АГХП литофильного профиля, аналогичные вышеприведенным для АГХП халькофильной специализации. Список, как и в предыдущем случае, может дополняться типичными рудными элементами или элементами-спутниками оруденения для конкретной территории. Для площадей чернометалльной металлогенической специализации рекомендуется анализировать Ti, Ni, Co, V, Cr, Mn, дополнительно могут анализироваться Fe, платиноиды, P, Cu, Pb, Cu, Zn, Ba и другие элементы. В подавляющем большинстве случаев площади работ характеризуются металлогенической специализацией смешанного типа, в соответствии с которой и формируется список анализируемых элементов, включающий, как правило, 20–35 и более элементов.

§ 96. При детализационных и заверочных работах в составе ГХР-200, а также при ГХР-50 при наличии сведений об элементах-индикаторах ожидаемого оруденения количество определяемых элементов можно сократить до 18–25. В их число должны входить типоморфные ЦС элементы (рудного комплекса), для прогнозируемых рудогенных систем гидротермального генезиса – и типоморфные ЦБ элементы. На открытых территориях при этом виде работ допускается применение ПКСА и дополнительных аналитических методов только для тех элементов, по которым чувствительность и точность определения содержаний методом ПКСА недостаточна (прил. 4.4). В практике ПКСА используются два варианта этого метода, различающихся способом введения пробы в дуговой разряд: испарение из канала угольного электрода и просыпка порошка пробы в дуговой разряд. Вариант испарения из канала электрода предпочтителен для определения элементов с высокой упругостью пара (так называемых труднолетучих: Zr, Hf, Nb, Ta, Be, редкоземельные элементы, U, Th), а также в случае малого количества материала пробы. Для варианта просыпки отмечаются более низкие пределы обнаружения легколетучих элементов (Ag, As, Cu, Cd, Bi, Ge, In, Pb, Sb, Te, Tl, Zn) и лучшая по сравнению с испарением из канала электрода воспроизводимость результатов анализа.

§ 97. Обработка проб горных пород и руд заключается в многостадийном дроблении до размерности 1,0 мм, квартовании, истирании и выделении навесок на необходимые виды аналитических работ. Пробы горных пород для изучения геохимической специализации анализируются на широкий круг элементов: Li, Be, B, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, La, Ce, W, Pb, Bi. В зависимости от металлогенической специализации площадей этот список может дополняться элементами, для которых имеет место вероятность выявления на изучаемой территории промышленно значимых объектов и которые могут быть важными

элементами-индикаторами (Au, Pt, Pd, S, Te, B, U, Th, Hg, Nb, Ta, некоторые породообразующие элементы и др.). Учитывая, как правило, невысокий уровень накопления элементов в геохимически специализированных породах, часто сопоставимый с величинами случайных лабораторных погрешностей определения содержаний, должны применяться количественные методы анализа (ICP-AES, ICP-MS, AAS, XRF). Аналогично и для изучения геохимической специализации, оценки рудоносности потенциально рудных образований следует применять количественные методы анализа на широкий круг химических элементов.

§ 98. Исполнителями ГХР должны быть проведены внутрилабораторный контроль и, по возможности, внешний (межлабораторный) контроль¹ в объеме 3–5 % от общего количества проанализированных проб (но не менее 35) на каждый вид контрольных анализов [Инструкция..., 1983, § 377]. Дубликаты проб на внутренний контроль передаются в лабораторию под другим номером, не позволяющим лаборатории идентифицировать номер исходной пробы. Пробы на контрольные анализы должны охватывать широкий диапазон содержаний от фоновых до экстремально аномальных. По результатам контрольных определений вычисляются величины средних относительных систематических расхождений ($S_{\text{сист}}$) и случайных погрешностей ($S_{\text{случ}}$) анализа по всем элементам, характеризующихся значимыми содержаниями, по формулам, приведенным в § 22. При величине относительного систематического расхождения $S_{\text{сист}}$ между рядовыми и контрольными анализами в интервале 0,9–1,1 (т. е. не более 10 % отн.) систематической погрешностью можно пренебречь; при $S_{\text{сист}} > 1,1$ или $< 0,9$ она подлежит устранению. Допустимым интервалом значений средней относительной случайной погрешности $S_{\text{случ}}$ для проб рыхлых отложений считается $1,4^{\pm 1}$ или ± 40 % отн.; для проб коренных пород – $1,25^{\pm 1}$ или ± 25 % отн. [Инструкция..., 1983, § 379].

§ 99. Дубликаты проб площадных съемок по потокам и вторичным ореолам рассеяния по возможности рекомендуются к долговременному хранению в течение 25 лет в специально организованных пробохранилищах при лаборатории или организации-производителе ГХР. Сроки хранения дубликатов проб с детализационных и заверочных участков определяются в зависимости от полученных по ним поисковых результатов: для перспективных на выявление промышленно значимого оруденения – не менее 10 лет; для относимых по всем признакам к категории безрудных – до сдачи отчета по объекту в Роснедра.

§ 100. Для контроля правильности анализов целесообразно включать в каждую партию проб, направляемых в лабораторию, бланковые пробы с содержаниями большинства элементов на уровне фона и стандартные образцы с повышенными и высокими содержаниями элементов. Для таких контрольных проб номера зашифровываются: приписывается уникальный номер, формат которого похож на номер рядовой пробы. Использование результатов анализа бланковых проб и стандартных образцов помогает контролировать правильность аналитических определений и, при необходимости, вносить поправки на систематические погрешности.

2.5. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

2.5.1. Обработка и интерпретация данных литохимических съемок по потокам и вторичным ореолам

§ 101. Камеральная обработка и интерпретация геохимических материалов предусматривает следующие основные операции:

- первичная обработка аналитических данных: контроль и при необходимости снятие влияния лабораторных систематических расхождений и(или) лабораторного дрейфа определения содержаний элементов, расчет параметров фоновых и аномальных содержаний, а также значений других геохимических показателей;
- выявление взаимосвязей элементов и определение элементных ассоциаций на основе анализа геохимических спектров известных коренных проявлений, высокоаномальных потоков или вторичных ореолов рассеяния, а также с использованием методов корреляционного и многомерного статистического анализа;
- выделение моноэлементных, полиэлементных геохимических аномалий и аномальных геохимических полей конкретных уровней организации вещества;

¹ Для специфических методов анализа химических элементов (например, МАСФ) сертифицированной лабораторией в Российской Федерации для производства межлабораторного контроля в настоящее время может не оказаться. В этом случае контроль качества анализов ограничивается внутренним контролем.

- оценка рудноформационной принадлежности, прогнозных ресурсов категории P_3 или ресурсного потенциала прогнозируемых рудных объектов;
- составление комплекта карт ГХО-200 в составе обязательных карт в соответствии с «Требованиями...» [2021], а также дополнительных карт (разд. 2.5.4.1), рекомендуемых для повышения прогностических свойств ГХО;
- при ГХР-50 – составление комплекта карт: картограммы изученности масштаба 1 : 200 000, карты фактического материала площади работ масштаба 1 : 50 000, схемы районирования территории по условиям проведения геохимических работ масштаба 1 : 200 000, моно- и полиэлементные карты, прогноз-геохимическая карта (геохимическая основа прогноза) масштаба 1 : 50 000;
- выделение по концентрационным и структурным геохимическим признакам в комплексе с геологическими и геофизическими критериями АГХП и участков 1-й и 2-й очередей изучения, перспективных на выявление рудных объектов;
- разработка рекомендаций по проведению ГРП последующей стадии.

2.5.1.1. Первичная обработка аналитических данных

§ 102. Контроль и при необходимости снятие влияния систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб (как в одной лаборатории, так и между лабораториями) и аналитического дрейфа данных следует производить в обязательном порядке, т. к. даже в случае использования количественных инструментальных методов анализа может наблюдаться скачкообразно или постепенно изменяющаяся во времени систематическая погрешность определения содержаний элементов. **Для корректного выполнения этой операции необходим случайный порядок анализа проб в лаборатории.** Для этого опись проб при их сдаче в лабораторию составляется не в последовательности их отбора в маршрутах и не в порядке расположения пикетов по профилям съемки, а в случайном порядке с площади (участка) работ в целом или по крайней мере со значительного по количеству проб фрагмента площади работ. Пробы анализируются в порядке описи в том же случайном порядке.

§ 103. Снятие влияния систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб производится при выявлении явных признаков скачкообразных изменений уровня измеренных содержаний и(или) плавного аналитического дрейфа (рис. 2.10, 2.11; прил. 3.3) [Макарова и др., 2008]. В этом случае для всех последовательных серий анализов проб строится единый график содержаний элемента на горизонтальной оси всех последовательных порядковых номеров анализа (см. рис. 2.10). Для наиболее часто встречающегося логарифмически-нормального закона распределения как содержаний микроэлементов в природных объектах, так и случайных погрешностей анализа, используется логарифмическая шкала содержаний по оси ординат. По графику визуально выявляется тренд, т. е. основная тенденция изменений уровня измеренных содержаний в последовательности выполнения анализов. При наличии явных признаков таких изменений требуется корректировка аналитических данных, в противном случае корректировка не нужна.

На практике наиболее часто встречаются графики в виде горизонтальных ступеней по двум или нескольким сериям анализов проб (рис. 2.10, а), т. е. среднее геометрическое значение $\tilde{C}_{исх}(j)$ измеренных содержаний в каждой j -й серии анализа проб отображается прямой горизонтальной линией (ступенью). Для этого наиболее простого случая снятие влияния систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб производится путем выравнивания ступеней (средних геометрических значений измеренных содержаний в сериях) в единую горизонтальную линию (зеленая горизонтальная линия на рис. 2.10, б). Такое выравнивание осуществляется путем умножения исходных содержаний в каждой i -й пробе j -й серии анализа $C_{исх}(j)$ на поправочный множитель b_j , который предварительно рассчитывается по формуле:

$$b_j = \tilde{C}_{исх}(j) / \tilde{C}_{исх}, \quad (10)$$

где $\tilde{C}_{исх}(j)$ – среднее геометрическое значение измеренных содержаний в j -й серии анализа; $\tilde{C}_{исх}$ – среднее геометрическое значение измеренных содержаний по пробам всех серий (горизонтальная зеленая линия на рис. 2.10, б). Если же есть основания считать аналитические данные в одной из серий с номером k наиболее правильными, вместо $\tilde{C}_{исх}$ принимается среднее геометрическое значение измеренных содержаний именно в этой серии: $\tilde{C}_{исх} = \tilde{C}_{исх}(k)$, и поправочный множитель вычисляется по формуле:

$$b_j = \tilde{C}_{исх}(j) / \tilde{C}_{исх}(k) \quad (11)$$

Затем вычисляются исправленные содержания элемента $C_{i \text{ испр}}(j)$ для каждой i -й пробы в каждой j -й серии анализа по следующей формуле:

$$C_{i \text{ испр}}(j) = b_j \times C_{i \text{ исх}}(j). \quad (12)$$

Среднее геометрическое значение исправленных содержаний $\bar{C}_{\text{испр}}$, соответствующее единой горизонтальной линии (в случае, рассмотренном на рис. 2.10, $\bar{C}_{\text{испр}} = \bar{C}_{\text{исх}}$), должно максимально соответствовать фоновому содержанию элемента (кларку содержаний) наиболее распространенных на площади пород.

Полученная таким способом база исправленных содержаний элементов используется при выделении ореолов и дальнейшей интерпретации геохимических данных.

§ 104. В более сложном случае¹, когда кроме горизонтальной ступени (на рис. 2.11 серия 3) наблюдаются сложные тренды (в пределах конкретной серии содержания элемента плавно возрастают, убывают или изменяются волнообразно) (на рис. 2.11 серии 1, 2, 4), формула тренда определяется как линейная функция регрессии содержаний на порядковый номер анализа (серия 1 – полином 1-й степени) или как нелинейная функция полиномиальной регрессии содержаний на порядковый номер анализа (серия 2 – полином 2-й степени, серия 4 – полином 4-й степени). Обычно используются полиномы низких степеней – от 1-й до 4-й.

В этом случае для каждой серии проб построение графиков тренда и расчет уравнений регрессии логарифма содержаний элемента на порядковый номер анализа удобно выполнять с помощью программного обеспечения, включающего средства построения графиков и статистический анализ данных (Excel, Grapher и др.) (пример на рис. 3.5 в прил. 3.3).

Далее производится корректировка данных в каждой серии анализа проб (для примера на рис. 2.11 операции корректировки подробно рассматриваются в прил. 3.3) по формуле:

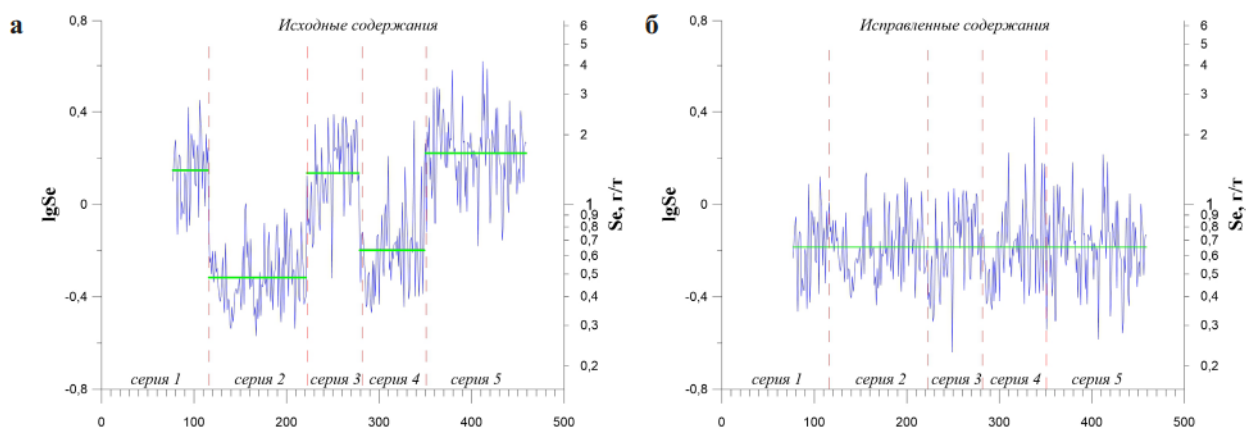
$$C_{i \text{ испр}} = \text{antlg} \left(\lg C_{i \text{ исх}} - T(\lg C_{i \text{ исх}}) + \overline{\lg C}_{\text{испр}} \right), \quad (13)$$

где $\lg C_{i \text{ исх}}$ – логарифм исходного (неисправленного) значения содержания в i -й по порядку пробе в конкретной серии анализов; $T(\lg C_{i \text{ исх}})$ – значение аналитического тренда для той же i -й по порядку пробы в той же серии анализов; $\overline{\lg C}_{\text{испр}}$ – среднее значение логарифма исходных значений содержаний во всей совокупности данных, включающей все серии анализов, либо в той серии, уровень содержаний в которой признан наиболее близким к правильному по результатам анализа стандартных образцов с сертифицированными содержаниями элементов.

§ 105. Иногда встречаются случаи, когда между разными сериями (партиями) анализов, особенно если они анализировались в разных лабораториях, резко изменяется дисперсия измеренных содержаний (разброс содержаний вокруг среднего уровня) либо изменяются и уровень, и дисперсия. В таких случаях необходима корректировка исходных аналитических данных с приведением дисперсий к сходному уровню. Способ такой корректировки данных рассмотрен на конкретном примере в прил. 3.4.

§ 106. Оценка параметров нормального и аномального геохимических полей производится по выделенным на площади листа геолого-ландшафтным таксонам (разд. 1.1). Выделение таксонов при ГХР-200 производится с использованием ландшафтной карты и схемы районирования территории по условиям проведения геохимических работ, которые составляются в соответствии с «Требованиями...» [2021]. Каждый таксон должен характеризоваться представительным количеством проб (не менее 100). При существующей плотности геохимических наблюдений при ГХР-200 с учетом исключения из выборок заведомо аномальных проб представительность выборки достигается при выделении не более 2–3 геолого-ландшафтных таксонов на лист (в основном 1–2). В этой связи для площадей, характеризующихся варьирующими ландшафтными условиями, следует, как правило, ограничиваться выделением не более 2–3 укрупненных подразделений ландшафтных обстановок. Количество выделяемых таксонов по составу геологического субстрата определяется наличием распространенных на площади пород, существенно различающихся по основности (для магматических и силикатных метаморфических пород), литологическим особенностям (для осадочных пород) и по кларковым содержаниям химических элементов. При этом близкие по составу породы подлежат объединению в один таксон.

¹ Допуская, что при практической реализации алгоритма учета лабораторных расхождений у исполнителя могут возникнуть определенные трудности, в прил. 3.3 последовательность операций подробно иллюстрируется на конкретном примере.



Серия (j)	1	2	3	4	5
$\tilde{C}_{\text{исх}}(j)$	1,41	0,48	1,38	0,63	1,66
b_j	0,47	1,38	0,48	1,05	0,40
$\tilde{C}_{\text{испр}}$	0,66				

Рис. 2.10. Пример графиков измеренных содержаний в виде ступеней средних геометрических значений в разных сериях анализов (а) и исправленных содержаний (б)

Прерывистые красные линии разделяют последовательные серии анализа, между которыми в исходных данных наблюдаются скачки уровней измеренных содержаний

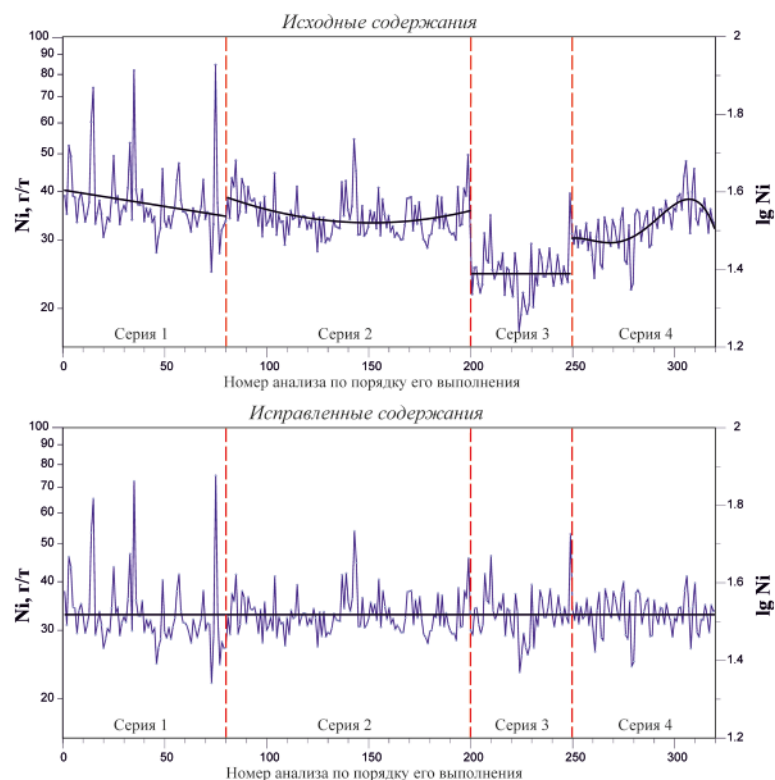


Рис. 2.11. Пример крайне невыдержанного уровня исходных аналитических данных по содержаниям никеля и корректировки исходных данных

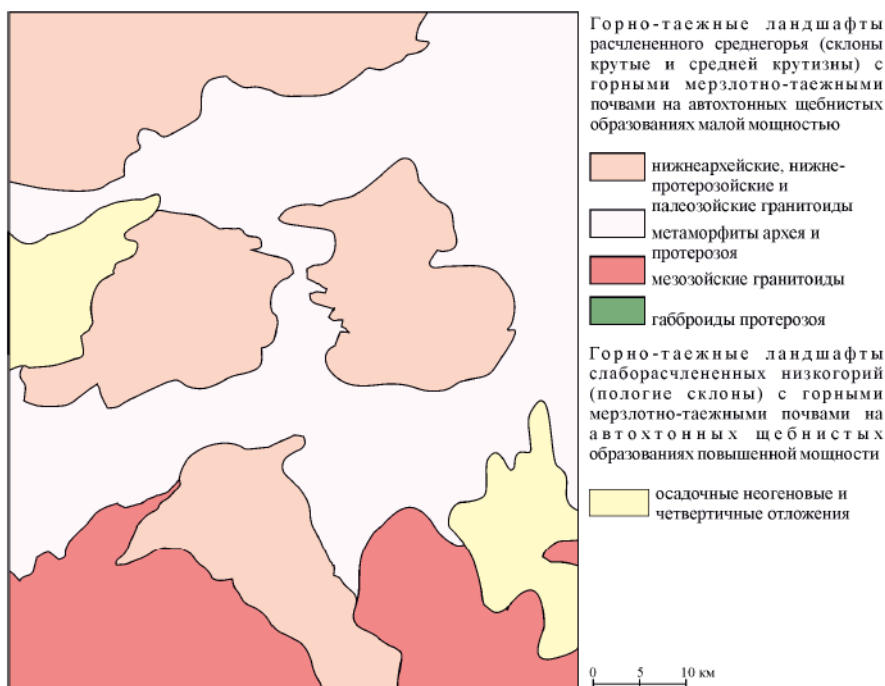
Прерывистые красные линии разделяют последовательные серии анализа, между которыми в исходных данных наблюдаются скачки уровней измеренных содержаний либо изменения характера аналитического дрейфа

Далее путем совмещения на единой картографической основе таксонов, характеризующих ландшафтные условия и состав геологического субстрата, выделяются обобщенные геолого-ландшафтные таксоны, каждый из которых должен характеризоваться представительным количеством проб. При несоблюдении этого условия наиболее близкие по составу или ландшафтному признаку из выделенных таксонов (например, области развития гранитов, граносиенитов и гранодиоритов, открытые и полузакрытые территории и т. п.) подлежат объединению. Пространственное положение выделенных геолого-ландшафтных таксонов отражается при ГХР-200 на рабочей схеме их расположения масштаба 1 : 500 000 (рис. 2.12).

Учет геологического строения и ландшафтов позволяет исключить из дальнейшего прогнозного процесса так называемые породные и ландшафтные аномалии, а также антропогенные аномалии, приуроченные к природно-техногенным и техногенным ландшафтам. Ландшафтная составляющая основы используется для правильного определения геохимического фона и обоснованного выбора значений коэффициентов соответствия при оценке прогнозных ресурсов по вторичным ореолам и потокам рассеяния (разд. 2.5.1.4).

§ 107. На этапе оценки фоновых параметров для каждого выделенного геолого-ландшафтного таксона из расчетов исключаются фрагменты площади, на которых встречены явные аномалии, известны залежи полезных ископаемых, имеется существенное техногенное загрязнение и т. п. После «чистки» составляется выборка, характеризующаяся преобладанием относительно низких и не сильно колеблющихся содержаний элементов, по которой оцениваются фоновые и минимально аномальные содержания элементов для ореолов привноса и отрицательно аномальные содержания (значения, ниже которых содержания элемента признаются отрицательными аномалиями) – для ореолов выноса. Для элементов с нижним пределом обнаружения (НПО) содержаний $> C_f$ оценка фоновых параметров допускается только в случае, если сумма проб с незначимыми результатами («прочерк», «< НПО») и половины проб с содержанием на уровне предела определения (первое значение – НПО) не превышает 50 % общего количества проб в выборке [Инструкция..., 1983, § 243]. При этом за численное значение содержаний незначимых результатов анализа принимается половина НПО или близкое к кларку округленное значение, если эта величина намного выше кларка.

§ 108. Способы оценки фоновых параметров зависят от того, каким законом лучше аппроксимировать статистическое распределение содержаний элемента. Для микроэлементов в подавляющем большинстве случаев лучше подходит аппроксимация логарифмически-нормальным законом,



Геолого-ландшафтная основа выделения аномальных геохимических полей. Лист О-51-XXXII

Рис. 2.12. Рабочая схема расположения геолого-ландшафтных таксонов масштаба 1 : 500 000

редко – нормальным (гауссовым) законом. В случае аппроксимации логарифмически-нормальным законом в качестве геохимического фона C_{Φ} принимается среднее геометрическое $\bar{C}$ значение содержаний элемента, во втором случае – среднее арифметическое $\bar{C}$ значение.

Для характеристики уровня отклонений содержаний элемента в фоновой выборке от фонового значения, ее степени однородности и пригодности для оценки параметров нормального и аномального поля, а также для расчета для ореолов привноса минимально аномальных ($+C_{Amin}$) и для ореолов выноса отрицательно аномальных содержаний элементов ($-C_{Amin}$) используется при нормальном законе статистического распределения величина стандартного (среднеквадратического) отклонения S_{Φ} , а при логарифмически-нормальном – среднеквадратического отклонения логарифмов содержаний $S_{lg\Phi}$ и стандартного множителя ε_{Φ} :

$$S_{lg\Phi} = \sqrt{\frac{\sum (lgC_i - lgC_{\Phi})^2}{N-1}}, \quad (14)$$

$$S_{lg\Phi} = \sqrt{\frac{\sum (lgC_i - lgC_{\Phi})^2}{N-1}}, \quad (15)$$

$$\varepsilon_{\Phi} = antlg S_{lg\Phi}, \quad (16)$$

где N – объем выборки.

В случае, если значение стандартного множителя ε_{Φ} для микроэлементов превышает 2,0, а для золота – 3,0, выборку дополнительно «чищают», исключая из нее экстремально высокие и(или) реже экстремально низкие значения содержаний элементов.

Вычисления выполняются в программе Excel или в других программах, позволяющих получать статистические оценки этих параметров.

§ 109. Для геолого-ландшафтных таксонов, характеризующихся широким развитием проявлений ПИ и высокой «засоренностью» выборки аномальными содержаниями, следует использовать так называемые робастные оценки фоновых параметров, которые, в отличие от традиционных расчетных оценок C_{Φ} , менее чувствительны к такого рода помехам. Независимо от закона статистического распределения удобной робастной оценкой геохимического фона C_{Φ} является медианное значение содержания C_{ME} – медиана или 50 % процентиль¹ статистического распределения содержаний (рис. 2.13).

Робастная оценка ε_{Φ} производится по нижнему и верхнему квартилям распределения, соответствующим 25 % ($C_{25\%}$) и 75 % ($C_{75\%}$) накопленной частоты (25 % и 75 % процентиля статистического распределения содержаний). Медиана и квартили вычисляются в программе Excel либо в других программах, позволяющих получать статистические оценки параметров выборки. По левой и правой ветвям центральной части статистического распределения содержаний вычисляются две оценки ε_{Φ} :

$$\varepsilon'_{\Phi} = (C_{ME}/C_{25\%})^{1,4825}, \quad (17)$$

$$\varepsilon''_{\Phi} = (C_{75\%}/C_{ME})^{1,4825}. \quad (18)$$

Если оба значения близки по величине, то вычисляется среднее геометрическое значение стандартного множителя:

$$\varepsilon_{\Phi} = \sqrt{\varepsilon'_{\Phi} \times \varepsilon''_{\Phi}}. \quad (19)$$

В случае же существенного различия ε'_{Φ} и ε''_{Φ} , когда есть основания считать, что одно из этих значений не вполне соответствует фоновой совокупности данных², в качестве ε_{Φ} следует взять одно, более надежное значение.

§ 110. Кроме вышеприведенных способов, может применяться учет фоновых неоднородностей с применением способа ландшафтных главных компонент (ЛГК). В этом способе используются

¹Синоним – перцентиль.

²Например, если нижний квартиль равен незначимому содержанию (< НПО) или если незначимому содержанию равны и нижний квартиль, и медиана, то используется значение ε''_{Φ} .

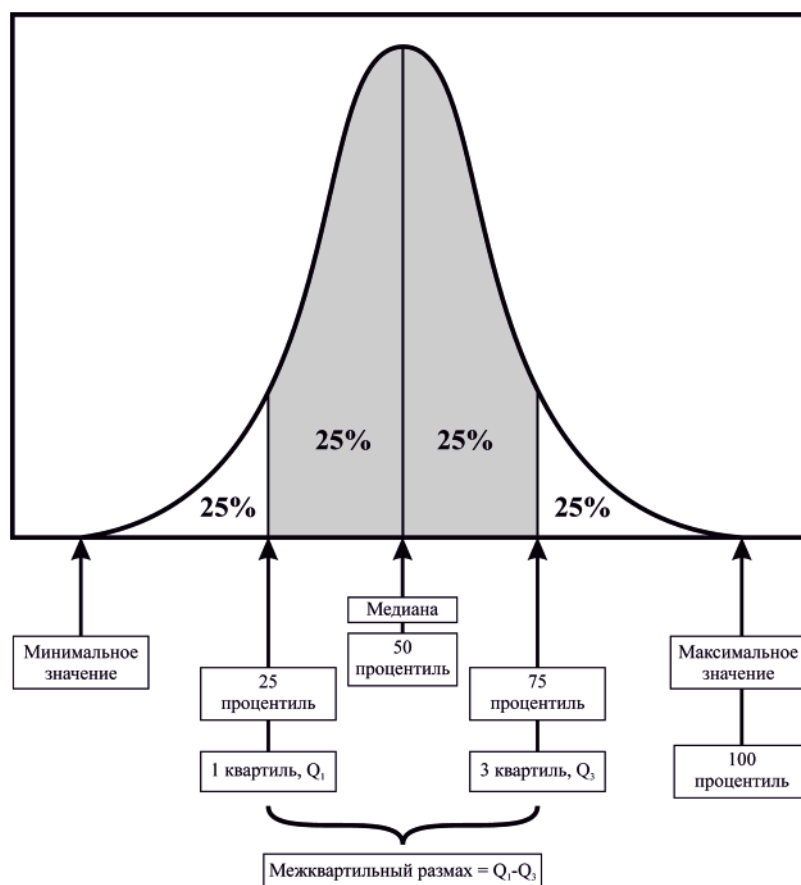


Рис. 2.13. Процентили и квантили на примере симметричного распределения Гаусса

исходные геохимические данные и характеристики ландшафтных условий, задокументированные в поле при отборе проб. Описание способа ЛГК приведено в публикациях [Марченко, 1987; Временные методические указания..., 2005].

§ 111. При обработке геохимических данных может использоваться сочетание разных способов оценки фоновых параметров с учетом изменчивости геологических и ландшафтных условий. Например, если на площади чередуется отбор проб из контрастирующих сред (например, песчано-глинистого материала и торфов) или используются разные методы геохимических поисков (например, по наложенным и остаточным ореолам), то параметры нормального и аномального полей по группам проб, соответствующим разным средам и(или) методам, рассчитываются отдельно. Внутри каждой из групп для учета породных, ландшафтных вариаций содержаний элементов и оценки фоновых параметров могут применяться способы группирования данных по геолого-ландшафтным таксонам (§ 106–108), а также снятие влияния ландшафтных и(или) литологических вариаций по уравнениям регрессии (например, по статистически установленной зависимости фоновых содержаний элемента в пробах торфа от его зольности [Макарова и др., 2008]) и другие способы.

§ 112. Результаты оценки фоновых содержаний элементов по выделенным геолого-ландшафтными таксонам сравниваются на предмет их сходства–различия. Для этого рассчитываются отношения фоновых содержаний элементов для двух сравниваемых выборок. При значениях отношения в пределах от 0,75 до 1,3 (т. е. с кратностью 1,3) различия фоновых содержаний можно считать несущественными. Значения, которые выходят за эти пределы, свидетельствуют о существенном влиянии степени открытости–закрытости территорий и(или) состава геологического субстрата на фоновые уровни содержаний химических элементов.

Более строгая оценка степени различий фоновых распределений содержаний элементов в выборках может проводиться с использованием критериев Фишера и Стьюдента. По критерию Фишера в двух сравниваемых выборках проверяется значимость различий дисперсий содержаний, по критерию Стьюдента – значимость различий по фоновым содержаниям.

В случае отсутствия существенных (статистически значимых) различий сравниваемые выборки подлежат объединению в одну с оценкой для укрупненного геолого-ландшафтного таксона параметров нормального и аномального геохимических полей.

§ 113. Выделение моноэлементных геохимических аномалий производится для ореолов привноса (положительных аномалий) по минимально аномальным ($+C_{Amin}$) и для ореолов выноса (отрицательных аномалий) по отрицательно аномальным ($-C_{Aотр}$) содержаниям элементов.

Практика региональных геохимических работ последних десятилетий с применением компьютерной обработки геохимических данных и определений содержаний элементов количественными методами анализа, характеризующихся меньшими систематическими и случайными погрешностями в сравнении с приближенно количественными методами, позволяет смягчить весьма жесткие критерии выделения аномалий, предусмотренные «Инструкцией...» [1983]. В зависимости от числа сближенных точек опробования целесообразно выделять два аномальных уровня.

Для трех и более пространственно сближенных точек опробования (1-й аномальный уровень) минимально аномальные и отрицательно аномальные содержания элемента определяются по следующим формулам:

при нормальном распределении фоновых содержаний:

$$\text{для ореолов привноса} \quad +C_{Amin} = C_{\phi} + S_{\phi}, \quad (20)$$

$$\text{для ореолов выноса} \quad -C_{Aотр} = C_{\phi} - S_{\phi}. \quad (21)$$

при логарифмически-нормальном распределении фоновых содержаний:

$$\text{для ореолов привноса} \quad +C_{Amin} = C_{\phi} \times \varepsilon_{\phi}, \quad (22)$$

$$\text{для ореолов выноса} \quad -C_{Aотр} = C_{\phi} / \varepsilon_{\phi}. \quad (23)$$

Для двух смежных точек опробования или для одиночной точки (2-й аномальный уровень) минимально и отрицательно аномальные содержания элемента рассчитываются по следующим формулам:

при нормальном распределении фоновых содержаний:

$$\text{для ореолов привноса} \quad +C_{Amin} = C_{\phi} + 2S_{\phi}, \quad (24)$$

$$\text{для ореолов выноса} \quad -C_{Aотр} = C_{\phi} - 2S_{\phi}. \quad (25)$$

при логарифмически-нормальном распределении фоновых содержаний:

$$\text{для ореолов привноса} \quad +C_{Amin} = C_{\phi} \times \varepsilon_{\phi}^2, \quad (26)$$

$$\text{для ореолов выноса} \quad -C_{Aотр} = C_{\phi} / \varepsilon_{\phi}^2. \quad (27)$$

Доверительная вероятность выделения аномальных точек по вышеприведенным аномальным уровням составляет около 95 %, что позволяет по результатам региональных геохимических съемок с редкой сетью опробования не отнести к аномалиям слишком большое количество случайных отклонений от фона (не более 5 % ложных аномальных точек) и в то же время не пропустить слабые истинные аномалии. При этом отнесение единичных слабоаномальных точек геохимических наблюдений в разряд фоновых или наоборот практически не приведет к искажению истинных контуров и площадей выделяемых АГХП и негативно не повлияет на надежность прогнозных оценок их коренных источников.

При картировании геохимических полей с использованием компьютерных технологий, в которых для построения карт изолиний применяются алгоритмы интерполяции геохимических данных (программные средства ArcGIS, Oasis montaj, Surfer и др.), площадные аномалии целесообразно оконтуривать по изолинии содержаний первого аномального уровня [формулы (20)–(23)].

§ 114. Для площадей, характеризующихся геолого-ландшафтными обстановками, существенно различающимися по параметрам нормального ($C_{\phi i}$) и аномального ($S_{\phi i}$, $\varepsilon_{\phi i}$, $+C_{Amin}$, $-C_{Aотр}$)

геохимического поля, или на которых применялись разные методы геохимических поисков, целесообразно выделение аномалий по нормированным содержаниям элементов, коэффициентам концентрации и(или) значениям полиэлементных показателей. В этом случае исходные значения содержаний элемента (показателя) в каждой i -й точке съемки пересчитываются в коэффициенты концентрации (KK) по следующей формуле:

$$KK_i = C_i / C_{\phi i}. \quad (29)$$

Значение KK_i показывает, во сколько раз содержание элемента (или значение показателя) отличается от фонового.

В другом варианте могут определяться по следующим формулам и затем картироваться нормированные (стандартизованные по фоновым параметрам) содержания:

при нормальном распределении фоновых содержаний

$$u_i = (C_i - C_{\phi i}) / S_{\phi i}, \quad (29)$$

при логарифмически-нормальном распределении

$$u_i = (\lg C_i - \lg C_{\phi i}) / \lg \varepsilon_{\phi i}. \quad (30)$$

В этом случае минимально аномальное значение нормированных (стандартизованных) содержаний для положительных аномалий, выделяемых по трем и более точкам, будет равно + 1, отрицательно аномальное для отрицательных аномалий – 1.

2.5.1.2. Выделение аномалий химических элементов и аномальных геохимических полей

§ 115. При ГХР-200 по технологии ФГБУ «Институт Карпинского» (§ 31–38) на открытых (фрагментарно полузакрытых) территориях аномалии химических элементов рекомендуется выделять в изолиниях, дополнительно – в точно-символьном варианте в виде кружочков различного цвета и(или) диаметра (§ 116, 179). При опробовании в соответствии с «Инструкцией...» [1983] и по способу ФГБУ «ИМГРЭ» (§ 29) выделение ореолов рационально в виде линий различной толщины в зависимости от аномального содержания элемента [«Инструкция...», 1983] или в точно-символьном варианте¹ (§ 116, 179).

При ГХР-200 с опробованием по инструктивному способу, а также при ГХР-50 выделение аномалий химических элементов производится только по фактическим точкам отбора проб с привязанными к ним первичными аналитическими данными.

При ГХР-200 с опробованием по технологии Института Карпинского выделение ореолов рационально производить с использованием двух баз данных:

- по фактическим точкам отбора проб с привязанными к ним первичными аналитическими данными;

- по центрам бассейнов водосбора, сноса рыхлого материала (§ 41), а также по фактическим точкам отбора проб по регулярной сети с привязанными к ним первичными аналитическими и расчетными данными.

§ 116. При ГХР-200 первая база данных по фактическим точкам отбора проб может использоваться для построения карт-разносок содержаний элементов в точках опробования в точно-символьном виде (разд. 2.5.4.1, рис. 2.20), возможно с цифровыми подписями содержаний элементов. Такие карты могут оказаться полезными для детального анализа содержаний в конкретных точках опробования, для выявления областей и направлений сноса рыхлого материала с аномальными содержаниями элементов со склонов, а также при планировании заверочных поисковых маршрутов. Кружочки (или другие используемые символы) рекомендуется делать частично прозрачными, чтобы элементы рельефа (горизонтالي и водотоки) просматривались, а при отображении

¹ Содержания элементов в точках опробования аллювия водотоков III–IV порядков (нередко II порядка) часто не отражают в полной мере содержания элементов на прилегающих склонах, а представляют аномальные шлейфы с верховьев речных систем (разд. 1.1). Отражение аномальных площадей в инструктивном варианте или в точно-символьном виде представляется наиболее корректным.

содержаний в пробах, отобранных в сближенных точках, можно было их идентифицировать в каждой из таких проб. Карты-разноски содержаний элементов в точечно-символьном виде по фактическим точкам опробования могут составляться и по результатам ГХР-50.

§ 117. Вторая база данных является основой для картографирования площадных моноэлементных геохимических аномалий (пример в прил. 5.5, 5.6) в виде карт изолиний с последующим их использованием для выделения комплексных аномальных геохимических полей (АГХП).

Как отмечалось в § 33 и 34, при ГХР-200 в нижних частях бассейнов водосбора водотоков I порядка и крупных эрозионных ложбин отбираются две или три пробы. Аналитические данные по ним при построении ореолов химических элементов учитываются следующим образом.

1. В случае близких (различающихся между собой не более чем в 3 раза) содержаний в двух или в трех пробах, отобранных в одном и том же бассейне, рассчитывается среднее содержание элемента, которое относится к центру бассейна водосбора (сноса рыхлого материала).

2. Если имеет место существенное отличие содержаний элементов в двух пробах (более чем в 3 раза), отобранных в одном и том же бассейне, то выбирается значение содержания элемента, наиболее близкое к содержаниям в соседних точках опробования.

3. Если имеет место существенное различие содержаний элементов в трех пробах (более чем в 3 раза между каждыми двумя из трех проб), отобранных в одном и том же бассейне, то, как и в первом случае, рассчитывается среднее содержание элемента, которое относится к центру бассейна водосбора (сноса рыхлого материала).

4. Если в двух пробах из трех отобранных в бассейне водосбора содержания отличаются не существенно (менее чем в 3 раза), то по ним без учета третьей пробы рассчитывается среднее содержание элемента, которое относится к центру бассейна.

5. В случае отбора в водотоках I порядка двух сближенных проб (§ 33) при существенных отличиях в них содержаний элемента (более чем в 3 раза) выбирается одно, наиболее близкое к содержаниям в соседних точках опробования; при близких содержаниях – принимается среднее геометрическое значение.

По сближенным 2–4 пробам, отобранным в нижних частях мелких эрозионных ложбин и ровных склонов (§ 35), рассчитываются средние содержания элементов, которые относятся к центрам сноса рыхлого материала.

Далее по совокупности данных, включающей расчетные данные по центрам бассейнов водосбора (сноса) и первичные данные по точкам опробования рыхлого материала по регулярной сети (если таковые отбирались), проводится оконтуривание ореолов элементов в изолиниях стандартным способом, в том числе с использованием компьютерных алгоритмов построения карт в изолиниях.

§ 118. При выделении ореолов элементов в изолиниях следует руководствоваться следующими общими правилами.

1. Значение первой градации ореолов привноса соответствует минимально аномальному содержанию элемента $+C_{Amin}$, ореолов выноса – отрицательно аномальному ($-C_{Aотр}$) содержанию (§ 113). Значение каждой последующей изолинии ореола конкретного элемента определяется с постоянной кратностью (Кр)¹:

$$(+C_{Amin}) \dots\dots\dots Кр (+C_{Amin}) \dots\dots Кр[Кр (+C_{Amin})] \dots\dots\dots \quad (31)$$

соответственно, для ореолов выноса:

$$(-C_{Amin}) \dots\dots\dots (-C_{Amin}) / Кр \dots\dots\dots [(-C_{Amin}) / Кр] / Кр \dots\dots\dots \quad (32)$$

2. При ГХР-200, исходя из практического опыта, для низкокларковых элементов рекомендуемое значение $Кр = 2-3$, в некоторых случаях до 5 и даже до 10 (нередко для Au); для средне- и относительно высококларковых элементов $Кр = 1,5-2,0$. Кратность при ГХР-50 выбирается в зависимости от контрастности геохимического поля. Для второстепенных элементов, характеризующихся слабоконтрастными аномалиями, не следует использовать кратность менее 1,5. Такие ореолы визуально будут восприниматься как контрастные, в то время как на самом деле таковыми не являются.

¹ При этом не рекомендуется использовать в качестве Кр стандартный множитель ε_{Φ} , который должен применяться только для оценки $+C_{Amin}$ и $-C_{Aотр}$ [формулы (22), (23), (26), (27)].

3. Геохимические карты в изолиниях могут строиться и по нормированным (стандартизованным) содержаниям (§ 114). В этом случае первая градация для выделения ореолов привноса соответствует значению $u_i = +1$, дальнейшим градациям могут соответствовать значения $u_i = +2$, $+3$ и т. д. (или, например, 1,5, 2, 2,5, 3... для более детальной отрисовки ореолов). Для выделения ореолов выноса можно использовать аналогичные последовательности отрицательных значений $u_i = -1$, -2 , -3 и т. п.

4. При выделении ореолов в ручном варианте или при доводке вручную ореолов, построенных на компьютере, изолиния ореола 2-й градации не должна практически повторять изолинию 1-й градации, изолиния 3-й градации – изолинию 2-й градации и т. д. При этом изолинии последующих градаций по возможности должны быть согласованы с конфигурацией изолинии предыдущей градации.

5. Выделение ореолов следует производить с учетом геологического строения площади и тектоники. При явных признаках корреляции аномального геохимического поля с геологией рекомендуется игнорировать формальные способы интерполяции содержаний элементов между смежными точками геохимических наблюдений, применяемые в существующих программных продуктах. В этой связи часто требуется ручная доводка ореолов, выделенных с использованием компьютерных программ, или их ручная отрисовка.

§ 119. Выделение АГХП конкретных уровней организации вещества (разд. 1.1) рекомендуется производить в зависимости от геохимической специализации прогнозируемых рудогенных систем и, соответственно, от структурной позиции главных рудных элементов в АГХП, а также разрешающей способности масштаба ГХР двумя способами: по концентрационным (квантование содержаний) и структурным (объемная зональность, в проекции на поверхность опробования – площадная) геохимическим признакам (разд. 2.5.3, §163–166, прил. 4.14, 4.15).

§ 120. Выделение АГХП по концентрационным признакам может применяться как при ГХР-200 (АГХП ранга РР, РУ, РП), так и при ГХР-50 (АГХП ранга РП, РМ). Такое выделение проводится с использованием:

- полиэлементных ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов), которые представляют собой совмещенные на единой картографической основе моноэлементные ореолы конкретного ранга по группам предположительно генетически родственных элементов. В самом простом случае могут быть две группы: 1 – халько-, литофильные (пример в прил. 5.7), 2 – сидерофильные элементы);

- мультипликативных или аддитивных ореолов предположительно родственных элементов (пример в прил. 5.4).

На площадях, характеризующихся разнообразной металлогенической специализацией, геометризация АГХП производится отдельно по группам предположительно родственных рудных элементов известного или ожидаемого оруденения (прил. 4.15).

§ 121. Выбор спектра элементов для составления полиэлементной карты или комплектации мультипликативного (аддитивного) полиэлементного показателя (ПП) осуществляется с учетом металлогенической специализации изучаемой площади:

- на основе анализа спектра известных на площади коренных проявлений ПИ;
- по результатам прогноза рудноформационной принадлежности ожидаемых рудных объектов, полученных на основе анализа состава (геохимических спектров) высокоаномальных ореолов, выделенных по потокам или вторичным ореолам рассеяния (разд. 2.5.1.3);
- с использованием существующего систематизированного свода сведений о геохимических свойствах месторождений различной формационной принадлежности (прил. 4.5, 4.7–4.9);
- дополнительно с использованием результатов корреляционного, факторного и других методов многомерного статистического анализа данных опробования рыхлых отложений на участках известных на площади работ рудных объектов.

Значения мультипликативных ПП рассчитываются как произведение содержаний или коэффициентов концентрации элементов, значения аддитивных ПП – только как сумма коэффициентов концентрации элементов.

§ 122. При ГХР-200 по концентрационному признаку аномальные геохимические районы ($n \times 10^3 \text{ км}^2$) выделяются в жесткой увязке с геологическими структурами с применением полиэлементной карты ореолов элементов рудного комплекса в обобщенном контуре мозаично-прерывистых слабоконтрастных (1-я градация изолиний) моноэлементных ореолов привноса (§ 118) или по изолинии 1-й градации ореолов привноса мультипликативных (аддитивных) показателей элементов рудного комплекса.

Геохимические узлы ($n \times 10^2 \text{ км}^2$) выделяются в контурах изолинии 1-й градации пространственно сближенных (нередко сплошных) моноэлементных ореолов или ореолов мультипликативных (аддитивных) показателей элементов рудного комплекса.

Численные значения 1-й градации ореолов ранга РР, РУ представляют собой минимально аномальные содержания элементов или значения коэффициентов концентрации ($+C_{Amin}$, $+KK_{Amin}$), определяемые традиционными способами (разд. 2.5.1.1).

При ГХР-200 выделение АГХП ранга РП ($n \times 10^1 \text{ км}^2$), а при ГХР-50 – АГХП ранга РМ ($n \times 10^0 \text{ км}^2$) осуществляется на полиэлементных картах ореолов элементов рудного комплекса в обобщенном контуре высокоаномальных моноэлементных ореолов 2-й или 3-й градаций (§ 118, прил. 5.7) или в контурах изолиний 2–3-й градаций ореолов мультипликативных (аддитивных) показателей (прил. 5.4).

Некоторые типы оруденения, характеризующиеся убогой сульфидностью (например, многие золото-серебряные) или являющиеся существенно пиритсодержащими (например, пиритовый тип золото-кварцевой формации), проявляются в виде контрастных ореолов только главного компонента руд. В этом случае геометризация АГХП рангов РУ, РП осуществляется по изолинии соответствующей градации ореолов главного рудного элемента.

§ 123. При прогнозе наиболее вероятных на площади работ рудогенных систем конкретной рудной формации или родственных формационных типов по признаку «квантование содержаний» [Лось, 1972] возможно применение способа выделения разноранговых ореолов, моделирующего функцию плотности распределения численной характеристики на шкале ее интервалов [Соколов, 1998; Временные методические указания..., 2005]. Практическая реализация этого способа осуществляется путем построения графиков распределения частоты встречаемости содержаний, мультипликативных (аддитивных) показателей или условных продуктивностей рудных элементов на шкале их интервалов (пример в прил. 3.5). Такие вариационные кривые строятся по эталонным, реально рудоносным аномальным геохимическим узлам и районам (при ГХР-50 – по полям и узлам). Минимумы значений показателей являются граничными между АГХП соседних рангов, которые, собственно, и используются для выделения разноранговых ореолов.

§ 124. Выделение АГХП рангов РР, РУ при ГХР-200 вторым способом (§ 119) – по структурным признакам – крайне желательно, т. к. позволяет более надежно дифференцировать АГХП на потенциально рудные, характеризующиеся зональным строением, и соответствующие непромышленной рассеянной минерализации неупорядоченного строения (примеры см. в разд. 1.1 на рис. 1.2). Фиксация потенциально продуктивных АГХП зонального строения производится, как правило, по внешнему контуру относительно узких ореолов привноса центробежных элементов (зона обмена) кольцевой или линейно вытянутой формы (прил. 5.3, 5.8, 5.9). Выделение этих ореолов производится на геологической основе и в пространственной корреляции с разрывной тектоникой, в том числе с кольцевыми структурами центрального типа, которые очень часто контролируют размещение зоны обмена. При выделении таких узких ореолов зоны обмена с учетом геологического строения и тектоники приходится нередко игнорировать формальные способы интерполяции содержаний элементов (значений показателей) между смежными точками геохимических наблюдений, применяемые в существующих программных продуктах. В этой связи часто требуется ручная доводка ореолов привноса ЦБ элементов, выделенных с использованием компьютерных программ, или их ручная отрисовка. Эта методика выделения зональных АГХП приводится ниже в § 125–128.

§ 125. С применением структурных геохимических признаков может производиться выделение зональных АГХП халькофильной, в том числе благороднометалльной (Au, Ag), а в ряде случаев и литофильной специализации (прил. 4.15). На региональных стадиях ГРП в связи с невысокой плотностью опробования выделение зональных АГХП возможно только при ГХР-200 на уровне РУ, РР и при ГХР-50 – на уровне РП, РУ.

Область развития ореолов выноса ЦБ элементов и привноса ЦС элементов (рудного комплекса) соответствует ядерной зоне, ореолы привноса ЦБ элементов и выноса или околофоновых содержаний ЦС элементов фиксируют зону обмена (разд. 1.1; прил. 5.3, 5.8). Выделение АГХП зонального строения основано на приведенных в разд. 1.1 закономерностях их строения и постоянстве состава группы ЦБ элементов [Ca, Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Cr, V, (Ba, Ti, Sc, Sr)]. Элементный состав зоны обмена уточняется по результатам визуализации на изучаемой площади состава ореолов привноса ЦБ элементов в периферических частях полиэлементных ореолов ЦС элементов (ядерная зона), а также с применением корреляционного и факторного анализов. Геометризация

АГХП производится по внешнему контуру мультипликативных ореолов привноса ЦБ элементов ($K_{ЦБ}$) (прил. 5.3; прил. 5.8 – АГХП IX, XII–XIV) или обрамляющих их ореолов привноса ЦС элементов ($K_{ЦС}$), отражающих фланговую зону концентрации¹ (прил. 5.8 – АГХП X, XV).

§ 126. На картах ореолов привноса мультипликативного показателя $K_{ЦБ}$ на открытых территориях, исходя из опыта работ, геохимические структуры РС халько-, литофильной специализации ранга РУ, РР наглядно подчеркиваются мультипликативными ореолами привноса коэффициента ЦБ элементов ($K_{ЦБ}$), укомплектованного 4–6 элементами, в градациях изолиний $K_{ЦБ}$ с кратностью около трех: привноса ($+K_{ЦБ}$) – 3($+K_{ЦБ}$) – 10($+K_{ЦБ}$) – 30($+K_{ЦБ}$), выноса ($-K_{ЦБ}$) – 0,3 ($-K_{ЦБ}$) – 0,1 ($-K_{ЦБ}$). На закрытых площадях в связи с низкими, по сравнению с открытыми территориями, уровнями концентрации и деконцентрации элементов кратность следует уменьшить до 1,5–2,0 или до еще меньшей величины (прил. 5.8). В конкретных случаях выбор градаций осуществляется с учетом аномальных уровней содержаний элементов, входящих в формулу мультипликативного показателя.

§ 127. Ядерная зона АГХП зонального строения ранга РУ при ГХР-200 и рангов РП, РМ при ГХР-50 выделяется по концентрационным признакам в соответствии с § 120–122. Аналогично выделяется АГХП рангов РУ, РП сидерофильной специализации при ГХР-200.

§ 128. Важное значение при выделении АГХП имеют результаты анализа источников вещества и энергии, соответствующих гидротермально-метасоматическим системам (ГМС). По их происхождению выделяются плутоногенные, вулканогенные и тектоногенные гидротермально-метасоматические системы [Плющев и др., 1985, 2012]. Первые две группы ГМС уровня РУ-РП тяготеют к площадям совмещения разновозрастных магматических комплексов, нередко связанных с единым, длительно эволюционирующим очагом, и сопровождаются на каждом уровне конформными сингенетичными морфоструктурами центрального типа (МЦТ). При этом для многоуровневых ГМС характерно наличие сложных иерархий МЦТ с закономерной позицией младших членов относительно старших. Линейные тектоногенные системы приурочены к крупным флюидоподводящим тектоническим нарушениям глубинного заложения и часто также характеризуются наличием МЦТ, отвечающих узлам пересечения тектонических нарушений, полям развития гидротермально-метасоматических образований и т. п. Увязка геохимических аномалий с конкретными геологическими и тектоническими структурами позволяет более обоснованно выделять АГХП рудной природы.

§ 129. Выделение разноранговых АГХП возможно с использованием и других подходов, в том числе компьютеризированных с применением современного программного обеспечения (ArcGIS, Oasis montaj, Surfer и др.). При этом следует учитывать широко распространенные явления интерференции АГХП как на одном уровне организации вещества, так и по иерархической вертикали в рамках многоуровневых АГХС. При ГХР-200 позиция ореолов центростремительных элементов (рудного комплекса) АГХП ранга РП, фиксирующих их ядерную зону, в структуре АГХП старшего ранга (РУ) крайне невыдержана: они могут локализоваться как в ядерной зоне, так и в зоне обмена, нередко – в их приграничных областях. В этой связи при варьирующем составе центростремительных элементов в зависимости от специализации ГМС возникают разнообразные комбинации совместного нахождения разнопорядковых и разнознаковых аномалий. При формализованной компьютерной обработке часто выделяются псевдоассоциации центростремительных и центробежных элементов, обуславливающие сложную мозаичную картину строения геохимического поля изучаемых площадей, не поддающуюся объективной интерпретации. Чтобы исключить подобную ситуацию, компьютеризированное выделение зональных АГХП халько- и литофильной специализации целесообразно в ряде случаев проводить путем раздельного картирования ассоциаций центробежных и центростремительных элементов.

2.5.1.3. Определение формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов

§ 130. При региональных геохимических работах по вторичным ореолам и потокам рассеяния определение формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов производится для АГХП младшего ранга, картируемого в данном масштабе: 1 : 200 000 – ранга РП, 1 : 50 000 – ранга РМ путем сравнения их химического состава со спектрами известных месторождений. Для металлических полезных ископаемых качественные геохимические характеристики генетических групп месторождений и рудных формаций приведены в прил. 4.5,

¹ Фланговая зона концентрации не всегда проявлена.

результаты геохимической типизации на количественном уровне золото-, серебросодержащих проявлений – в прил. 4.7, геолого-геохимическая характеристика некоторых платиносодержащих проявлений – в прил. 4.8, характеристика геохимических спектров (ранжированных рядов элементов) некоторых типов месторождений по потокам рассеяния (на примере Дальнего Востока) – в прил. 4.9.

При сравнении спектров следует иметь в виду, что уровень содержаний главных элементов и элементов-спутников оруденения значительно падает при гипергенном рассеянии в цепочке первичный ореол (рудный объект) – вторичный ореол – поток рассеяния. При этом для сульфидных руд, в которых содержания рудных элементов достигают сотен и тысяч кларков концентрации (K_K), качественный состав элементов в гипергенных производных сохраняется, тогда как для убогосульфидных, и некоторых малосульфидных проявлений, характеризующихся в основном низкими содержаниями элементов-спутников ($K_K = 3 - n \times 10$), спектр во вторичных ореолах и в особенности в потоках рассеяния резко сокращается. В этой связи для сульфидных и части малосульфидных золото-, серебросодержащих, платинометалльных объектов (прил. 4.7, 4.10) и проявлений других металлов возможна индикация по потокам или вторичным ореолам рассеяния как рудной формации, так и минерального (геохимического) типа прогнозируемого оруденения, тогда как для убогосульфидных и некоторых малосульфидных проявлений часто ограничиваются рудной формацией.

§ 131. Определение формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов по потокам и вторичным ореолам рассеяния производится в следующей последовательности:

- в контурах АГХП младшего ранга производится индикация высокоаномальных (максимально аномальных) точек опробования по локальным максимумам содержаний главного компонента (или мультипликативных показателей элементов рудного комплекса) ожидаемого оруденения;
- проводится построение ранжированных по кларкам концентрации (K_K) рядов химических элементов для высокоаномальных точек опробования, в том числе в графическом варианте (рис. 2.14);

- выполняется визуальная группировка аномальных точек, характеризующихся близкими спектрами химических элементов, а для достаточно больших выборок ($n > 25-30$) может проводиться с использованием факторного анализа;

- по каждой группе аномальных точек производится оценка средних геометрических значений K_K для каждого элемента с последующим построением усредненного ранжированного ряда элементов;

- выполняется предварительное определение формационной принадлежности прогнозируемого оруденения путем сравнения ранжированных рядов элементов в высокоаномальных точках АГХП со спектрами эталонных объектов (прил. 4.5–4.10) или известных на изучаемой площади месторождений;

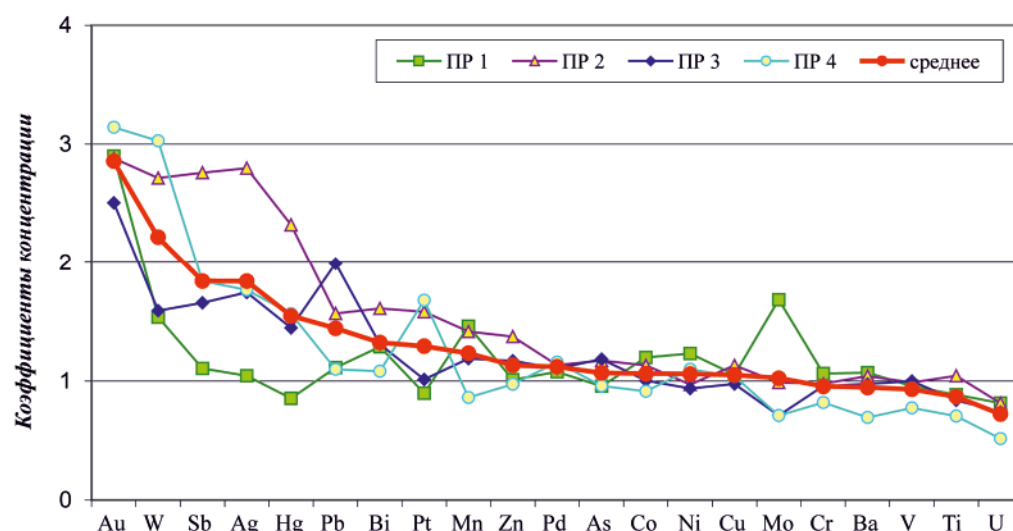


Рис. 2.14. Пример геохимических спектров потенциально золотоносной зоны (участок Темный, Магаданская область), построенных по наиболее аномальным пробам рыхлых отложений

– осуществляется окончательное определение формационной принадлежности прогнозируемого оруденения на основе анализа предварительных результатов геохимической оценки, геолого-структурной позиции аномалии, данных о характере метасоматоза, сведений о химическом и минеральном составе известных проявлений ПИ в контурах АГХП и др.

Существующие подходы при прогнозе природы вторичных ореолов и потоков рассеяния, результаты типизации золото-, серебросодержащих месторождений и методика оценки рудноформационной принадлежности коренных источников гипергенных аномалий подробно изложены в работе [Соколов, 2021].

2.5.1.4. Оценка прогнозных ресурсов и ресурсного потенциала АГХП

§ 132. Главным критерием разбраковки аномальных геохимических полей при производстве ГХР-200, -50 являются результаты оценки масштаба рудных объектов, прогнозируемых по потокам или вторичным ореолам рассеяния:

– **ресурсного потенциала¹** (разд. 1.1) для соотносительной оценки перспективности прогнозируемых и известных рудных узлов, рудных полей, рудных месторождений по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам и потокам рассеяния **при ГХР-200, -50 на закрытых территориях;**

– **прогнозных ресурсов локализованных категории P_3** (разд. 1.1) для соотносительной оценки перспективности прогнозируемых и известных рудных узлов, рудных полей, рудных месторождений по остаточным вторичным ореолам и механическим потокам рассеяния **при ГХР-200, -50 на открытых (с фрагментами ползуакрытых) территориях.**

Основным объектом оценки масштаба при ГХР-200 является АГХП ранга РП ($n \times 10^1 \text{ км}^2$), при ГХР-50 – АГХП ранга РМ ($n \times 10^0 \text{ км}^2$).

§ 133. Оценка прогнозных ресурсов и ресурсного потенциала по потокам рассеяния на открытых территориях производится по следующей формуле:

$$Q = \alpha \frac{1}{k \times k'} P_i \times H \times d \times 10^{-2} \quad (33)$$

и с учетом уровня эрозионного среза:

$$Q = \alpha \frac{1}{k \times k'} P_i \times H_{\text{полн}} \frac{0,8-Z}{0,6} \times d \times 10^{-2}, \quad (34)$$

где Q – прогнозные ресурсы или ресурсный потенциал химического элемента в тоннах (они округляются для благородных металлов при $Q < 10 \text{ т}$ до десятых долей, при $Q \geq 10 \text{ т}$ до единиц, по остальным металлам до тыс. т); α – доля балансовых руд (доля ресурсов концентрированной формы нахождения элемента в рудных телах в общих геохимических ресурсах прогнозируемого РМ, РП, РУ); k – коэффициент соответствия продуктивностей вторичного остаточного литохимического ореола и первичного ореола²; k' – коэффициент соответствия продуктивностей потока рассеяния и вторичного ореола; P_i – площадная продуктивность АГХП i -го ранга (РУ, РП, РМ) в $\text{м}^2\%$; H – прогнозируемая протяженность оруденения на глубину в метрах; d – средневзвешенная объемная масса рудовмещающих пород в т/м^3 , а умножение на 10^{-2} отвечает переходу от процентного содержания к массовой доле элемента; Z – показатель уровня эрозионного среза прогнозируемого оруденения (надрудный срез – $Z=0,0-0,2$; верхнерудный – $0,2-0,4$; рудный – $0,4-0,6$; нижнерудный – $0,6-0,8$; подрудный – $0,8-1,0$, для последнего случая прогнозные ресурсы не оцениваются).

Оценка прогнозных ресурсов по остаточным вторичным ореолам производится по этим же формулам, но без учета коэффициента соответствия поток – вторичный ореол (k').

При наличии только оценок соответствия поток – первичный ореол выражение $k \times k'$ заменяется значением коэффициента соответствия поток – первичный ореол k^* .

¹ Под ресурсным потенциалом (см. разд. 1.1) понимается более низкая, в сравнении с прогнозными ресурсами P_3 , категория ориентировочной оценки масштаба прогнозируемого объекта.

² Под термином «первичный ореол» в данном контексте понимается рудогенная геохимическая аномалия в коренных породах, выходящая на эрозионную поверхность, включая рудные тела с кондиционным оруденением, их ореольное обрамление и сопутствующую непромышленную минерализацию.

При оценке ресурсного потенциала на закрытых территориях по результатам применения МАСФ или других методов по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам вместо $k \times k'$ применяются коэффициенты соответствия в следующем виде:

– $k \times k''$ – коэффициенты соответствия вторичный остаточный ореол – первичный ореол (k) для ландшафтов пологих склонов и вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') для закрытых территорий;

– k''' – вторичный наложенный ореол – первичный ореол (коренное оруденение) в том случае, если имеются данные о значении именно этого обобщенного коэффициента.

§ 134. Исходными данными для оценки параметров и характеристик АГХП и прогнозируемого оруденения являются следующие: N – количество проб в АГХП или в аномалии данного элемента, S – площадь АГХП или аномалии данного элемента, $\bar{C}$ – среднее содержание элемента в аномалии, C_i – содержание элемента в i -й точке опробования, C_{ϕ} – фоновое содержание, d – объемная масса оруденелых пород, а также тип элементарных ландшафтов, сульфидность прогнозируемого оруденения, технология пробоподготовки. Оценка параметров и характеристик АГХП и прогнозируемого оруденения, в том числе прогнозных ресурсов (ресурсного потенциала), проводится в автоматизированном режиме с использованием, например, программы Excel (пример в прил. 4.12). Последовательность расчета прогнозных ресурсов (ресурсного потенциала) приводится ниже.

§ 135. Оценка площадной продуктивности (P) производится по известной формуле [Соловов, 1985]:

$$P = \sum (C_i - C_{\phi i}) \Delta S_i, \quad (35)$$

где C_i – содержание элемента в i -й точке опробования; $C_{\phi i}$ – фоновое содержание в i -й точке; ΔS_i – площадь, приходящаяся на i -ю точку опробования, определение которой может производиться с использованием существующих программных средств (ГИС-технологий) либо вручную¹.

При локализации аномалии в пределах одного геолого-ландшафтного таксона, для которого фоновое содержание представляет собой постоянную величину C_{ϕ} , на практике площадная продуктивность оценивается по следующей формуле:

$$P = (\bar{C} - C_{\phi}) \times S, \quad (36)$$

где $\bar{C}$ среднеореольное содержание элемента; C_{ϕ} – фоновое содержание; S – площадь аномалии данного элемента, которая определяется в автоматизированном режиме с использованием существующих программных средств.

При расчете $\bar{C}$ в случае наличия в контурах ореола ураганного содержания элемента $C_{ур}$, отличающегося более чем на десятичный порядок от максимальной по содержанию на площади работ в i -й пробе (C_i), оно заменяется на десятикратное содержание ($10 \times C_i$). Для таких ореолов, оконтуренных по трем и более точкам опробования, возможна также оценка площадной продуктивности (P) с использованием среднегеометрического значения содержаний элемента в ореоле.

Формулы (35) и (36) применяются для расчетов по результатам литохимических съемок как по вторичным ореолам, так и по потокам рассеяния в случае картографического отражения аномальных потоков в ореольном варианте.

§ 136. Определение доли балансовых руд (α) для рудных объектов рангов РП, РМ ($S > 1 \text{ км}^2$) рекомендуется проводить с использованием установленной еще в прошлом веке [Соколов, 1998] функциональной среднестатистической зависимости этой величины от площади аномалии (S) и от кларка элемента в земной коре (K_K) (рис. 2.15), опубликованной в более чем десяти печатных работах [Соколов, 2004; Временные методические указания... 2005; Соколов, 2010; Методические рекомендации... 2018ф; Соколов, 2019; Силин, Межеловский и др., 2019] и широко применяемой в практике геохимических оценок ресурсов при производстве региональных ГХР на территории Российской Федерации.

Формулы для вычисления значений α приводятся в табл. 2.2, а численные значения – в табл. 2.3, которые и предлагается использовать при оценке ресурсов².

¹ В случае применения компьютерных ГИС-технологий обработки геохимических данных и картографирования изосодержаний вычисление по формуле (35) может производиться по алгоритму численного расчета площадного интеграла содержаний элемента за вычетом фона по площади аномалии.

² Здесь же, на графике (рис. 2.15) и в правом столбце табл. 2.3 приведены значения α из прил. 1.15 «Требований...» [2021], ссылки на публикации по методике и обоснованию их оценки нигде не приводятся. Их применение, по мнению авторов пособия, приводит к завышенным оценкам прогнозных ресурсов, что следует из рис. 2.15.

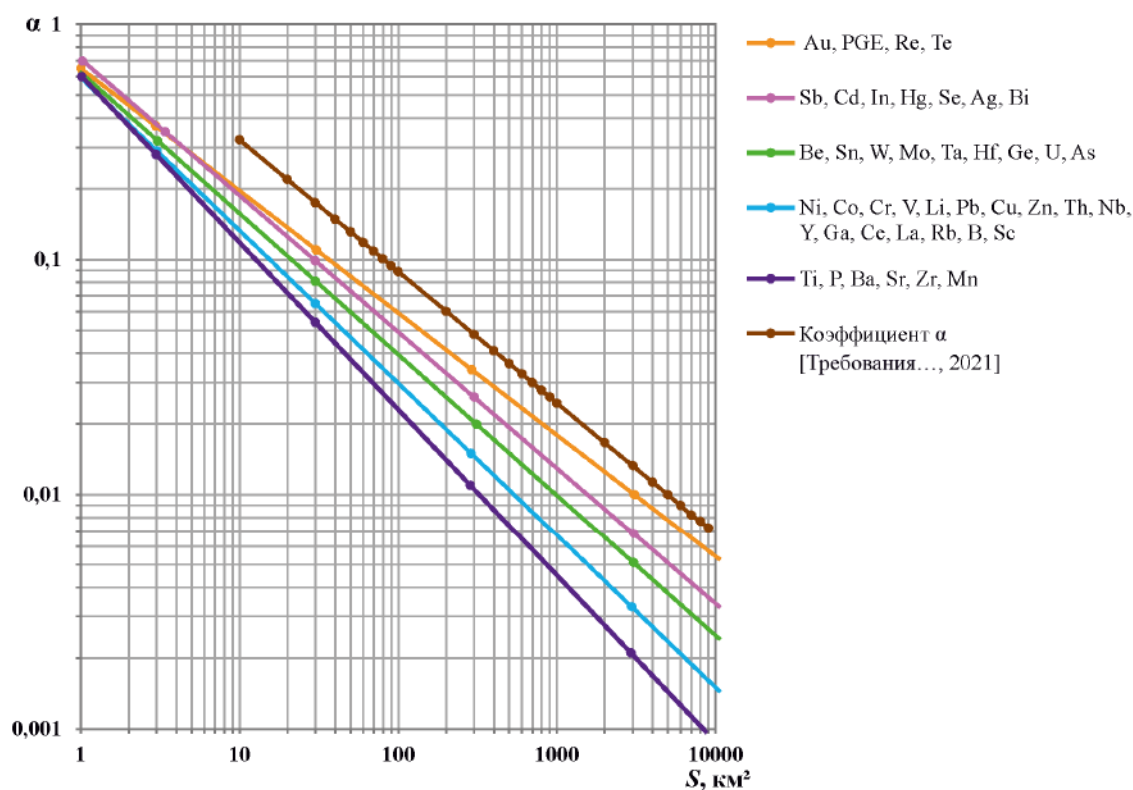


Рис. 2.15. Зависимость среднестатистических значений доли балансовых руд (α) от площади аномалий (S) для групп элементов, различающихся распространенностью в земной коре

При детализационных работах в составе ГХР-200 или при производстве ГХР-50 с проходкой единичных горных выработок (канав), или по данным опробования канав предшественников значения α могут оцениваться из отношения линейных продуктивностей рудного элемента на интервале кондиционных руд и на интервале, включающем совокупность рудного тела, первичного ореола и сопутствующих проявлений рассеянной минерализации. Методика таких определений иллюстрируется на конкретном примере в прил. 3.6. Полученные значения α могут использоваться при оценке прогнозных ресурсов АГХП, соответствующих рудным телам или локальным рудным зонам.

§ 137. Выбор значений коэффициентов соответствия вторичный остаточный ореол – первичный ореол k на открытых площадях производится с использованием данных заверки вторичных ореолов канавами при детализационных работах в составе ГХР-200 или при проведении специализированных ОМР способами, изложенными в разд. 2.3.3. По результатам этих работ могут быть получены наиболее надежные оценки этого коэффициента (прил. 3.1).

При отсутствии прямых определений местных значений k по данным поисковых, заверочных, детализационных или опытных работ значение этого коэффициента можно оценить с использованием статистических данных, накопленных в результате геохимических работ на других объектах в сходных геолого-ландшафтных обстановках. Среднестатистические значения k для золота и других элементов в зависимости от сульфидности прогнозируемого оруденения и ландшафтных условий локализации АГХП в районах гумидной зоны Дальнего Востока приведены в табл. 2.4 и 2.5. При наличии данных о химическом составе коренных проявлений золота, аналогичных прогнозируемым на площади, значения k для золота могут определяться по формулам (42)–(44) (см. табл. 2.4). Эти среднестатистические значения k можно использовать не только в Дальневосточном регионе, но и в сходных широко распространенных ландшафтных обстановках гумидной зоны на всей территории России (многие районы Сибири, Урала и др.). В регионах, по ландшафтным условиям отличных от восточных и северных территорий, например, в аридной зоне, значения k заимствуются из опубликованных источников [Миляев, 1988; Литохимические методы..., 2005 и др.], фондовых источников или оцениваются по результатам

Таблица 2.2

Зависимость средних значений доли балансовых руд от распространенности микроэлементов в земной коре (К) и площади (ранга) аномалий (S) [Соколов, 1998]

Группа по распространенности	Интервал К (г/т)	Химический элемент	Зависимость $\alpha - S$ (км ²) Средние значения α для АГХП ранга				
			PM	РП	РУ	РР	РО
Средне-распространенные	≥ 170	Ti, P, Ba, Sr, Zr, Mn	$\alpha = \text{antln}(-0,71 \ln S - 0,50)$ (37)				
			0,28	0,054	0,011	0,0021	0,0004
Малораспространенные	10–110	Ni, Co, Cr, V, Li, Pb, Cu, Zn, Th, Nb, Y, Ga, Ce, La, Rb, B, Sc	$\alpha = \text{antln}(-0,65 \ln S - 0,52)$ (38)				
			0,29	0,065	0,015	0,0033	0,0007
Редкие	1,0–4,0	Be, Sn, W, Mo, Ta, Hf, Ge, U, As	$\alpha = \text{antln}(-0,60 \ln S - 0,47)$ (39)				
			0,32	0,081	0,020	0,0051	0,0013
Очень редкие	0,05–0,5	Sb, Cd, In, Hg, Se, Ag, Bi	$\alpha = \text{antln}(-0,58 \ln S - 0,34)$ (40)				
			0,35	0,099	0,026	0,0068	0,0018
Редчайшие	0,0001–0,01	Pd, Au, Pt, Re, Te, Ir, Os, Rh	$\alpha = \text{antln}(-0,52 \ln S - 0,43)$ (41)				
			0,37	0,11	0,034	0,010	0,0031
Примечание. S в км ² .							

Таблица 2.3

Значения доли балансовых руд в зависимости от распространенности микроэлементов в земной коре (К) и площади аномалий [Соколов, 1998]

Ранг АГХП	Пло- щадь АГХП (км ²)	Значение α					«Требова- ния...» [2021], прил. 1.15
		Группа элементов по распространенности (интервал К, г/т)					
		среднераспро- страненные (≥ 170)	малораспро- страненные (10–110)	редкие (1,0–4,0)	очень редкие (0,05–0,5)	редчайшие (0,0001–0,01)	
		Ti, P, Ba, Sr, Zr, Mn	Ni, Co, Cr, V, Li, Pb, Cu, Zn, Th, Nb, Y, Ga, Ce, La, Rb, B, Sc	Be, Sn, W, Mo, Ta, Hf, Ge, U, As	Sb, Cd, In, Hg, Se, Ag, Bi	Pd, Au, Pt, Re, Te, Ir, Os, Rh	
РМ	1	0,47	0,49	0,51	0,56	0,62	—
	2	0,37	0,38	0,41	0,43	0,45	—
	3	0,28	0,29	0,32	0,35	0,37	—
	4	0,23	0,24	0,27	0,29	0,32	—
	6	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	—
	8	0,14	0,15	0,18	0,20	0,22	—
РП	10	0,12	0,13	0,16	0,18	0,20	0,3233
	20	0,072	0,085	0,10	0,12	0,14	0,2193
	30	0,052	0,065	0,081	0,095	0,11	0,1748
	40	0,044	0,054	0,069	0,082	0,095	0,1488
	60	0,033	0,042	0,053	0,065	0,077	0,1186
	80	0,027	0,034	0,045	0,056	0,067	0,1009
РУ	100	0,023	0,030	0,039	0,049	0,060	0,0891
	200	0,014	0,019	0,026	0,034	0,041	0,0604
	300	0,011	0,015	0,020	0,027	0,033	0,0481
	400	0,0087	0,012	0,017	0,023	0,028	0,0410
	600	0,0065	0,0093	0,013	0,018	0,023	0,0327
	800	0,0052	0,0078	0,011	0,016	0,020	0,0278
РР	1000	0,0045	0,0067	0,010	0,013	0,018	0,0245

ОМР (разд. 2.3.3). В ландшафтных обстановках аридной зоны при отсутствии опубликованных данных и данных ОМР для элементов, представленных тяжелыми, устойчивыми в зоне выветривания первичными и вторичными минералами (Au, Pt, Sn, W, Nb, Ta, Ti, Cr, Zr, TR и др.), значения k близки к единице [Инструкция..., 1983] и в расчетах они принимаются равными 1,0; для элементов – активных водных мигрантов (Li, B, Sr, в окислительной среде – Zn, Cu, Ni, U, Mo и др.) при наличии процессов испарительной аккумуляции значения $k > 1$ [Инструкция..., 1983; Справочник..., 1990] и в расчетах они ориентировочно принимаются равными 2,0.

§ 138. Надежная оценка коэффициентов соответствия вторичный наложенный ореол – вторичный остаточный ореол (k'') и(или) вторичный наложенный ореол – первичный ореол (k''') может быть получена двумя способами:

- по результатам ОМР (разд. 2.3.3) на участках, где рудная природа аномалий подтверждена;
- на площадях, на которых параллельно проведены литохимические съемки стандартным методом по остаточным вторичным ореолам (если они погребены под наносами – методом глубинной литохимической съемки) и методами МАСФ, ММИ, МЕФФА или другими специальными методами поисков по наложенным сорбционно-солевым ореолам рассеяния.

Значения этих коэффициентов определяются из отношения линейных или площадных продуктивностей вторичного наложенного ореола и вторичного остаточного ореола или первичного ореола¹.

Таблица 2.4

Зависимость значений коэффициента соответствия золота (k) от сульфидности прогнозируемого золотого оруденения (SS) и крутизны склонов [Хорин, Соколов, 1985; Соколов, 1998]

Элементарные ландшафты	Сульфидность золотого оруденения			Формулы зависимости k (SS)
	убогосульфидные ($\leq 1\%$ сульфидов)	мало-сульфидные (1–5 %)	умеренносульфидные, сульфидные ($\geq 5\%$)	
Сильнорасчлененных горных сооружений (углы склонов $\geq 25^\circ$)	1,0 / 2,0	4,0 / 1,9	8,0 / 2,1	$k = \text{antln}(0,654 \ln SS + 1,842)$ (42)
Среднерасчлененных горных сооружений (углы склонов $10\text{--}25^\circ$)	0,5 / 1,5	2,0 / 1,7	4,0 / 1,8	$k = \text{antln}(0,654 \ln SS + 1,191)$ (43)
Слаборасчлененных низкотерри и плоскогорий (углы склонов $\leq 10^\circ$)	0,15 / 1,8	0,8 / 1,8	2,0 / 1,9	$k = \text{antln}(0,929 \ln SS + 0,530)$ (44)
Примечание. Перед косой чертой – k , за чертой – $\epsilon^{\pm 1}$. SS – показатель сульфидности, численно равный сумме содержаний в рудах сульфидообразующих элементов: Pb, Zn, Cu, As, Sb, Bi, Co, Ni, Mo (в %).				

При отсутствии местных оценок этих коэффициентов при проведении работ по наложенным вторичным ореолам по технологии МАСФ или МЕФФА возможно применение в сходных ландшафтных условиях значений k'' , полученных по результатам ОМР на платинометалльном месторождении Вуручайвенч на Кольском полуострове (разд. 2.3.3, рис. 2.8; табл. 2.6) и на двух золото-молибден-медно-порфировых проявлениях в Восточном Забайкалье [Марченко и др., 2021]: для Cu – среднее геометрическое значение 0,81, для Mo – 0,91, для Au – 0,90.

В случае отсутствия достоверных местных оценок k'' , k''' в конкретных ландшафтных условиях ГХР по методам МАСФ или МЕФФА рекомендуется использовать значение 1,0 на полукрытых и 0,5 на закрытых территориях.

§ 139. Оценка коэффициента соответствия продуктивностей потоков и вторичных ореолов рассеяния (k') может быть получена с использованием ретроспективных геохимических данных

¹ Значения k''' определяются только по соотношению продуктивностей наложенного вторичного ореола и первичного ореола (коренного оруденения).

Таблица 2.5

Зависимость значений коэффициента соответствия k от сульфидности прогнозируемого оруднения и крутизны склонов в условиях Дальнего Востока

Элемент	Убогосульфидные, малосульфидные ($\leq 5\%$ сульфидов)			Умеренносульфидные, сульфидные ($\geq 5\%$)		
	сильнорасчлененных горных сооружений (углы склонов $\geq 25^\circ$)	среднерасчлененных горных сооружений (углы склонов $10-25^\circ$)	слаборасчлененных и плоскотеррас (углы склонов $\leq 10^\circ$)	сильнорасчлененных горных сооружений (углы склонов $\geq 25^\circ$)	среднерасчлененных горных сооружений (углы склонов $10-25^\circ$)	слаборасчлененных и плоскотеррас (углы склонов $\leq 10^\circ$)
Ag	0,9/2,0	0,6/2,0	0,3/2,1	3,0/1,9	1,5/1,9	0,6/2,2
Pb	3,0/1,7	1,7/1,8	0,7/1,8	3,5/1,8	2,0/1,7	1,3/1,9
Zn	1,1/1,8	0,8/1,8	0,4/2,1	1,5/2,1	0,9/2,0	0,5/2,1
Sn	3,1/2,1	1,8/2,2	1,3/2,1	4,2/2,1	2,1/2,1	1,5/2,1
As	2,2/1,7	1,6/1,7	1,0/1,8	3,3/1,7	1,9/1,7	1,2/1,7
Bi	2,1/1,7	1,8/1,4	1,1/1,8	3,1/1,7	1,9/1,7	1,2/1,8
W	1,7/1,3	1,5/1,4	0,9/1,6	2,9/1,6	1,8/1,4	1,1/1,7
Mn	2,4/1,6	1,1/1,6	0,9/1,8	3,2/1,7	1,7/1,6	1,0/1,7
Cu	1,2/1,8	1,0/1,9	0,8/1,8	1,4/1,7	1,1/1,8	0,9/1,8
Mo	1,4/1,8	0,9/1,8	0,6/1,9	1,6/1,2	0,9/1,4	0,8/1,4
Cr	0,8/?					
Примечание. При оценке средних значений k использованы данные Г.И. Хорина, Л.Н. Бельчанской, В.П. Бородин, А.А. Матвеева, В.В. Домчака и авторов «Требований...» [2021]. Перед косой чертой – k , за чертой – $\varepsilon^{\pm 1}$.						

Таблица 2.6

Значения коэффициента соответствия наложенный сорбционно-солевой ореол – остаточный механический ореол (k'') на платинометалльном месторождении Вуручайвенч (Кольский полуостров)

Элемент	As	U	Bi	Pd	Pb	Pt	Co	Mo	Ni	Ag	Cu	Au	Zn	W	Cr
k''	26	5,8	4,1	2,5	2,2	2,0	1,6	1,2	1,0	0,9	0,9	0,85	0,7	0,6	0,2

по известным рудным объектам или по данным заверочных и детализационных работ по вторичным ореолам рассеяния при ГХР-200. Значения этого коэффициента определяются из отношения площадных продуктивностей потока (P') и вторичного ореола (P) рассеяния:

$$k' = \frac{P'}{P}. \quad (45)$$

Пример приведен в прил. 3.1. При отсутствии таких определений k' на площади работ в горно-таежных ландшафтах Дальнего Востока, Сибири и Урала могут применяться среднестатистические данные, дифференцированные по способу пробоподготовки (табл. 2.7).

§ 140. Расчет площадной продуктивности, соответствующей балансовым ресурсам прогнозируемого коренного оруденения, сосредоточенным в месторождении как совокупности рудных тел (P_{PT}^K), локализованном в контурах оцениваемого АГХП рангов РУ, РП, РМ, производится по формуле:

$$P_{PT}^K = \alpha \frac{P}{k \times k'}, \quad (46)$$

где знаменатель $k \times k'$, в зависимости от видов и методов ГХР, может быть представлен в вариантах, приведенных в § 133.

§ 141. Прогнозируемая протяженность оруденения на глубину (H) при наличии надежной геологической информации (данные поискового бурения в пределах рудогенных АГХП, геофизические данные, подтвержденные отдельными скважинами, и т. п.) может выбираться из геологических соображений, однако при региональных ГХР количество и надежность такой информации, как правило, недостаточны. По А. П. Соловову, определение ожидаемой протяженности оруденения на глубину может осуществляться по первичным ореолам на основе принципа подобия [Соловов, 1985]. Вместе с тем, на этой основе возможен прогноз протяженности оруденения на глубину и по гипергенным ореолам с использованием, за вычетом количества металла, сосредоточенного в АГХП старших рангов (РУ, РП, РМ), площадной продуктивности P_{PT}^K [формула (46)], фактически адекватной продуктивности, оцененной по первичным ореолам. В зависимости от наличия и полноты имеющейся геолого-геохимической информации об эталонных объектах и морфологии прогнозируемого оруденения, такая оценка производится по четырем вариантам [Соколов, 1998, 2004, 2019].

§ 142. Вариант I – сведения о параметрах генетически родственного эталонного (известного) объекта (Q – запасы, P_{PT} – продуктивность АГХП ранга РТ, H^Q – протяженность на глубину) отсутствуют. В этом случае в первом приближении определение протяженности на глубину контрольного (оцениваемого) объекта (H^K) осуществляется с использованием приведенных в прил. 4.11 параметров эталонного объекта P_{PT} и H^Q (столбцы 7, 8) среднего по запасам условного месторождения ($\bar{Q}_c$), характеризующегося среднестатистической протяженностью оруденения на глубину (H^Q) по следующим формулам:

$$\chi = \sqrt{P_{PT}^K / P_{PT}^Q}, \quad (47)$$

$$H^K = \chi H^Q, \quad (48)$$

где χ – коэффициент подобия; P_{PT}^K – продуктивность контрольного (оцениваемого) объекта, которая определяется по формуле (46).

§ 143. Вариант II – на исследуемой площади известно одно месторождение. В этом случае при оценке АГХП с прогнозируемой генетически близкой минерализацией используется установленная

протяженность этого эталонного объекта ($H^{\mathfrak{A}}$), а продуктивность аномалии месторождения ранга РТ эталонного объекта ($P_{\text{РТ}}^{\mathfrak{A}}$ в м %) оценивается по следующей формуле:

$$P_{\text{РТ}}^{\mathfrak{A}} = \frac{Q}{H^{\mathfrak{A}} d 10^{-2}}, \quad (49)$$

где Q – разведанные запасы известного объекта (т); $H^{\mathfrak{A}}$ – установленная на объекте протяженность оруденения на глубину (м); d – средневзвешенная объемная масса вмещающих пород (т/м³).

Далее оценка χ и H^K проводится по формулам (47) и (48).

Т а б л и ц а 2.7

Средние значения коэффициента соответствия k' в горно-таежных ландшафтах Дальнего Востока в зависимости от технологии пробоподготовки

Элемент	Метод пробоподготовки		k_0' / k_m'
	мокрая ситовка, k_m'	стандартный, k_0'	
As	–	$\frac{1,19/1,2}{45}$	–
Pb	$\frac{0,57/1,1}{4}$	$\frac{1,07/1,2}{61}$	1,9
Mn	–	$\frac{1,09/1,5}{?}$	–
Ti	$\frac{1,7/1,5}{2}$	–	–
Ag	$\frac{1,48/1,5}{5}$	$\frac{1,14/1,4}{24}$	1,5
W	$\frac{0,54/1,5}{3}$	$\frac{0,82/1,2}{64}$	0,8
Zn	–	$\frac{1,78/1,3}{37}$	–
Mo	$\frac{0,68/1,3}{3}$	$\frac{1,43/1,3}{14}$	2,1
P	$\frac{1,3/1,8}{2}$	$\frac{5}{?}$	3,8
Au	$\frac{1,05/1,7}{4}$	$\frac{2,07/2,1}{32}$	2,0
Bi	–	$\frac{1,32/1,4}{28}$	1,0
Li	$\frac{1,8}{1}$	–	–
Cu	$\frac{0,62/1,4}{5}$	$\frac{0,98/1,1}{19}$	1,6
Zr	$\frac{0,69}{1}$	–	–
Be	$\frac{0,46}{1}$	–	–
La	$\frac{3,7}{1}$	$\frac{5,0}{?}$	1,4
Y	$\frac{1,2}{1}$	$\frac{2,0}{?}$	1,7
Yb	$\frac{1,22}{1}$	–	–
Sn	–	$\frac{1,92/1,9}{48}$	–

П р и м е ч а н и е. При оценке средних значений k использованы первичные данные: по мокрой ситовке – В. В. Домчака, А. А. Васильева, по стандартному методу пробоподготовки – Г. И. Хорина, А. Д. Ананченко, В. П. Бородина, В. А. Кононова, А. А. Матвеева, А. П. Полкового и авторов пособия. В числителе перед косой чертой – k' , за чертой – $\varepsilon^{\pm 1}$, в знаменателе – количество определений.

§ 144. Вариант III применяется при наличии данных о группе известных месторождений конкретной специализации. Определение протяженности оруденения на глубину производится на основе статистических зависимостей между P_{PT} (м²%) и H (м). В настоящее время такие зависимости установлены для месторождений золота, серебра и редкоземельных элементов¹ (рис. 2.16–2.18):

$$\text{для Au} \quad H^K = \text{antln}(0,625 \ln P_{PT} + 4,967), \quad (50)$$

$$\text{для Ag} \quad H^K = \text{antln}(0,774 \ln P_{PT} + 2,083), \quad (51)$$

$$\text{для TR} \quad H^K = \text{antln}(0,400 \ln P_{PT} + 2,250). \quad (52)$$

Для всех трех вариантов оценка H^K производится для главного рудного элемента известного или ожидаемого оруденения, по сопутствующим элементам величина H^K директивно принимается такой же, как для главного компонента. Расчетная протяженность H^K округляется с шагом 50 метров (50, 100, 150, 200 м и т. д.).

§ 145. Оценка прогнозных ресурсов по I–III вариантам производится по следующей формуле:

$$Q = P_{PT}^K H_d^K 10^{-2} \quad (53)$$

§ 146. При наличии данных об уровне эрозионного среза прогнозируемого оруденения при ГХР-200 оценка прогнозных ресурсов производится по формуле (34). В этом случае оценка уровня эрозионного среза прогнозируемого оруденения Z как совокупности рудных тел (ранг РМ) в практике геохимических поисков, как правило, не производится или осуществляется на качественном уровне по наличию ореолов типичных для прогнозируемого типа оруденения надрудных–верхнерудных элементов (Z принимается равным 0,2), преимущественно элементов рудного среза ($Z = 0,4$) или подрудных–нижнерудных элементов ($Z = 0,6$) (прил. 4.16).

§ 147. Вариант IV может применяться при прогнозе месторождений, характеризующихся изометричной формой рудных залежей – Ni, Ti, а также Mo медно-молибден-порфирирового (не жильного) типа и др. В качестве исходного параметра рекомендуется использовать не протяженность оруденения на глубину (H_{PT}), а площадь выхода на эрозионную поверхность рудного тела (S_{PT}^K), которая определяется по следующей формуле:

$$S_{PT}^K = \frac{P_{PT}^K}{\bar{C}_{PT}}, \quad (54)$$

где $\bar{C}_{PT}$ – среднерудное содержание по известным объектам: в среднем равно для Ni – 2 %, для Ti – 20 %, для Mo – 0,2 % (прил. 4.11, столбец 2), P_{PT}^K – площадная продуктивность, соответствующая балансовым запасам прогнозируемого коренного оруденения, рассчитанная по формуле (46).

§ 148. Оценка прогнозных ресурсов по IV варианту производится по следующим формулам:

$$\text{для Ni} \quad Q = \text{antln}(1,139 \ln S_{PT}^K - 5,536), \quad (55)$$

$$\text{для Ti} \quad Q = \text{antln}(0,763 \ln S_{PT}^K + 0,38), \quad (56)$$

$$\text{для Mo} \quad Q = \text{antln}(1,038 \ln(S_{PT}^K \times 10^6) + 4,68), \quad (57)$$

где Q – прогнозные ресурсы (тыс. т), S_{PT}^K – площадь выхода (или проекции) на дневную поверхность рудного тела (для Ni и Ti в м², для Mo в км²).

Результаты определения Q и S_{PT}^K позволяют оценить ожидаемую мощность субгоризонтальных залежей (M_{PT} в м) из следующего выражения:

$$M_{PT} = \frac{Q}{\bar{C} \times d \times S_{PT}^K \times 10^{-2}}, \quad (58)$$

где d – средняя объемная масса руды, для медно-никелевого и титанового оруденения принимается равной 3,5 т/м³, для медно-молибден-порфирирового – 3,0 т/м³; $\bar{C}$ – среднее содержание металла; в данной формуле Q в тоннах.

¹ Разброс точек вокруг осредняющей прямой составляет в единичных случаях до 3–5-кратного, но даже при таком разбросе применение установленных зависимостей как среднестатистической тенденции при оценке протяженности прогнозируемого оруденения на глубину, по сравнению с широко используемыми оценками ресурсов на 100 или 200 м углубки, позволяет получать оценки ресурсов более близкие к запасам месторождений в контурах рудных полей. Это подтверждается результатами сопоставления ресурсов АГХП ранга РП, рассчитанных с использованием вышеприведенных зависимостей, с запасами разведанных месторождений [Соколов, 2019].

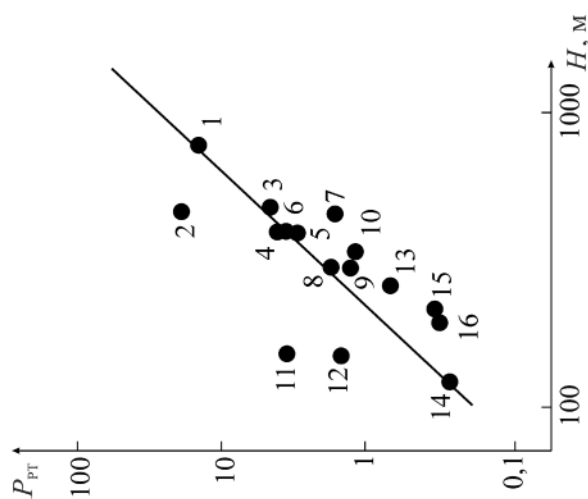


Рис. 2.16. Зависимость площадной продуктивности оруденения ($P_{рт}$, м² %) и протяженности на глубину (H) золотых месторождений Дальнего Востока

Месторождения: 1 – Маломыр; 2 – Бамское; 3 – Глухое; 4 – Хаканджинское; 5 – Березитовое; 6 – Многовершинное (РТ верхнее); 7 – Дяппе; 8 – Буриндинское; 9 – Многовершинное (РТ Центральное); 10 – Аскольд; 11 – Колчеданный утес; 12 – Хаканджинское (РТ-3); 13 – Агние-Афанасьевское; 14 – Тумнинское; 15 – Многовершинное (РТ Тихое); 16 – Кварцитовое

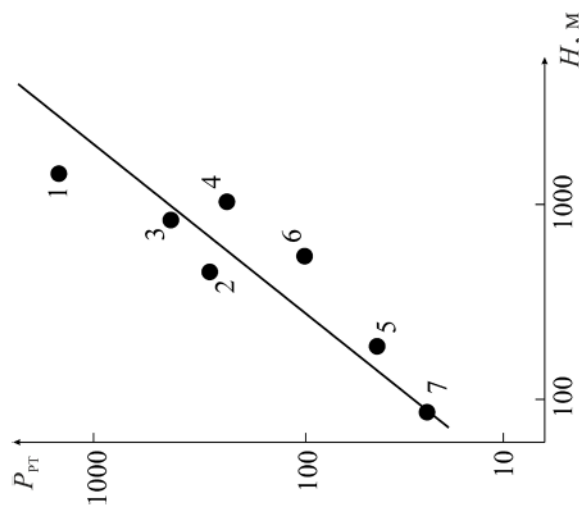


Рис. 2.17. Зависимость площадной продуктивности оруденения ($P_{рт}$, м² %) и протяженности на глубину (H) некоторых серебряных месторождений мира.

Месторождения: 1 – Потоси; 2 – Мильюачака; 3 – Брокен-Хилл; 4 – Хилтон-Майн; 5–6 – Гуана-Хуата; 5 – жила Арана, 6 – главная шахта; 7 – Теркей

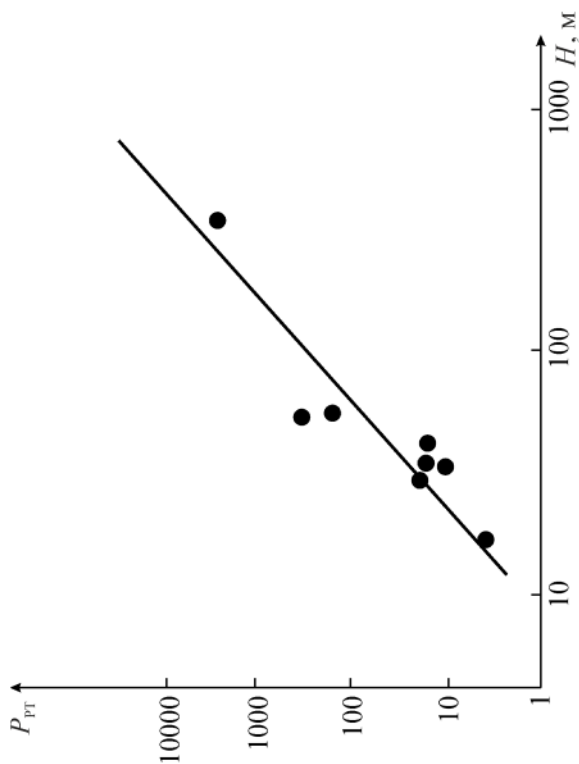


Рис. 2.18. Зависимость площадной продуктивности оруденения ($P_{рт}$, м² %) и протяженности на глубину (H) редкоземельных проявлений Северного Приамурья

§ 149. Величина M_{PT} может использоваться при оценке прогнозных ресурсов меди, кобальта и других попутных элементов по параметрам Q и S_{PT}^K [формулы (53), (54)], определенным по никелю для прогнозируемого по потокам или вторичным ореолам рассеяния медно-никелевого оруденения; меди, золота – по параметрам Q и S_{PT}^K [формулы (53), (57)], определенным по молибдену для медно-молибден-порфирового оруденения по следующей формуле:

$$Q = P_{PT} \times M_{PT} \times d \times 10^{-2}, \quad (59)$$

где P_{PT} – площадная продуктивность литохимической аномалии попутного компонента, выделенной по потокам или вторичным ореолам рассеяния ($m^2\%$), вычисляется по формуле (46); Q – ресурсы попутного компонента (т), d – объемная масса руды (t/m^3), M_{PT} – мощность субгоризонтальных залежей (м).

По данным оценки S_{PT}^K [формула (54)] и M_{PT} [формула (58)] может быть определен прогнозируемый объем рудных залежей (V_{PT} в m^3):

$$V_{PT} = S_{PT}^K \times M_{PT}. \quad (60)$$

Располагая прямыми (данные штучного опробования) или косвенными (по аналогии) сведениями об уровне содержания благородных металлов в прогнозируемых медно-никелевых или медно-молибден-порфировых рудах, можно произвести оценку их прогнозных ресурсов по следующей формуле:

$$Q = \bar{C}_{PT} \times V_{PT} \times d \times 10^{-2}, \quad (61)$$

где $\bar{C}_{PT}$ – предполагаемые среднерудные содержания благородных металлов (%).

§ 150. Результаты оценки масштаба и ранга крупности (градации крупности месторождений см. в прил. 4.13) прогнозируемого оруденения являются критериями предварительного определения очередности заверки АГХП: крупные и средние по масштабам прогнозируемые объекты относятся к первой очереди изучения, мелкие – ко второй. В дальнейшем очередность уточняется с учетом комплексности прогнозируемых РС и структурных критериев прогноза оруденения (разд. 2.5.3).

§ 151. В случае несоответствия применяемых на площади геохимических методов ландшафтным условиям площади работ (например, при оценке прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала на закрытых и полужакрытых территориях по результатам геохимических съемок по механическим потокам и остаточным вторичным ореолам рассеяния), цифры прогнозных ресурсов используются не в абсолютном выражении, а для соотносительной оценки перспективности выделенных АГХП.

2.5.2. Интерпретация данных опробования коренных пород

§ 152. В рамках создания ГХО-200 опробование геологических образований проводится с целью оценки их геохимической специализации с составлением соответствующих картографических материалов [Требования..., 2021]. Результаты аналитических исследований коренных пород могут использоваться для оценки ресурсного потенциала геохимически специализированных геологических образований, в том числе метасоматически измененных пород, а также для изучения химического состава известных коренных проявлений ПИ и для оценки уровня содержания рудных элементов в потенциально рудоносных образованиях (разд. 2.3.1.5).

§ 153. Геохимическая специализация геологических образований интерпретируется как металлогеническая на основе существующих признаков потенциальной рудоносности. Выявление связи рудоносности с геохимически специализированными комплексами и отдельными телами непосредственно на площади работ производится в результате анализа их пространственной и вещественной (геохимической) сопряженности и близости. Критериями прогноза металлогенической специализации на конкретные металлические полезные ископаемые являются следующие:

- наличие известных рудных объектов, пространственно приуроченных к конкретным геологическим образованиям;
- геохимическая специализация геологического образования на конкретный химический элемент или группу родственных элементов. В этом случае геохимическая специализация рассматривается

как, предположительно, эквивалентная металлогенической¹. Следует отметить, что при этом весьма сложно выделить, какие же элементы из нередко многочисленной группы накопления в геологических образованиях могут образовывать эпигенетические концентрации;

– корреляция геохимической специализации геологических образований и химического состава известных или прогнозируемых по данным площадного геохимического опробования рудных объектов.

Методика оценки геохимической специализации геологических образований (комплексов) подробно изложена в «Требованиях ...» [2005, 2021] и здесь не рассматривается.

§ 154. При производстве ГХР-200 для контрастно специализированных и потенциально продуктивных горных пород, по которым имеется представительный фактический материал, целесообразно дополнительно к «Требованиям...» [2021] проводить анализ состава сложенных ими конкретных геологических образований и тел с целью выявления наиболее аномальных и перспективных из них. Критериями оценки соотносительной потенциальной рудоносности таких тел являются степень контрастности геохимической специализации в моноэлементном и полиэлементном вариантах, а также уровень концентрации-деконцентрации типоморфных элементов в горной породе.

Оценка контрастности геохимической специализации выражается через кларки концентрации элементов (K_K) и производится для концентрирующихся элементов по следующим формулам:

$$K_{Ki} = \frac{C_i}{\bar{K}_i}, \quad (62)$$

$$\bar{K}_{Ki} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{Ki}, \quad (63)$$

где $\bar{C}_i$ – среднее содержание i -го элемента в выборке; K_i – кларк i -го элемента для конкретного петрохимического типа пород; n – количество концентрирующихся элементов ($K_{Ki} > 1,5$).

По уровню концентрации-деконцентрации типоморфных элементов в качестве количественного критерия дифференциации конкретных геологических тел по степени потенциальной рудоносности может быть использован мультипликативный коэффициент, укомплектованный в числителе коэффициентами концентрации концентрирующихся относительно кларка элементов, в знаменателе – деконцентрирующихся – так называемый коэффициент потенциальной рудоносности горной породы [Соколов, 1988], по значениям которого рудоносные породы могут отличаться от фоновых пород в десятки – тысячи раз.

§ 155. Исходя из существующих представлений о весомой роли мобилизации вещества из вмещающего субстрата при образовании месторождений, в первую очередь, гидротермального генезиса [Овчинников, 1992], очевидно, что геохимически специализированные породы являются благоприятной средой для образования месторождений, а количество надкларкового металла в них и собственно масштаб рудообразования могут находиться в опосредованной зависимости. В таком случае, в дополнение к «Требованиям ...» [2021], в первом приближении может быть оценен ресурсный потенциал, опираясь на существующие представления о соотношении рассеянной и концентрированной форм присутствия химических элементов в зависимости от площади аномалий [Соколов, 1998], в данном случае – от площади потенциально продуктивных геологических образований. Такая оценка для конкретного элемента может осуществляться в следующей последовательности:

1) определение продуктивности геологического образования, тела, сложенных конкретной горной породой, ($P_{гп}$ – м²%), по следующей формуле:

$$P_{гп} = (\bar{C}_i - K_i)S, \quad (64)$$

где $\bar{C}_i$ – среднее содержание i -элемента в конкретном геологическом образовании (%); K_i – кларк i -элемента для конкретного петрохимического типа пород (%); S – площадь геологического образования (м²);

¹ Имеет место и обратная корреляция: приуроченность рудного объекта конкретного элемента к породам, в которых его содержания ниже кларков, например, оловянные месторождения Северной Чукотки приурочены к гранитным интрузиям, геохимически не специализированным на олово.

2) определение доли концентрированной формы от общих геохимических ресурсов элемента (доли балансовых руд α) производится по аналогии с вышерассмотренными подходами (разд. 2.5.1.4, § 136; прил. 3.6) в зависимости от площади, в данном случае – площади геологического образования;

3) оценка продуктивности вероятного оруденения (P_{PT}) по следующей формуле:

$$P_{PT} = \alpha P_{гп}; \quad (65)$$

4) определение предполагаемой протяженности оруденения на глубину H (м) по варианту I, изложенному в разд. 2.5.1.4 (§ 142);

5) оценка ресурсного потенциала геологического образования ($Q_{гп}$) по следующей формуле:

$$Q_{гп} = P_{PT} H d 10^{-2}, \quad (66)$$

где d – объемная масса горной породы (т/м³).

Полученные таким способом оценки ресурсного потенциала геологических тел являются весомым дополнительным аргументом при оценке соответствующих АГХП, выделенных по потокам и вторичным ореолам рассеяния.

§ 156. Оценка ресурсного потенциала гидротермальных рудных полей базируется на эмпирически установленной прямо пропорциональной зависимости между количеством металла, сосредоточенного в объеме рудного поля, и металла, заключенного в месторождении, которое локализовано в этом рудном поле. Существование данной зависимости обосновано в работах Л. Н. Овчинникова [1992] и других исследователей [Питулько и др., 1990, 2014; Плющев и др., 1985, 2012; Иванов, Панфилов, 1985 и др.]. Для расчета ресурсного потенциала гидротермально-метасоматического поля могут использоваться вышеприведенные формулы (64)–(66) для оценки масштаба потенциальной рудоносности геологических образований.

§ 157. Изучение химического состава коренных проявлений ПИ, представленных на территории, производится с использованием (при их наличии) кондиционных ретроспективных аналитических определений содержаний элементов в продуктивных рудных ассоциациях и(или) по данным их опробования, выполненного попутно с проведением площадной геохимической съемки или в ходе детализационных (заверочных) работ.

§ 158. Практически эталонирование рудных объектов заключается в следующем:

- содержания всех проанализированных элементов в выборке по каждой пробе нормируются на их кларки для кислых пород (прил. 4.1) с последующим построением ряда элементов, ранжированного по значениям K_K ;

- оценка однородности выборки, сформированной по визуальным признакам (минеральный состав). Из выборки исключаются пробы, существенно отличающиеся по порядку расположения значимо концентрирующихся элементов в ранжированном ряду и по уровню содержаний элементов-спутников оруденения (по кларкам концентрации – K_K);

- построение ранжированных рядов элементов по значениям K_K по сформированным выборкам с выделением главных элементов-спутников оруденения, второстепенных и спорадически встречающихся элементов, а также характеризующихся пониженными содержаниями относительно фона;

- по ранжированным рядам – формирование геохимических индикаторных показателей элементов рудного комплекса и типичных элементов, отмеченных в пониженных относительно фона содержаниях, с последующим их использованием при выделении рудогенных аномалий по потокам и вторичным ореолам рассеяния.

§ 159. Для картирования выведенных на поверхность эрозии рудных объектов целесообразно применение геохимических индикаторных показателей в варианте мультипликативных ореолов центростремительных элементов (рудного комплекса) или ореолов коэффициента интенсивности ($K_{и}$), числитель которого укомплектован главными элементами-спутниками оруденения (ЦС элементы), а знаменатель – деконцентрирующимися элементами (ЦБ элементы); при прогнозе слабоэродированного и слепого оруденения – мультипликативных ореолов надрудных элементов. В последнем варианте надрудные элементы могут быть выделены с использованием среднестатистических данных по конкретным типам оруденения (прил. 4.16).

2.5.3. Прогнозно-геохимическая оценка площадей

§ 160. Прогнозно-геохимическая оценка площадей производится в следующей последовательности:

1. Определение природы аномальных потоков и вторичных ореолов рассеяния с выделением потенциально рудных и безрудных.
2. Определение формационной принадлежности коренных источников рудных аномалий (разд. 2.5.1.3).
3. Оценка прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала прогнозируемых рудных объектов (разд. 2.5.1.4).
4. Прогноз рудогенных систем с выделением перспективных АГХП и участков I и II очередей изучения по совокупности концентрационных и структурных геохимических признаков оруденения, минералогических, метасоматических и других поисковых критериев.

§ 161. Потенциально рудные аномалии связаны с концентрациями элементов в коренном залегании, которые могут достигать промышленно значимых параметров – собственно с месторождениями, рудопроявлениями, пунктами минерализации; вторые – с повышенными содержаниями в специализированных коренных породах, не имеющими промышленного значения (породные аномалии), с концентрациями элементов на геохимических барьерах и в аккумулятивных ландшафтах зоны гипергенеза (ландшафтные аномалии), с деятельностью человека (антропогенные аномалии). К рудным аномалиям с долей условности можно отнести и концентрации устойчивых в зоне гипергенеза минералов в шлиховых ореолах и в россыпях, а также гипергенные концентрации элементов в корах выветривания. Такие аномалии заслуживают оценки их перспективности на выявление россыпных месторождений, остаточных месторождений кор выветривания, а при локализации в верховьях речных систем они могут представлять интерес с точки зрения поисков их коренных источников – рудных проявлений ПИ.

§ 162. Определение природы аномалий и формационной принадлежности прогнозируемого оруденения (разд. 2.5.1.3) производится путем сравнения геохимических спектров (ранжированных рядов элементов по значениям K_K) в экстремальных по содержаниям элементов точках опробования по вторичным ореолам и потокам рассеяния со спектрами известных на территории месторождений и рудопроявлений, при их отсутствии – с существующими обобщенными характеристиками химического состава рудных формаций (прил. 4.5, 4.7, 4.8, 4.10). Критерием рудной природы аномалий также является их пространственная приуроченность к благоприятным геологическим структурам, в том числе к коррелирующим с ними по химическому составу геохимически специализированным геологическим образованиям (комплексам). Выявление в точках опробования нетипичных для рудных формаций спектров и корреляционных связей концентрирующихся элементов может являться основанием для отнесения таких аномалий к категории безрудных. При оценке природы аномалий благородных металлов в донных осадках следует учитывать, что их шлиховые концентрации часто отмечаются повышенными содержаниями Ti, Mn, Zr, P, V, Cr, Sn, Ba и других элементов, минеральные формы которых обладают повышенной плотностью и устойчивы к химическому выветриванию в зоне гипергенеза. Для гипергенных ореолов, отражающих шлиховые концентрации золота, а не зоны коренной золоторудной минерализации, также характерно практически полное отсутствие элементов с пониженными относительно фона содержаниями.

§ 163. Дифференциация потенциально рудных аномалий на соответствующие концентрированной (потенциально промышленной) и рассеянной непромышленной минерализации осуществляется с использованием вещественных признаков рудогенных систем, которые по смысловому содержанию могут быть объединены в две группы. Первая группа традиционно используемых концентрационных признаков отражает масштаб концентрации химических элементов [Николаев и др., 2008], а также степень проявленности гидротермально-метасоматических процессов. Вторая группа разработанных в последние десятилетия структурных признаков характеризует закономерности строения АГХП, АГХС и сопряженных с ними ГМС, РС.

§ 164. К **концентрационным геохимическим признакам** относятся следующие:

- а) **масштаб и уровень концентрации элементов** на конечных этапах развития РС определяют промышленную значимость объекта. В качестве оценочных параметров масштаба рудоконцентрации некорректно применение контрастности гипергенных ореолов и потоков рассеяния рудных элементов, т. к. уровень содержаний и значения коэффициентов концентрации элементов в них определяются не только масштабом коренного источника, но и ландшафтными условиями, а также

сульфидностью оруденения (разд. 2.5.1.4)¹. В этой связи в качестве оценочного параметра масштаба концентрации элементов следует применять величину прогнозных ресурсов (ресурсного потенциала) аномалиеобразующего объекта, т. к. именно она учитывает процессы концентрации-рассеяния химических элементов в системе вторичный ореол – первичный ореол (k) в зависимости от ландшафтных условий и сульфидности прогнозируемого оруденения [Соколов, 1998];

б) **формационная принадлежность РС младших рангов** (разд. 2.5.1.3) проявляется для разных рудных формаций в различных химическом составе и уровне содержаний элементов, в изменении их соотношений (коэффициентов формационной принадлежности). Результаты определения формационной принадлежности по геохимическим данным опосредованно через уровень эрозионного среза и коэффициент остаточной продуктивности (k), отражающий перераспределение элементов в зоне гипергенеза, влияют на оценку масштаба прогнозируемого оруденения.

§ 165. **Структурные геохимические признаки** следующие:

а) **степень упорядоченности структур АГХП**. Продуктивные АГХП халькофильной, а в ряде случаев – и литофильной специализации, соответствующие гидротермально-метасоматическим системам (ГМС) (разд. 1.1), при ГХР-200 на уровне РУ, а при детализационных работах на уровнях РП, РМ характеризуются объемно-зональным строением (разд. 1.1);

б) **иерархическая структура АГХС** проявляется в закономерной последовательной локализации младших членов системы в пределах АГХП старшего ранга;

в) **иерархическая структура концентраций рудных элементов**. Поэтапное концентрирование элементов в процессе развития многоуровневой системы проявляется в квантовании со-

держаний, т. е. в наличии фиксированных их интервалов на каждом уровне организации АГХС (прил. 3.5; § 123);

г) **позиция младших членов в АГХП старших рангов**. Продуктивные АГХП младшего ранга халькофильной (литофильной) специализации локализуются в основном в приграничных областях ядерной зоны и зоны обмена АГХП старшего ранга, часто в зоне обмена на щелочном барьере.

§ 166. Для АГХП, идентифицированных по признаку § 165 (а) как соответствующих ГМС, оценка потенциальной рудоносности производится по всем вышеперечисленным признакам. В дополнение к ним при наличии геологических наблюдений о характере метасоматического поля проводится анализ строения ГМС с выделением зональных систем. Зональность ГМС старших рангов (РР, РУ, РП) проявляется в закономерной смене от центра системы к периферии слабопроявленных гидротермально-метасоматических образований кислого ряда (вторичные кварциты, березиты, грейзены, аргиллизиты и др.) проявлениями более щелочного метасоматоза (пропилиты и другие темноцветные ассоциации) [Плющев, Шатов, 1985; Плющев и др., 2012] (прил. 4.14). Выделение зональных ГМС в упрощенном варианте может проводиться по данным геологосъемочных работ, не специализированных на изучение метасома-

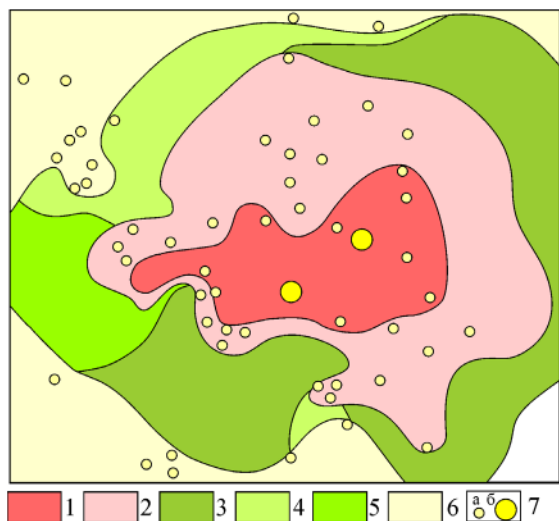


Рис. 2.19. Структура ГМС Соловьевского РУ (Северное Приамурье), выделенная по экстремумам проявленности метасоматоза

1–2 – ядерная зона: 1 – область концентрации кварцевых жил и локальных березитов, 2 – березитизированные породы; 3–5 – зона обмена, представляющая область развития: 3 – пропилитов, 4 – турмалинитов, 5 – пропилитовых парагенезисов контактовых роговиков; 6 – фланговая зона концентрации – область площадного и немасштабного жильного окварцевания; 7 – проявления золота: а – пункты минерализации и рудопроявления, б – месторождения

¹ Так, два адекватных по запасам объекта золото-сульфидной формации в элементарных ландшафтах крутых склонов и убогосульфидной золото-серебряной формации в ландшафтах пологих склонов будут характеризоваться, в первом случае, контрастными, высокопродуктивными вторичными ореолами рассеяния золота ($k=8$, см. табл. 2.4 в разд. 2.5.1.4) и относительно слабопроявленными вторичными ореолами во втором случае ($k=0,15$, см. там же), т. е. будут отличаться по уровню содержаний практически в 50 раз ($8 : 0,15 = 53$). То же самое относится и к суммарной интенсивности аномального поля ($\Sigma КК$), которая оценивается как сумма коэффициентов концентрации накапливающихся элементов: очевидно, что в первом случае она будет значительно выше, чем во втором.

тических пород, по экстремумам проявленности метасоматоза (полнопроявленных метасоматитов) в рамках образования слабопроявленных ГМС старшего ранга. Зоны слабопроявленных метасоматитов ГМС этого уровня (ядерная зона, зона обмена, фланговая зона концентрации) выделяются путем оконтуривания площадей развития таких экстремумов в обобщенных контурах (рис. 2.19).

§ 167. Для АГХП, предположительно соответствующих РС магматического, осадочного и метаморфогенного генезиса (большинство РС сидерофильной специализации, некоторые – халько-, литофильного профиля) оценка потенциальной рудоносности производится по сокращенному перечню за исключением признаков § 165 (а, г).

Содержание, оцениваемые характеристики (параметры), технология выделения и границы применения структурных и концентрационных признаков рудогенных систем сведены в прил. 4.14.

§ 168. Предварительная очередность изучения АГХП определяется прогнозными ресурсами или ресурсным потенциалом главного компонента прогнозируемого объекта (§ 150). Вместе с тем, многие РП, РУ, РР характеризуются комплексным характером оруденения; имеют место случаи локализации даже на относительно небольших площадях, в частности в контурах АГХП ранга РП, разобщенных в пространстве продуктивных минерализаций различной металлогенической специализации. В этом варианте перспективы аномалии не ограничиваются ресурсами главного компонента комплексного оруденения или ведущего рудного объекта. Для таких полиметалльных АГХП в качестве параметра комплексной рудоносности на всех уровнях организации вещества рационально использовать коэффициент суммарной рудоносности ($K_{РД}$). Этот показатель представляет собой сумму промышленно значимых ресурсов всех элементов в пределах оцениваемой аномалии, нормированных на минимально промышленные запасы ($Q_{\min}$ – см. прил. 4.11, столбец 6):

$$K_{РД} = \sum_{i=1}^n (Q_i / Q_{\min i}), \quad (67)$$

где Q_i и $Q_{\min i}$ – прогнозируемые ресурсы и минимально промышленные запасы i -го элемента; n – количество элементов с промышленно значимыми прогнозными ресурсами, для которых $Q_i > Q_{\min i}$.

§ 169. Коэффициент суммарной рудоносности позволяет оценить соотносительную рудоносность многих разноранговых РС, для которых кратность запасов в соседних классах крупности составляет один десятичный порядок (прил. 4.13). Например, два адекватных по крупности средних месторождения золота ($Q_C = 15$ т) и меди ($Q_C = 300$ тыс. т) при различной размерности масштаба запасов будут характеризоваться одинаковым значением $K_{РД}$, равным 30 (при $Q_{\min Au} = 0,5$ т, $Q_{\min Cu} = 10$ тыс. т).

§ 170. Оценка комплексной рудоносности с использованием $K_{РД}$ усложняется тем, что для месторождений ряда элементов имеет место резко различная соразмерность их запасов: если для большинства химических элементов запасы в соседних классах крупности отличаются на десятичный порядок (в 10 раз), то для титана – в 3 раза, лития – в 4 раза, редкоземельных элементов – в 5 раз, серебра, ниобия – в 6 раз, никеля и кобальта в среднем в 7 раз (прил. 4.11, 4.13). Следовательно, запасы этих металлов одного класса крупности в значениях $K_{РД}$ будут несопоставимы с запасами большинства элементов, отличающихся в соседних классах на десятичный порядок. В этой связи для вышеупомянутых элементов с целью получения адекватных оценок рудоносности сомасштабных по запасам объектов следует производить пересчет значений $K_{РД}$ на десятичную шкалу запасов ($K_{РД}^I$) по следующим формулам:

$$K_{РД_{Ti}}^I = \text{antln}(2,21 \ln K_{РД_{Ti}} - 0,13), \quad (68)$$

$$K_{РД_{Li}}^I = \text{antln}(1,71 \ln K_{РД_{Li}} - 0,08), \quad (69)$$

$$K_{РД_{TR}}^I = \text{antln}(1,40 \ln K_{РД_{TR}} + 0,07), \quad (70)$$

$$K_{РД_{Ag,Nb}}^I = \text{antln}(1,29 \ln K_{РД_{Ag,Nb}} - 0,03), \quad (71)$$

$$K_{РД_{Ni,Co}}^I = \text{antln}(1,07 \ln K_{РД_{Ni,Co}} + 0,21). \quad (72)$$

§ 171. На основе анализа результатов оценки суммарной рудоносности более 500 аномалий ранга РП–РР в первом приближении при проведении ГХР-200 выделены количественные критерии определения категории рудоносности и очередности изучения АГХП, которые рекомендуются к использованию (табл. 2.8).

§ 172. Сидерофильные элементы по сравнению с халько- и литофильными в целом характеризуются относительно высокой распространенностью в земной коре (0,0п–0,п %) и, как следствие, незначительной степенью концентрации в природных рудогенных системах. Так, для большинства из этих элементов (исключение хром, марганец, никель, кобальт) минимально промышленные содержания находятся на уровне 10–40 кларков концентраций. Такие невысокие различия содержаний в ряду фоновые содержания – промышленное оруденение предопределяют значительные сложности при выделении рудных объектов на фоне многочисленных и весьма разнообразных по своей природе проявлений рассеянной минерализации (безминеральные и минеральные формы концентрации в процессе метасоматоза, метаморфизма, минеральные – при образовании продуктивных минеральных ассоциаций непромышленного масштаба) и породных аномалий. В этой связи полученные цифры прогнозных ресурсов сидерофильных элементов должны рассматриваться как условные, частично или полностью соответствующие забалансовому оруденению, и соответственно, принятые численные критерии оценки категории рудоносности более жесткие, чем для халько-, литофильных элементов (см. табл. 2.8).

Таблица 2.8

Интервалы значений $K_{рд}$ по категориям рудоносности для АГХП ранга РП, РУ, РР

Группа элементов	Категория рудоносности	Интервалы значений $K_{рд}$ по уровням организации вещества			Очередность изучения
		РП	РУ	РР	
Халько-, литофильная	Нерудоносные–слаборудоносные	< 6,0	< 5,5	–	–
	Слаборудоносные	6,0–18,4	5,5–19,6	< 130	–
	Рудоносные	18,4–40,0	19,7–85,0	130–310	II
	Весьма рудоносные	> 40	> 85	> 310	I
Сидерофильная	Нерудоносные–слаборудоносные	< 38	< 87	< 206	–
	Рудоносные	38–182	87–469	206–855	II
	Весьма рудоносные	> 182	> 469	> 855	I

Примечание. При оценке ранга крупности прогнозируемого оруденения и очередности заверки аномалий использовались данные о градациях масштабов месторождений (прил. 4.13).

§ 173. К определенной выше рассмотренным способом очередности изучения АГХП ранга РП халько-, литофильной специализации при ГХР-200 в случае использования структурных признаков рудоносности применяется поправка для аномалий, расположенных вне контуров зональных АГХП ранга РУ (§ 165 (г); разд. 1.1). В этом варианте некоторая часть ресурсов рассматривается как забалансовая, а ранг крупности прогнозируемого оруденения и очередность заверки смещаются в сторону понижения на одну единицу¹. И наоборот, для относительно слабоконтрастных аномалий, отнесенных по концентрационным признакам к категории потенциально рудоносных (или соответствующих мелкому по запасам монометалльному месторождению), но характеризующихся зональным строением, рейтинг очередности заверки рекомендуется повышать на одну единицу.

§ 174. Последовательность заверки АГХП, выделенных по концентрационным и структурным геохимическим признакам и соответствующих известным РП, РУ, корректируется по результатам сравнения установленных на известных месторождениях запасов и оценок прогнозных ресурсов; при превышении последних над запасами очередность изучения новых АГХП, основанная на оценках прогнозных ресурсов по геохимическим данным, может быть откорректирована.

¹ Недоучет структурных геохимических признаков при оценке высококонтрастного по золоту, но неупорядоченного строения Омчугского АГХУ (разд. 1.1, рис. 1.2, е) привел к неоправданным финансовым затратам на многолетние поиски в его пределах золоторудных объектов практически с нулевым поисковым результатом.

§ 175. Один из геологических критериев – это выделение источников вещества и энергии на всех этапах развития многоуровневых РС. При выделении зональных АГХП старших рангов (РР, РУ, РП) эффективно комплексное рассмотрение морфологии геохимических полей и элементов разрывной тектоники (кольцевых структур и линеаментов), дешифрируемых на аэрофото- и космоснимках или при анализе морфоструктур (разд. 2.5.1.2, § 128), а также использование геофизических материалов.

2.5.4. Рекомендации по составлению карт

2.5.4.1. Дополнительные карты к ГХО-200

§ 176. Требования к картографическим материалам, которые обязательны для всех организаций и предприятий, проводящих геохимические работы на территории России по созданию ГХО-200, подробно освещены в «Требованиях...» [2021]. В соответствии с ними, в процессе работ по созданию ГХО-200 составляются следующие карты: геохимической изученности, ландшафтная, фактического материала геохимического опробования, моноэлементные, геохимической специализации геологических образований, рудогенных геохимических аномалий, эколого-геохимическая. Все карты, за исключением моноэлементных карт, составляются с использованием унифицированных легенд, приводимых в вышеуказанных Требованиях.

§ 177. С целью повышения прогностических свойств ГХО-200 при необходимости целесообразно составление следующих, не предусмотренных «Требованиями...» [2021] дополнительных карт: *центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала для выделения геохимических аномалий, полиэлементные карты¹, в том числе ореолов элементов рудного комплекса, мультипликативных (аддитивных) ореолов ЦС (рудного комплекса) и ЦБ элементов, геохимическая основа прогноза*. Все дополнительные карты, так же, как и обозначенные в «Требованиях...» [2021] обязательные моноэлементные карты, составляются без использования унифицированных легенд. В таком виде их предлагается рассматривать на Геохимической секции НРС.

§ 178. *Карта центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала* (прил. 5.2) составляется с использованием карты фактического материала геохимического опробования, выполненной по завершении полевого сезона или по ретроспективным материалам. Для первого случая алгоритм создания этой карты подробно излагается в разд. 2.3.1.2. По материалам ранее проведенных геохимических съемок по потокам рассеяния в инструктивном варианте [Инструкция..., 1983] карта центров бассейнов водосбора составляется аналогичным образом. Для этого на карте фактического материала опробования предшественников выделяются бассейны площадью 2–8 км² водосбора водотоков I порядка и сноса рыхлого материала крупных эрозионных ложбин (если они опробованы). Площадь бассейнов водосбора выбирается в каждом конкретном случае с таким расчетом, чтобы свести к минимуму остающиеся геохимически не охарактеризованные участки. Далее оцениваются средние содержания элементов для всех проб, попадающих в контуры бассейнов водосбора; выделяются центры бассейнов водосбора (сноса), к которым и относятся расчетные средние содержания элементов. Полученные таким образом карта центров бассейнов водосбора ретроспективного опробования и база вторичных расчетных данных содержаний элементов используются для выделения моноэлементных и полиэлементных геохимических аномалий.

§ 179. *Моноэлементные карты* по технологии ФГБУ «Институт Карпинского» строятся в виде карт изолиний в ореольном варианте, наиболее полно отражающем структуру геохимического поля (разд. 2.5.1.2). С целью детального рассмотрения результатов геохимической съемки и увязки аномалий с геологическим строением площади работ и ландшафтными условиями при ГХР-200 дополнительно могут составляться также *карты-разноски содержаний элементов* в точечно-символьном виде на геологической, ландшафтной или топографической основе (рис. 2.20). На них могут показываться и цифры содержаний элементов в точках опробования. Кругочки (или другие используемые символы) рекомендуется делать частично прозрачными, чтобы они не забивали топооснову (водотоки и горизонтالي) или геологическую и ландшафтную основы карт, а также содержания элементов в пробах, в случае их отображения на этих картах.

¹ Составление этих карт не регламентируется «Требованиями...» [2021], но при этом они являются основой выделения главного элемента прогноза – перспективных (рудогенных) комплексных АГХП. В этой связи на Геохимической секции НРС Роснедра при рассмотрении геохимических основ регулярно возникают многочисленные вопросы и замечания по методике и результатам оконтуривания рудогенных АГХП.

При проведении работ по инструктивному способу опробования рыхлых отложений водотоков I–IV порядков в масштабе 1 : 200 000 с шагом 500 м и по способу, используемому ФГБУ «ИМГРЭ» (§ 29), на моноэлементных картах аномальные потоки могут отражаться в традиционном варианте, предложенном А. П. Соловьевым [Инструкция..., 1983], в виде линий различной толщины в зависимости от содержаний элемента¹ или в принципиально аналогичном точечно-символьном виде.

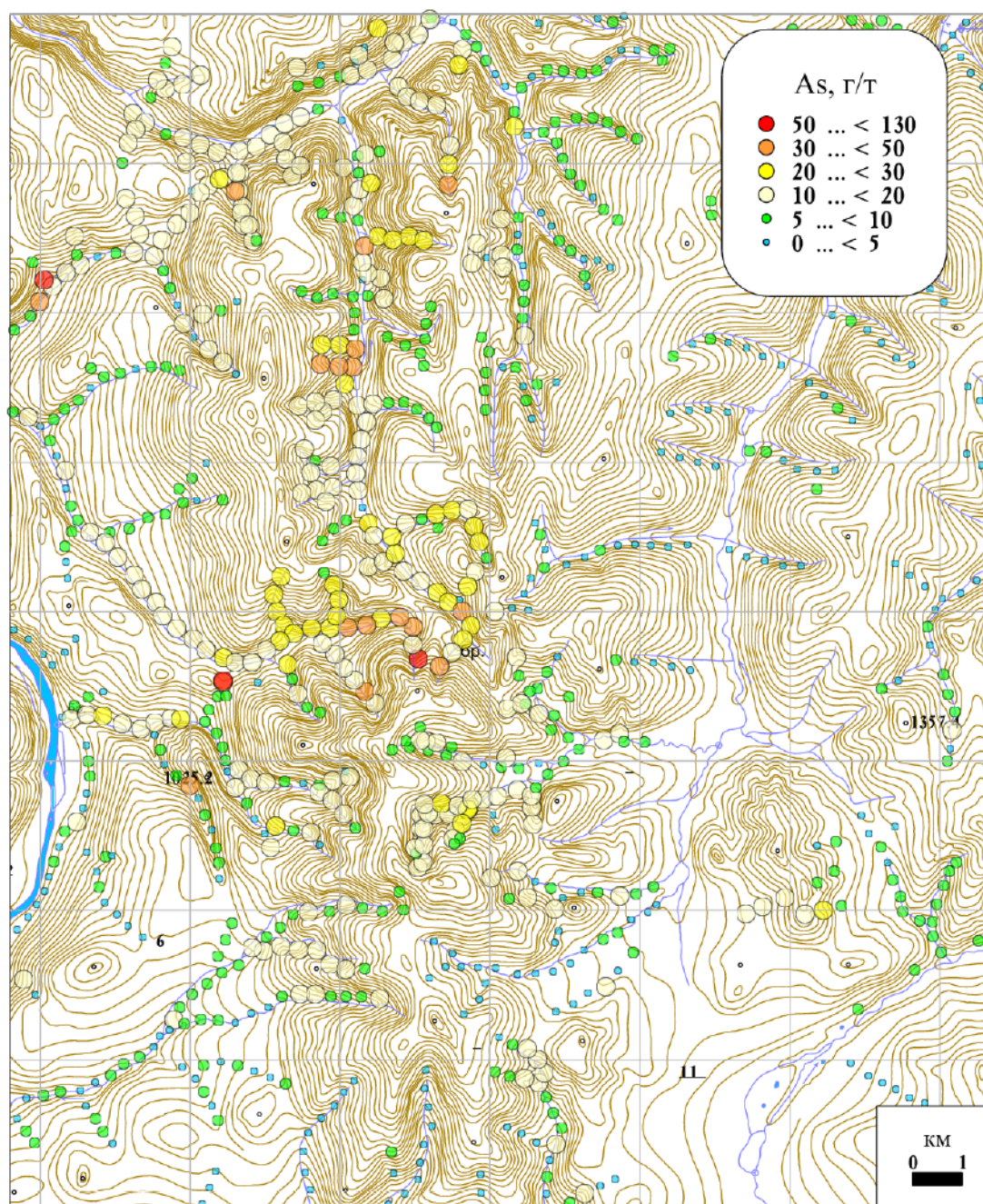


Рис. 2.20. Карта-разновка содержаний мышьяка в точках опробования литохимических потоков рассеяния

¹ В составе аллювия водотоков III–IV порядков, а в ряде случаев и II порядка, преобладает дальнепринесенный рыхлый материал, снесенный с большой территории, включая аномальные шлейфы с верховьев речных систем (разд. 1.1), и далеко не всегда наблюдается прямая корреляция содержаний элементов в аллювии с содержаниями на прилегающих склонах. По этой причине для анализа связи содержаний элементов в аллювии с геологическим строением и ландшафтными условиями площади работ наиболее адекватным представляется картографирование содержаний в виде линий различной толщины или в точечно-символьном виде.

Моноэлементные карты являются базовыми при оконтуривании и прогнозе продуктивных (рудогенных) АГХП, поэтому при производстве ГХО-200 из двух вариантов их предоставления, предусмотренных «Требованиями...» [2021], в виде графических приложений к отчету или рисунков в тексте предпочтение следует отдавать первому варианту сомасштабному карте рудогенных аномалий масштаба 1 : 200 000.

Такие же рабочие карты-разноски содержаний элементов в точечно-символьном виде, детально отображающие пространственное распределение содержаний элементов в точках опробования, могут составляться и по результатам ГХР-50.

Набор химических элементов для построения карт, являющихся базовыми для долговременного использования в прогнозно-поисковых целях, должен включать широкий их перечень (разд. 2.4, § 95, 96).

§ 180. *Полиэлементные карты ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов)* (прил. 5.7), *карты мультипликативных или аддитивных ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов)* (прил. 5.4) составляются с целью выделения комплексных АГХП (их ядерных зон) конкретного ранга (разд. 2.5.1.2):

- при составлении ГХО-200 – АГХП ранга РП, при детализации и ГХП-50 – ранга РМ халько-, литофильного профиля (классы 1–4 в прил. 4.15; прил. 5.7);

- при составлении ГХО-200 – АГХП рангов РП, РУ и РР сидерофильной специализации (классы 6, 7 в прил. 4.15).

На практике выделение комплексных АГХП конкретного ранга (или ядерных зон зональных АГХП) на усмотрение исполнителей может производиться с использованием одной из трех разновидностей вышеперечисленных карт.

§ 181. *Полиэлементные карты ореолов элементов рудного комплекса* составляются по группам генетически родственных элементов, выделенным по результатам анализа химического состава (геохимических спектров) прогнозируемого оруденения (разд. 2.5.1.3), корреляционного, факторного анализов и иных алгоритмов. В зависимости от металлогенической специализации изучаемой площади таких групп родственных элементов может быть выделено несколько, по каждой из которых составляется самостоятельная карта.

Алгоритм создания этих карт предусматривает следующую последовательность операций:

- совмещение на единой картографической основе моноэлементных ореолов предположительно генетически родственных элементов *i-й* градации (разд. 2.5.1.2), соответствующей конкретному иерархическому уровню организации вещества (РУ, РП, РМ);

- геометризация АГХП конкретного ранга путем проведения обобщенного контура пространственного сближенных или совмещенных моноэлементных ореолов (прил. 5.7);

- корректировка границ АГХП с учетом пространственной позиции предполагаемых рудогенерирующих и(или) рудовмещающих геологических образований (интрузии, вулканогенные образования и т. д.), в том числе не вскрытых эрозией и выявленных по геофизическим данным, и рудоконтролирующих (МЦТ, тектонические линеаменты и т. д.) геологических структур.

§ 182. *Карты мультипликативных (аддитивных) ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов)* (прил. 5.4), как и предыдущие, составляются для выделения АГХП (их ядерных зон) конкретного ранга. Комплектация таких ореолов элементами определяется металлогенической специализацией изучаемой площади и осуществляется аналогично § 184. Геометризация АГХП производится по внешнему контуру мультипликативных (аддитивных) ореолов привноса.

§ 183. *Карты мультипликативных ореолов ЦБ элементов* (прил. 5.3, 5.8) составляются при ГХР-200 для выделения зональных АГХП гидротермально-метасоматических систем рангов РР, РУ (при детализации и при ГХР-50 – РП, РМ) (разд. 2.5.1.2) халько-, литофильного профиля (классы 1–4 в прил. 4.15). Элементный состав мультипликативных ореолов формируется по результатам визуализации состава ореолов привноса ЦБ элементов, фиксирующих зону обмена, в периферических частях полиэлементных ореолов элементов рудного комплекса или за внешним их контуром. Такие карты отражают ядерную зону зональных АГХП, которая маркируется пониженными (или субфоновыми) содержаниями ЦБ элементов. В подавляющем большинстве случаев состав ЦБ элементов на конкретной площади хорошо укладывается в статистически установленный (разд. 1.1, 2.5.1.2) универсальный набор центробежных элементов [Ca, Mg, Fe, Ni, Co, Mn, Cr, V (Ba, Ti, Sc, Zn)]. Способы геометризации АГХП ГМС халько-, литофильной специализации изложены в подразд. 2.5.1.2.

§ 184. При ГХР-200, -50 для АГХП халько-, литофильного профиля (классы 1–4 в прил. 4.15) может составляться *геохимическая основа прогноза* (прил. 5.9), отражающая их зональное

строение. Основные аспекты выделения структурно упорядоченных зональных геохимических полей приведены в § 124–128. Алгоритм создания основы предусматривает следующую последовательность операций.

1. С использованием мультипликативных (аддитивных) ореолов центробежных элементов ($K_{ЦБ}$) предварительно выделяются АГХП рангов РУ, РР (при детализации и при ГХР-50 – ранга РП, РМ) зонального строения, ядерная зона которых представляет собой область развития ореолов выноса $K_{ЦБ}$ (или околофоновых значений этого показателя), а обрамляющие ее по периферии ореолы привноса фиксируют зону обмена. Ореолы выноса $K_{ЦБ}$ отражаются цветовой закрашкой в желто-красных тонах, ореолы привноса – в зеленых (прил. 5.3, 5.8). Выделение зоны обмена зональных АГХП рангов РУ, РР может осуществляться и по **полиэлементным ореолам привноса ЦБ элементов** путем их совмещения на единой картографической основе аналогично тому, как при выделении ядерной зоны с использованием полиэлементных ореолов элементов рудного комплекса (§ 182).

2. Производится совмещение на единой картографической основе АГХП старших рангов (пункт 1) и АГХП младших рангов (РП, при детализации – ранга РМ), выделенных с использованием карт полиэлементных ореолов элементов рудного комплекса, аддитивных или мультипликативных ореолов ЦС (рудного комплекса) элементов (§ 182, 183; прил. 5.7).

3. Выполняется оконтуривание зональных АГХП ГМС рангов РУ, РР (при детализации – ранга РП, РМ) по внешнему контуру ореолов привноса ЦБ элементов (зоны обмена) (в прил. 5.8 – АГХУ XII–XIV), или в случае наличия обрамляющих зону обмена и пространственно коррелирующих ореолов привноса ЦС элементов (фланговая зона концентрации) – по их внешней границе (в прил. 5.8 – АГХУ X, XV).

§ 185. При отсутствии достаточных сведений о составе ЦС и ЦБ элементов выделение АГХП рангов РР, РУ, (РП, РМ) халько-, литофильного профиля производится в упрощенном варианте традиционным способом по признаку «Иерархическая структура концентраций рудных элементов» (прил. 4.14) – по обобщающему контуру пространственно сближенных ореолов ЦС элементов (рудного комплекса).

§ 186. Выделенные на полиэлементных картах и на геохимической основе прогноза (если она составлялась) контуры разноранговых АГХП трансформируются на результирующую карту рудогенных аномалий, которая составляется в соответствии с «Требованиями...» [2021] и здесь не рассматривается¹.

2.5.4.2 Карты по результатам ГХР-50

§ 187. При производстве ГХР-50 (в том числе в составе ГМК-50) по результатам геохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния составляются следующие картографические материалы: *карта фактического материала, схема районирования территории по условиям проведения геохимических работ, схема расположения геолого-ландшафтных таксонов, моноэлементные карты, полиэлементные карты*, в том числе *ореолов элементов рудного комплекса, мультипликативных (аддитивных) ореолов ЦС (рудного комплекса) и ЦБ элементов, геохимическая основа прогноза, прогнозно-геохимическая карта*.

§ 188. Карты фактического материала, моноэлементные и полиэлементные карты, геохимическая основа прогноза по содержанию и оформлению аналогичны соответствующим картам масштаба 1 : 200 000. Схема районирования территории по условиям проведения геохимических работ и схема расположения геолого-ландшафтных таксонов составляются в масштабе 1 : 200 000, все остальные – в масштабе 1 : 50 000 (1 : 25 000). На моноэлементных и полиэлементных картах, а также на геохимической основе прогноза могут наноситься (с прогнозно-минерагенической карты) объекты полезных ископаемых – месторождения, проявления и пункты минерализации, места отбора штучных проб с повышенными содержаниями полезного компонента, развалы потенциально рудоносных образований.

§ 189. При ГХР-50 **полиэлементные карты ореолов элементов рудного комплекса** составляются с целью выделения комплексных АГХП (их ядерных зон) ранга РМ ($n \times 10^0 \text{ км}^2$) (разд. 2.5.1.2). Алгоритм создания этих карт принципиально не отличается от алгоритма при производстве ГХР-200 (§ 181–183). При наличии на площади прогнозируемых нескольких рудно-формационных типов оруденения, на каждый тип или на близкие по химическому составу

¹ В прил. 5.10 приводится авторский вариант прогнозно-геохимической карты масштаба 1 : 200 000, который может учитываться при производстве региональных ГХР за рамками создания ГХО.

типы составляется отдельная полиэлементная карта ореолов элементов рудного комплекса или мультипликативных (аддитивных) ореолов ЦС (рудного комплекса) элементов.

§ 190. *Прогнозно-геохимическая карта* (ПГХК) (прил. 5.12) содержит результирующую информацию о пространственной позиции перспективных аномальных геохимических полей, их прогнозных ресурсах (ресурсном потенциале) и очередности их заверки. Исходными материалами для ПГХК являются геологическая основа, моно- и полиэлементные карты, геохимическая основа прогноза, данные оценки формационной принадлежности прогнозируемых рудных объектов и их прогнозных ресурсов, геологические и геофизические прогнозные признаки оруденения.

§ 191. ПГХК состоит из нескольких блоков.

Первый блок – геологическая основа площади масштаба 1 : 50 000, которая раскрашивается бледными тонами (в ГИС-проектах устанавливается путем выбора прозрачности слоя).

Второй блок – известные на площади месторождения, рудопроявления и пункты минерализации, которые переносятся с карты полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000. Они отображаются в виде знаков, варьирующих по размерам и цвету, в зависимости от масштаба и металлогенической специализации объекта. Цвета проявлений должны соответствовать принятым в инструкции по составлению Госгеолкарт масштаба 1 : 200 000 [«Методическое руководство ...», 2019], Эталонная база изобразительных средств ГК-200/2]. Составной частью этого блока могут являться линейные и кольцевые линеаменты, контролирующие размещение АГХП соответствующего ранга. Этот же блок может включать участки развития потенциально рудоносных метасоматических образований, шлиховые ореолы рудных минералов, геофизические аномалии, отражающие возможные коренные источники пространственно с ними коррелирующих перспективных вторичных ореолов и другие признаки оруденения.

Третий блок отражает пространственные границы и закономерности размещения продуктивных АГХП ранга РП ($n \times 10^1$ км²), РМ ($n \times 10^0$ км²), выделенные по данным площадного опробования по вторичным ореолам рассеяния. Контурные АГХП переносятся на прогнозно-геохимическую карту с полиэлементных карт и с геохимической основы прогноза (если она составлялась).

§ 192. Нумерация АГХП сквозная в последовательности от северо-западного угла листа к юго-восточному; все объекты нумеруются арабскими цифрами. Рядом с номерами полей выносятся дробь, в числителе которой – символы потенциально рудных элементов, а в знаменателе – индексы прогнозируемых рудных формаций (геохимических типов, например, AuHgSbAs геохимический тип соответствует карлинскому типу). Результаты количественной оценки прогнозных ресурсов АГХП ранга потенциальных рудных полей, месторождений показываются на карте в виде прогнозных «марок» – прямоугольников, где отражены индексы полезных ископаемых (если их несколько) и величины их ресурсов.

§ 193. В зарамочное пространство ПГХК помещается кадастр АГХП, в котором приводятся характеристика АГХП и их прогнозная оценка. Кадастр включает номер АГХП на карте, название АГХП, рудную специализацию (символы основных полезных ископаемых), ранг АГХП, площадь АГХП (км²), геохимическую ассоциацию в виде ранжированного ряда химических элементов по значениям коэффициента концентрации K_K (отношение содержания элемента к среднефоновому содержанию), название рудной формации с ее индексом (например, золото-редкометалльная (AuRm)), величину прогнозных ресурсов (для платиноидов, Au и Ag – в т, для Ti, P, Mn – в млн т, для остальных элементов – в тыс. т).

§ 194. ПГХК сопровождается таблицей в тексте отчета «Оценка прогнозных ресурсов...» (прил. 4.12) и каталогом АГХП. В таблице приводятся следующие данные: номер АГХП, символ элемента, N (количество проб в контуре АГХП), S (площадь АГХП, км²), N_a (количество проб с аномальными содержаниями в контуре ореола рудного i -элемента), S_a (площадь ореола i -элемента, км²), C_i (среднее содержание i -элемента в ореоле), C_{fi} (фоновое содержание i -элемента), d (объемная масса оруденелых пород), α (доля балансовых руд), k (значение коэффициента соответствия вторичный ореол – первичный ореол), P (площадная продуктивность ореола, м²%), H (прогнозируемая протяженность оруденения на глубину), Q (величина прогнозных ресурсов).

Каталог АГХП содержит следующие сведения: номер АГХП, название, привязка к ячейке карты, ранжированный ряд химических элементов по значениям коэффициента концентрации K_K , площадь АГХП (км²), площадная продуктивность (м²%), Q (величина прогнозных ресурсов, для платиноидов, Au и Ag – в тоннах, для Ti, P, Mn – в млн т, для остальных элементов – в тыс.т), ранг крупности прогнозируемого объекта, оценка аномалии по комплексу геолого-геохимических данных – связь с рудными объектами, перспективность, предполагаемый геолого-промышленный тип оруденения. Таблица и каталог включаются в раздел геологического отчета «Результаты геохимических работ».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамсон Г. Я., Григорян С. В., Григоров С. А., Морозов В. И.* Об оценке геохимических ореолов золоторудных месторождений / Г. Я. Абрамсон, С. В. Григорян, С. А. Григоров, В. И. Морозов // Рациональная последовательность работ при геохимических поисках. – М. : ИМГРЭ, 1982. – С. 38–40.
2. *Алабин Л. В.* Геохимические исследования и прогнозная оценка золоторудных месторождений Алтае-Саянской складчатой области / Л. В. Алабин // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 5–6.
3. *Безирганов Б. Г.* Использование поисковой модели для прогноза рудоносности на флангах и глубоких горизонтах разведываемых месторождений / Б. Г. Безирганов // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988.
4. *Бельчанская Л. Н., Лям Л. А.* Особенности первичных ореолов золотосеребряного оруденения как основа интерпретации геохимических аномалий / Л. Н. Бельчанская, Л. А. Лям // Методы разбуривки и оценки перспектив геохимических аномалий и аномальных площадей : Тез. докл. II геохим. сессии Дальневост. секции СГПМ (26–29 апреля 1982 г., Магадан). – Магадан, 1982. – С. 93–95.
5. *Бетехтин А. Г.* Курс минералогии. – изд. 3-е испр. – М. : Гостеолтехиздат, 1961. – 539 с.
6. *Бровчук И. Ф., Хорин Г. И.* Поиски золото-серебряных и оловорудных месторождений по их первичным ореолам / И. Ф. Бровчук, Г. И. Хорин // Методы прикладной геохимии : тез. докл. второго междунар. симпоз. (25 сентября – 2 октября 1981 г., СССР, Иркутск. – Иркутск : Ин-т геохимии, 1981. – С. 109.
7. *Ванярх В. З., Солнцев С. С.* Использование особенностей объемной эндогенной геохимической зональности для оценки перспектив медно-порфирового оруденения северного Прибалхашья / В. З. Ванярх, С. С. Солнцев // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 16–17.
8. *Варгунина Н. П.* Геохимическая специализация вулканических комплексов в районе с полиформационным оруденением / Н. П. Варгунина // Геохимия рудных районов : тез. докл. III сессии Дальневосточной секции СГПМ (24–25 мая 1986 г., Благовещенск). – Благовещенск, 1986. – С. 37–38.
9. *Васильев И. В.* Метод поиска геохимических аномалий золота и других благородных металлов на основе анализа тонкой фракции почвы с использованием LA (лазерной абляции) и ICP-MS (масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой) / И. В. Васильев // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). – С. 20–23.
10. *Волочкович К. Л., Гусев Г. С., Иванов В. В., Морозова И. А.* Средние содержания элементов в главных типах горных пород, почвах и земной коре / К. Л. Волочкович, Г. С. Гусев, В. В. Иванов, И. А. Морозова // Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. – М. : ИМГРЭ, 1999. – С. 18–21.
11. *Воробьев С. А.* Информатика. Математическая обработка геолого-геохимических и экологических данных : учебное пособие. – Барнаул : Новый формат, 2016. – 266 с.
12. *Воробьев С. А., Миляев С. А.* Геохимические поиски рудных месторождений, не выходящих на дневную поверхность. Состояние и перспективы / С. А. Воробьев, С. А. Миляев // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 6–23.
13. *Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях / С. В. Соколов, А. Г. Марченко, С. С. Шевченко, О. Н. Симонов [и др.] ; под ред. А. Ф. Морозова, Б. К. Михайлова, Т. В. Чепкасовой [и др.] ; Роснедра, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ГМК «Норильский никель». – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. – 98 с.*
14. *Генералов В. И.* Опыт применения портативного рентгенофлуоресцентного анализатора Innov-X для анализа керна золоторудного месторождения / В. И. Генералов. – Текст : электронный // Золотодобыча для профессионалов: специалистов, руководителей, инвесторов. – URL: <https://zolotodb.ru/article/11524>. Дата обращения 08.11.2016.

15. Головин А. А., Краснова Т. С. Отбраковка зон рассеянной минерализации на Рудном Алтае с использованием показателей интенсивности и концентрации / А. А. Головин, Т. С. Краснова // Литохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. – М. : Наука, 1985. – С. 40–48.
16. Гольдберг И. С. Единая геохимическая модель рудообразования на геоэлектрохимической основе. – М. : Геокарт, ГЕОС, 2021. – 336 с.
17. Гольдберг И. С. Явление дальней миграции элементов и методы поисков глубокозалегающих месторождений / И. С. Гольдберг // Методы разведочной геофизики. Использование геоэлектрохимических методов при поисках и разведке рудных месторождений. – Л. : НПО «Рудгеофизика», 1989. – С. 14–20.
18. Гольдмахер И. В., Ланда В. Е. Геохимические и геофизические модели как основа оценки перспектив глубоких горизонтов и флангов месторождений / И. В. Гольдмахер, В. Е. Ланда // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 23.
19. ГОСТ 24902-81. Вода хозяйственно-питьевого назначения. Общие требования к полевым методам анализа : межгосударственный стандарт: дата введения 1983-01-01. Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
20. ГОСТ Р 52361-2018. Контроль объекта аналитический. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2019-09-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – М. : Стандартинформ, 2018. – 16 с.
21. Гребенщикова В. И., Шмотов А. П. Геохимические этапы распределения золота при формировании Зунхолбинской золоторудной системы (Восточный Саян) / В. И. Гребенщикова, А. П. Шмотов // Тез. докл. IV Объединен. междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии, посвященного памяти академика Л. В. Таусона. Т. 1. – Иркутск : ИГХ, 1994. – С. 85–86.
22. Григоров С. А. Прикладные аспекты структурного метода поисков по геохимическим данным / С. А. Григоров // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях. – М. : Наука, 1990. – С. 68–79.
23. Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. – М. : Недра, 1987. – 408 с.
24. Григорян С. В. Рудогенные геохимические аномалии. – М. : Недра, 1982. – 209 с.
25. Григорян С. В., Соловьев Е. Б. Особенности первичных ореолов Холоднинского месторождения / С. В. Григорян, Е. Б. Соловьев ; АН СССР, ИМГРЭ // Геохимические работы и методика их проведения в зоне БАМ : сб. науч. статей. – М. : ИМГРЭ, 1984. – С. 90–125.
26. Гусев А. А. Аномальные структуры геохимических полей Инского золоторудного узла / А. А. Гусев // Тез. докл. IV Объединен. междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии, посвященного памяти академика Л. В. Таусона. Т. 1. – Иркутск : ИГХ, 1994. – 174 с.
27. Ежков Ю. Б., Рахимов Р. Р. Основные типы минерало-геохимической зональности и перспективы редкометалльно-сульфидного оруденения Шабрез-Саргардонского рудного поля / Ю. Б. Ежков, Р. Р. Рахимов ; АН СССР, М-во геологии СССР, ИМГРЭ // Геохимические критерии прогноза и оценки рудных месторождений : сб. статей. – М. : Наука, 1988. – С. 51–60.
28. Иванов В. В., Панфилов Р. В. О зависимости между рассеянием и концентрацией в общем геохимическом цикле миграции элементов в земной коре / В. В. Иванов, Р. В. Панфилов // Геохимия. – 1985. – № 9. – С. 1250–1258.
29. Ивлев Р. Р., Митрофанский В. Ф., Киселев Ф. К. Объемная геохимическая зональность медно-порфирового месторождения Актогай / Р. Р. Ивлев, В. Ф. Митрофанский, Ф. К. Киселев ; АН СССР, М-во геологии СССР, ИМГРЭ // Геохимические критерии прогноза и оценки рудных месторождений : сб. статей. – М. : Наука, 1988. – С. 73–80.
30. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / сост. С. В. Григорян, А. П. Соловьев, М. Ф. Кузин ; М-во геологии СССР. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
31. Инструкция по площадным геохимическим поисковым работам / сост. М. В. Морозов, С. И. Трушин, А. И. Осецкий [и др.]. – СПб. : АО «Полиметалл УК», «ЛЕМА», 2023. – 167 с.
32. Карась С. А. Опыт применения портативного рентгенофлуоресцентного анализатора при выявлении АГХП медного и хромового оруденения / С. А. Карась, О. А. Набелкин, Д. А. Трач [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 63–69.
33. Карлос А. Ш. Геохимические поисковые признаки золоторудной минерализации восточной части Балтийского щита : автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09 / Карлос Артур Шарль; С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г. В. Плеханова. – СПб., 2002. – 24 с.

34. Карта условий формирования гипергенных геохимических полей России : 1994 / сост. И. Н. Кришук ; ред. карты А. А. Головин, И. А. Морозова, Т. В. Чепкасова. — 1 : 5 000 000. — М., 1995. — 1 к. + объясн. зап. — (Комплект геохимических и эколого-геологических карт России).
35. Квятковский Е. М., Майоров Н. Ф., Стуккей Г. А. Геохимические методы поисков рудных месторождений в районах развития моренных отложений / Е. М. Квятковский, Н. Ф. Майоров, Г. А. Стуккей // Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. — Новосибирск : Наука, 1980. — С. 46–51.
36. Колонских Н. С. Особенности вещественного состава и геохимические поисковые признаки малосульфидной платинометалльной минерализации в базит-гипербазитовых массивах Карело-Кольского региона и Полярного Урала : автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09 / Колонских Наталья Сергеевна ; С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г. В. Плеханова. — СПб., 2009. — 20 с.
37. Константинов М. М. Золотое и серебряное оруденения вулканогенных поясов мира. — М. : Недра, 1984. — 165 с.
38. Кравцова Р. Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. — Новосибирск : Гео, 2010. — 292 с.
39. Кравцова Р. Г. Минералогия и состав, закономерности распределения и особенности формирования рудной минерализации золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) / Р. Г. Кравцова, А. С. Макшаков, Л. А. Павлова // Геология и геофизика. — 2015. — Т. 56, № 10. — С. 1739–1759.
40. Кузубный И. С., Макаров В. А. Результаты комплексного геохимического изучения колчеданно-полиметаллических объектов Восточной Тувы / И. С. Кузубный, В. А. Макаров // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 4. — М. : ИМГРЭ, 1988. — С. 54–54.
41. Лебедева Л. И., Смыслов А. А. Геохимическая зональность кимберлитов и вмещающих пород и ее поисковое значение / Л. И. Лебедева, А. А. Смыслов ; АН СССР, М-во геологии СССР, ИМГРЭ // Геохимические критерии прогноза и оценки рудных месторождений : сб. статей. — М. : Наука, 1988.
42. Литохимические методы поисков рудных месторождений. Методическое руководство / сост. Р. Р. Ивлев, А. Б. Халтурин, С. С. Солнцев [и др.] ; М-во энергетики и минерал. ресурсов Республики Казахстан, К-т геологии и недропользования. — Кокшетау, 2005. — 190 с.
43. Лось В. Л. Статистическое распределение содержаний основных полезных компонентов в некоторых месторождениях цветных и благородных металлов Казахстана : автореф. канд. дис. ... геол.-минерал. наук : 04.00.00 / Лось Владимир Львович ; Институт геологии и геофизики СО АН СССР. — Алма-Ата, 1972. — 29 с.
44. Макарова Ю. В. Методы обработки данных литохимических поисков по ореолам и потокам рассеяния / Ю. В. Макарова, А. Г. Марченко, В. О. Ильченко // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 4–5. — С. 72–77.
45. Макарова Ю. В., Соколов С. В. Опыт геохимических поисков месторождений с опробованием различных горизонтов почв в варьирующих ландшафтных условиях Карело-Кольского региона / Ю. В. Макарова, С. В. Соколов // Региональные геохимические работы как основа для оценки рудоносности и нефтегазоносности территории : материалы VI Всеросс. науч.-практ. конф. (28–30 апреля 2015 г., Москва). — М. : ИМГРЭ, 2015. — С. 60–61.
46. Маркосян А. А., Торосян Р. А. Сравнительный анализ геохимических полей медных месторождений Зангезурской рудоносной области / А. А. Маркосян, Р. А. Торосян // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 7. — М. : ИМГРЭ, 1988. — С. 89–90.
47. Марченко А. Г. Вторичные литохимические ореолы и потоки рассеяния: классификация, концептуальные и математические модели, количественная интерпретация, оценка прогнозных ресурсов / А. Г. Марченко // Прикладная геохимия : сб. статей в 2 томах. Вып. 8. Проблемы поисковой геохимии. Т. 1. Теория и методы. — М. : ИМГРЭ, 2008. — С. 106–118.
48. Марченко А. Г. Условия, процессы формирования и классификация литохимических вторичных ореолов и потоков рассеяния / А. Г. Марченко // Геохимические методы поисков как инструмент обнаружения прямых признаков месторождений стратегических видов минерального сырья : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. (27–28 ноября 2023 г., Москва). — М. : ИМГРЭ, 2023. — С. 97–100.
49. Марченко А. Г. Учет ландшафтных факторов при литохимических поисках в Карелии / А. Г. Марченко // Записки Горного института. — 1987. — Т. 111. — С. 42–49.

50. *Марченко А. Г.* Эффективность различных геохимических методов поисков по вторичным ореолам при выявлении платиноидно-медно-никелевого оруденения в ландшафтно-геологических условиях Норильского региона / А. Г. Марченко, В. О. Ильченко, Ю. В. Макарова // Разведка и охрана недр. – 2022. – № 4. – С. 3–15.
51. *Марченко А. Г.* Сравнительная оценка поисковой эффективности геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, в условиях Восточного Забайкалья / А. Г. Марченко, В. О. Ильченко, А. А. Никулина, О. А. Легких // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 1. – С. 14–24.
52. *Марченко А. Г.* Оптимизация сетей и плотности опробования при проведении разномасштабных поисковых геохимических съемок / А. Г. Марченко, С. В. Соколов, В. О. Ильченко [и др.] // Повышение эффективности разномасштабных геохимических работ при геологическом изучении недр : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. (30 ноября – 2 декабря 2022 г., Москва). – М. : ИМГРЭ, 2022. – С. 77–80.
53. Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые по результатам региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ / А. К. Иогансон, С. Н. Калабашкин, Ю. Б. Миронов, А. А. Пуговкин, Л. В. Смелова, С. В. Соколов [и др.]. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2018ф. – 45 с.
54. Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния / Г. И. Хорин, Л. Н. Бельчанская, В. П. Бородин [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 1993. – 191 с.
55. Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния / Г. И. Хорин, В. П. Бородин, А. А. Матвеев. – Москва : ИМГРЭ, 1992. – 164 с.
56. Методические рекомендации по опробованию при проведении средне- и мелкомасштабных полевых работ / сост. М. Н. Петрова, Р. В. Червяков, Т. Ю. Толмачева [и др.]. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 59 с.
57. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второго издания). Версия 1.4. – Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 188 с.
58. *Миляев С. А.* Литохимические поиски полиметаллических месторождений. – М. : Недра, 1988. – 183 с.
59. *Миляев С. А.* Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения / С. А. Миляев, С. Г. Кряжев, Ю. В. Виленкина // Руды и металлы. – 2017. – № 8. – С. 60–68.
60. *Невструев В. Г.* Типизация эндогенных проявлений Приохотья по минералого-геохимическим признакам / В. Г. Невструев // Рудоносность Приамурья. – Владивосток, 1987. – С. 45–53.
61. *Некипелая С. А., Некипелый В. Л.* Возможность геохимического картирования при изучении эталонного золоторудного объекта / С. А. Некипелая, В. Л. Некипелый // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 5. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 56–57.
62. *Несмеянова А. И., Березнев М. В.* Геохимические поиски скрытых месторождений различных геолого-промышленных типов методом картирования сорбционно-солевых ореолов (КСО) / А. И. Несмеянова, М. В. Березнев. – Текст : электронный // Геологический вестник: производственные и методические аспекты геологоразведочных работ / АО «Полиметалл УК». – 2022. – № 12.
63. *Нестеров О. Н.* Опыт использования элементов выноса при оценке и разбраковке золото-серебряного оруденения с крайне неравномерным распределением рудных компонентов / О. Н. Нестеров // Геохимия рудных районов : тез. докл. III сессии Дальневосточной секции СГПМ (24–25 мая 1986 г., Благовещенск). – Благовещенск, 1986. – 84 с.
64. *Николаев Ю. Н.* Геохимические параметры и критерии и прогнозной оценки золото-рудных узлов и полей / Ю. Н. Николаев, А. В. Аплеталин, И. А. Калько // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 21–27.
65. *Николаев Ю. Н.* Детализационно-заверочные работы в составе ОГХР-200 как основной источник повышения эффективности прогнозных оценок территорий на твердые полезные ископаемые / Ю. Н. Николаев, И. А. Калько, А. В. Аплеталин [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2022. – № 11. – С. 35–45.
66. *Овчинников Л. Н., Рифтин В. М., Головин А. А.* Первичные геохимические ореолы колчеданных месторождений и их поисковое значение. – М. : Недра, 1986. – 25 с.
67. *Овчинников Л. Н.* Прогноз рудных месторождений. – М. : Недра, 1992. – 308 с.

68. ОСТ 41-08-205-04. УКАР. Методики количественного химического анализа. Разработка, аттестация, утверждение : стандарт отрасли / Федеральный науч.-метод. центр лаб. иссл-ий и сертификации мин. сырья «ВИМС». – Изд. официальное. – М., 2004.
69. ОСТ 41-08-212-04. УКАР. Нормы погрешности при определении химического состава минерального сырья и классификация методик лабораторного анализа по точности результатов : стандарт отрасли : дата введения 2005-07-01 / Федеральный науч.-метод. центр лаб. иссл-ий и сертификации мин. сырья «ВИМС». – Изд. официальное. – М., 2004.
70. ОСТ 41-08-214-04. УКАР. Внутренний лабораторный контроль точности (правильности и прецизионности) результатов количественного химического анализа : стандарт отрасли : дата введения 2005-06-01 / Федеральный науч.-метод. центр лаб. иссл-ий и сертификации мин. сырья «ВИМС». – Изд. официальное. – М., 2004. – 92 с.
71. Патент № 2330259. Российская Федерация, RU 2 330 259 C2, МПК G01N 1/28 (2006.01), G01V 9/99 (2006.01). Геохимический способ поисков месторождений полезных ископаемых : № 2006128694/12 : заявл. 07.08.2006 : опубл. 20.02.2008 / О. В. Петров, С. С. Шевченко, С. В. Соколов [и др.]. – 9 с. : ил.
72. Петровская Н. В., Сафронов Ю. Т., Шер С. Д. Формации золоторудных месторождений / Н. В. Петровская, Ю. Т. Сафронов, С. Д. Шер // Рудные формации эндогенных месторождений : в 2 томах. Т. 2. Формации эндогенных месторождений золота, колчеданов, свинца, цинка и ртути. – М. : Наука, 1976. – С. 3–110.
73. Питулько В. М., Крицук И. Н. Основы интерпретации данных поисковой геохимии. – Л. : Недра, 1990. – 336 с.
74. Питулько В. М., Мкртычян А. К., Юркевич Л. Г. Теория и практика интенсивной технологии геохимических работ при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений. – СПб. : Нестор-История, 2014. – 424 с.
75. Плющев Е. В., Шатов В. В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л. : Недра, 1985. – 247 с.
76. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 560 с.
77. Поспелов Г. Л. Парадоксы, геолого-геофизическая сущность и механизм метасоматоза. – Новосибирск : Наука, 1973. – 355 с.
78. Постановление Правительства РФ от 18.02.2016 г. № 116 «О внесении изменений в Положение о государственной экспертизе запасов полезных ископаемых, геологической, экономической и экологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение» : дата опубликования 20.02.2016 / Правительство Российской Федерации. – М., 2016. – 16 с. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201602200017?pageSize=100&index=1>.
79. Практическое пособие по применению портативных рентгенофлуоресцентных спектрометров Olympus для оперативной оценки перспективности геологических объектов на твердые полезные ископаемые / В. В. Шолохнев, В. А. Васильева, Ю. В. Макарова. – СПб., 2024. – 143 с. (готовится к выпуску).
80. Практическое пособие по прогнозу оруденения на основе картирования полей гидротермально измененных пород при производстве ГСР-200 (ГСР-50) / В. В. Шатов, С. В. Кашин, В. Н. Белова [и др.]. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2023. – 104 с.
81. Практическое руководство по проведению геолого-минерагенического картирования масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) / Е. А. Лебедева, М. А. Шишкин, Ю. В. Асламов, С. В. Соколов, В. В. Шатов, С. С. Шевченко. – СПб., 2025. – 103 с. (готовится к выпуску).
82. Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. – Л. : Гидрометеиздат, 1960. – 240 с.
83. Рекомендации по проведению геохимических работ в областях развития ледниковых образований / С. В. Соколов, А. Г. Марченко [и др.]. – М.–СПб. : Роснедра, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, 2005ф. – 66 с.
84. Сидоров А. А., Константинов М. М., Еремин Р. А. и др. Серебро: геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений / отв. ред. Н. А. Шило ; АН СССР. – М. : Наука, 1989. – 239 с.
85. Силин И. И., Межеловский Н. В., Морозов А. Ф. и др. Геохимические методы прогнозирования и поисков рудных месторождений / отв. ред. Н. В. Межеловский ; Роснедра, ИМГРЭ, ГЕОКАРТ. – М. : Геокарт, ГЕОС, 2019. – 374 с.

86. *Синяков В. И.* Геолого-промышленные типы рудных месторождений. – СПб. : Недра, 1994. – 248 с.
87. *Смирнов В. И., Гинзбург А. И., Григоров В. М., Яковлев Г. Ф.* Курс рудных месторождений : учебник для вузов / ред. В. И. Смирнов. – М. : Недра, 1986. – 360 с.
88. *Соколов С. В.* Прогноз и оценка ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр / С. В. Соколов // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 5. – С. 48–53.
89. *Соколов С. В.* Методика количественной оценки ресурсов по геохимическим данным потенциально рудных площадей на стадии регионального изучения недр / С. В. Соколов // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 5. – С. 24–32.
90. *Соколов С. В.* Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ / С. В. Соколов // Прикладная геохимия : сб. статей. Вып. 5. Компьютерные технологии. – М. : ИМГРЭ, 2004. – С. 5–44.
91. *Соколов С. В.* Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. – СПб. : Наука, 1998. – 154 с.
92. *Соколов С. В.* Характер миграции химических элементов в процессе становления интрузий как возможный критерий их потенциальной рудоносности / С. В. Соколов // Проблемы геологии и генезиса рудных формаций : тез. докл. Всесоюз. совещ. (апрель 1988 г., Магадан). – Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. – С. 120–122.
93. *Соколов С. В.* Геохимические поиски месторождений в областях развития площадных кор выветривания и озерно-аллювиальных отложений повышенной мощности (на примере Пионер-Покровского рудного района) / С. В. Соколов, Н. Г. Власов, Л. П. Курник, Ю. Ю. Юрченко // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 1. – С. 15–22.
94. *Соколов С. В.* Метод анализа сверхтонкой фракции: результаты, эффективность / С. В. Соколов, Ю. В. Макарова, Ю. Ю. Юрченко // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 54–58.
95. *Соколов С. В., Марченко А. Г.* Оптимизация сети и плотности опробования при проведении площадных геохимических работ как фактор повышения надежности прогноза / С. В. Соколов, А. Г. Марченко // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 8. – С. 19–28.
96. *Соколов С. В.* Технология региональных геохимических работ в типовых ландшафтных обстановках территории РФ / С. В. Соколов, А. Г. Марченко, О. В. Петров [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 12. – С. 3–13.
97. *Соколов С. В.* Концептуальная модель образования наложенных сорбционно-солевых и нано-химических ореолов / С. В. Соколов, Е. Ф. Приходько, А. Г. Марченко, С. А. Володько // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 61. – С. 111–114.
98. *Соколов С. В., Шевченко С. С.* Задачи повышения эффективности геохимических работ поисковой геохимии / С. В. Соколов, С. С. Шевченко // Прикладная геохимия : сб. статей в 2 томах. Вып. 8. Проблемы поисковой геохимии. Т. 2. Опыт геохимических поисков. – М. : ИМГРЭ, 2008. – С. 3–15.
99. *Соколов С. В.* Состояние, проблемы и совершенствование нормативно-методического обеспечения разномасштабных геохимических работ / С. В. Соколов, С. С. Шевченко, И. И. Никитченко, Н. А. Юшко // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 1. – С. 15–22.
100. *Соколов С. В.* Геохимическая типизация золото-, серебросодержащих месторождений как основа определения рудноформационной принадлежности прогнозируемого оруденения при проведении региональных геохимических работ / С. В. Соколов // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 10. – С. 51–59.
101. *Солнцев С. С., Франковская Н. М.* Исследование геохимических полей с целью прогноза в Телекайском рудном поле / С. С. Солнцев, Н. М. Франковская // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 96–97.
102. *Соловов А. П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М. : Недра, 1985. – 294 с.
103. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, Ф. Я. Архипов, В. А. Бутров [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
104. Технология использования мобильных устройств при ГРП (технология Sherpa версии 4.2.5). – Текст : электронный // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского : [официальный сайт]. – СПб., 2025–. URL: https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/prog_ggk200-ggk1000/sherpa/ (дата обращения: 13.05.2025).

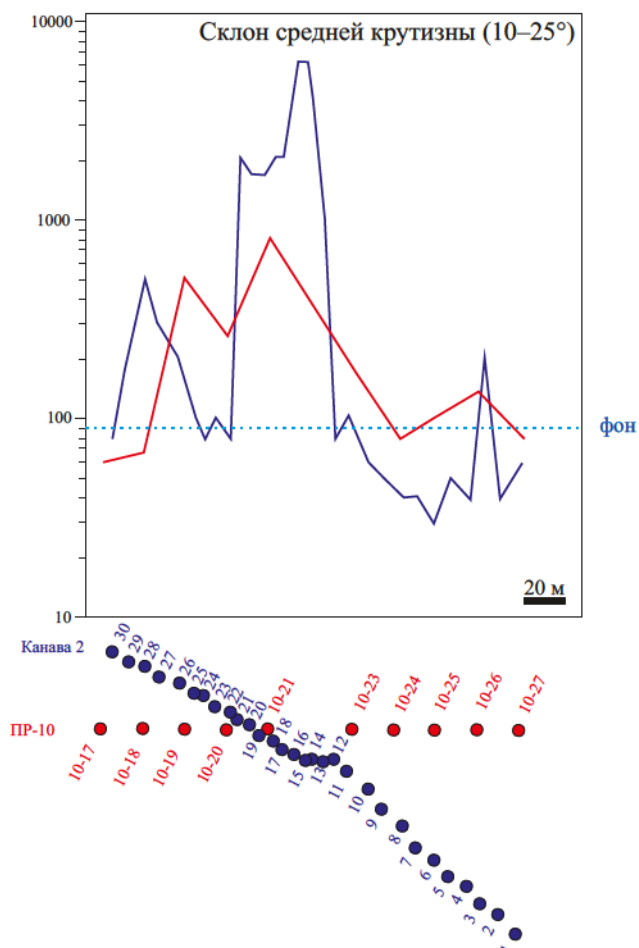
105. Технология работ и интерпретации данных геоэлектрохимических методов на рудных объектах : метод. рекомендации / С. Г. Алексеев, С. А. Вешев, Н. А. Ворошилов [и др.]. – СПб. : ФГУНПП «Геологоразведка», 2005. – 49 с.
106. Требования к геохимической основе Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (новая редакция) / А. А. Головин, О. С. Ключев, Г. М. Беляев при участии А. Н. Евдокимова. – М. : ИМГРЭ, 2005. – 40 с.
107. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1 : 1 000 000 / А. А. Головин, А. И. Ачкасов, К. Л. Волочкович [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 1999. – 104 с.
108. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1 : 200 000 / А. А. Головин, Н. Н. Москаленко, А. И. Ачкасов [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 92 с.
109. Требования к содержанию и оформлению материалов геохимических основ масштаба 1 : 200 000 Госгеолкарты – 200/2 / В. А. Килипко, Л. А. Криночкин, Ю. А. Шаройко [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 2021. – 98 с.
110. Трофимов А. П., Казакевич Н. Т., Хотенов А. В. Средне-крупномасштабное геохимическое прогнозирование колчеданно-полиметаллического оруденения в Лениногорском районе Рудного Алтая / А. П. Трофимов, Н. Т. Казакевич, А. В. Хотенов // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 5. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 98.
111. Указания по проведению опережающих геохимических работ по потокам рассеяния / С. В. Соколов, А. Г. Марченко [и др.]. – М.–СПб. : Роснедра, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, 2007ф. – 138 с.
112. Ферсман А. Е. Геохимия : в 4-х томах. Т. 1. – Л. : Госхимтехиздат, 1933. – 328 с.
113. Фурсов В. З. Выявление и оценка наложенных геохимических аномалий ртути на закрытых территориях при МГХК-200 : метод. рекомендации. – М. : ИМГРЭ, 2001. – 155 с.
114. Хорин Г. И., Соколов С. В. Прогнозная оценка ресурсов полезных ископаемых по данным литохимической съемки / Г. И. Хорин, С. В. Соколов // Геохимические методы при геологическом картировании. – М. : ИМГРЭ, 1985. – С. 60–70.
115. Шульгина И. М. Поведение элементов группы железа на золото-серебряных месторождениях убогосульфидной формации / И. М. Шульгина // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : тез. докл. IV Всесоюз. совещ. (10–12 октября 1988 г., Ужгород). Вып. 3. – М. : ИМГРЭ, 1988. – С. 134.
116. Янин Е. П. Эпифитовзвесь – новый индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами. – М. : ИМГРЭ, 2002. – 51 с.
117. Bowen H. J. M. Environmental Chemistry of the Elements. – London ; New York [et al.] : Academic Press, 1979. – 333 p.
118. Caritat P., Cooper M. A continental-scale geochemical atlas for resource exploration and environmental management: The National Geochemical Survey of Australia / P. Caritat, M. Cooper // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2016. – Vol. 16. – P. 3–13.
119. Goldschmidt V. M. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks // Journal of the Chemical Society, London. – 1937. – P. 655–673.
120. Mann A. W. Strong versus weak digestions: ligand-based soil extraction geochemistry / A. W. Mann // Geochemistry: Exploration, Environment Analysis. – 2010. – Vol. 10. – P. 17–26.
121. Mann A. W. [et al.] Vertical ionic migration: mechanisms, soil anomalies, and sampling depth for mineral exploration / A. W. Mann, R. D. Birrell, M. A. F. Fedikow, H. A. F. de Souza // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2005. – Vol. 7. – P. 201–210.
122. Mingqi W. [et al.] Pilot study of partial extraction geochemistry for base metal exploration in a thick loess-covered region / W. Mingqi, W. He, L. Yan [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2015. – Vol. 148. – P. 231–240.
123. Pim W. G. van Geffen [et al.] Evaluation of partial digestions for soils to detect a deeply buried VMS Cu-Zn prospect in boreal forests / W. G. van Geffen Pim [et al.] // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2015. – Vol. 15. – P. 27–38.

3. ТЕКСТОВЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Определение значений коэффициента соответствия вторичный ореол – первичный ореол по данным опробования коренных пород по полотну канавы и рыхлых отложений

Методика такой оценки иллюстрируется для сложного варианта, при котором профили опробования по вторичным ореолам рассеяния не совпадают с простираем ранее пройденных предшественниками канав, на примере медно-благороднометалльного месторождения Озерное (Полярный Урал). Предшественниками рудная зона вскрыта несколькими канавами, пройденными вкрест ее простираения, и опробована бороздовыми пробами длиной 4–10 м. С поверхности пройдены профили по вторичным ореолам рассеяния с шагом опробования 20 м под углом $\beta = 35^\circ$ к простираению канав (рис. 3.1).

В табл. 3.1, 3.2 приводятся исходные данные опробования полотна канавы и рыхлых отложений и результаты оценки линейных продуктивностей вторичного и первичного ореолов.



Примеры определения значений коэффициентов соответствия продуктивностей коренного оруденения, вторичных ореолов и потоков рассеяния

Рис. 3.1. Графики изменения содержаний меди по канаве 2 (голубые точки – центры интервалов опробования первичного ореола) и по сопряженному профилю 10 (красные точки – пункты опробования вторичного ореола) на месторождении Озерное

По этим данным имеем:

$$M_{\text{во}}^{\text{ист}} = M_{\text{во}} \cos \beta = 41080 \times \cos 35^\circ = 33651 \text{ м·г/т},$$

$$k = M_{\text{во}}^{\text{ист}} / M_{\text{по}} = 33651 / 150600 = 0,22.$$

Определение значений коэффициентов соответствия продуктивностей коренного оруденения, вторичных ореолов и потоков рассеяния на участках рудных месторождений с оцененными запасами

Таблица 3.1

Линейная продуктивность первичного ореола меди по канаве 2

Номер пробы	Интервал опробования l_i (м)	Содержание меди C_i (г/т)	$l_i C_i$ (м·г/т)
2-29	10	150	1500
2-28	5	500	2500
2-27	10	300	3000
2-26	10	200	2000
2-25	6	100	600
2-23	10	100	1000
2-21	5	2000	10000
2-20	4	1500	6000
2-19	8	1500	12000
2-18	6	2000	12000
2-17	5	2000	10000
2-16	5	6000	30000
2-15	5	6000	30000
2-14	5	4000	20000
2-13	5	1000	5000
2-11	10	100	1000
2-3	10	200	2000
$M_{PT} = l_i C_i$			150600

Таблица 3.2

Линейная продуктивность вторичного ореола меди по профилю 10

Номер пробы	Интервал опробования Δx (м)	Содержание меди C_x (г/т)	$\Delta x (C_x - C_\Phi)$ (м·г/т)
10-19	20	500	8400
10-20	20	250	3400
10-21	20	800	14400
10-22	20	800	14400
10-23	20	150	1400
10-25	20	100	400
10-26	20	120	80
$M_{\text{во}} = \Delta x \sum_{x=1}^n (C_x - C_\Phi)$			41080
Примечание. $C_\Phi = 80$ г/т			

Оценка значений коэффициентов k и k' может быть получена на участках рудных месторождений с оцененными запасами, если они покрыты литохимической съемкой по вторичным ореолам и потокам рассеяния.

Рассмотрим пример такой оценки на участке в Восточной Сибири. На рис. 3.2 показан фрагмент территории, на которой последовательно были проведены ГХР по потокам рассеяния и вторичным ореолам, по результатам которых было оконтурено АГХП ранга РП площадью 17,3 км².

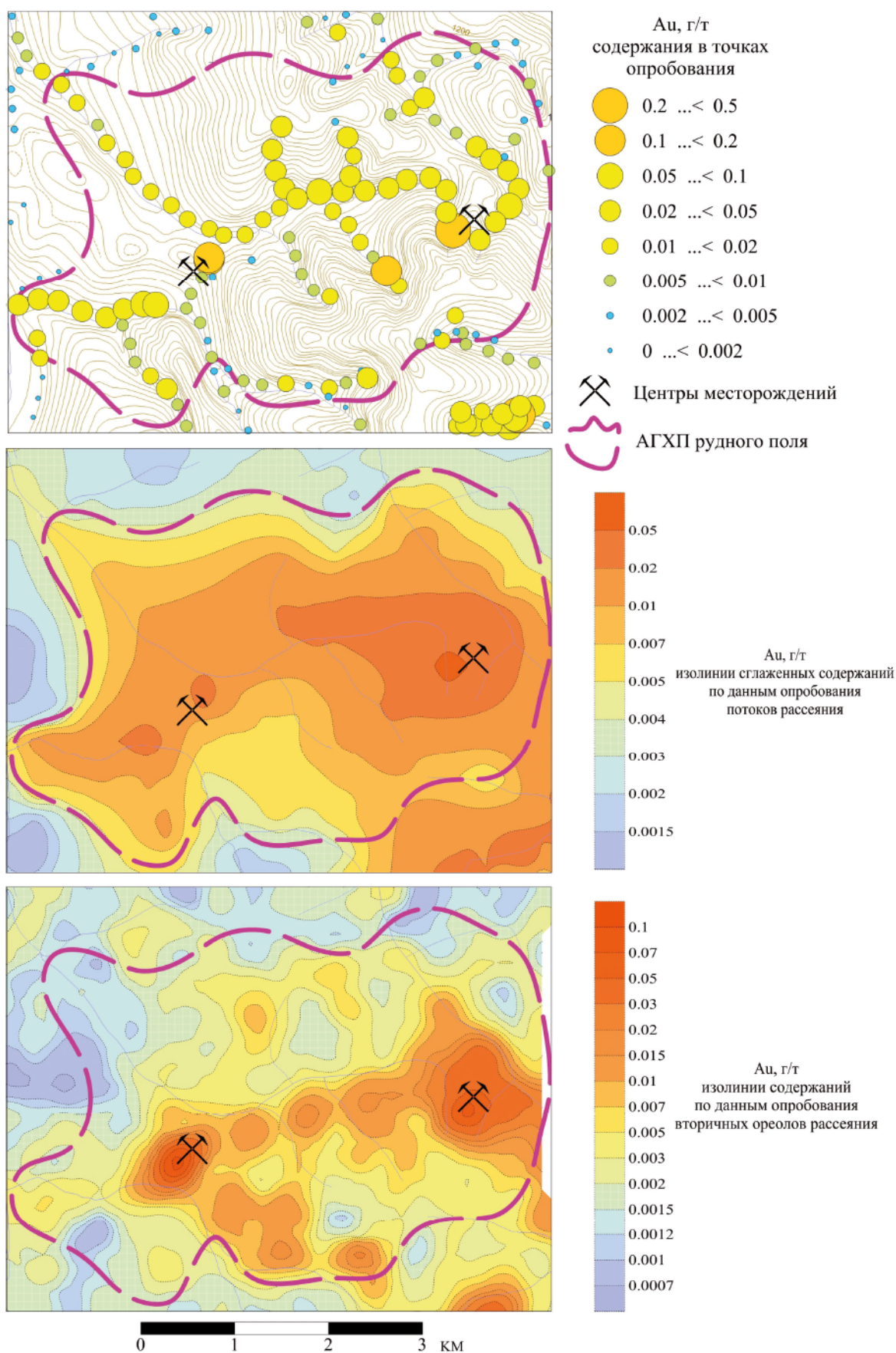


Рис. 3.2. Результаты литохимических съемок по потокам и вторичным ореолам рассеяния (фрагмент территории с рудным полем, вмещающим два золоторудных месторождения)

Последующими геологоразведочными работами были выявлены два золоторудных месторождения с оцененными до глубины 300 м запасами ($C_1 + C_2$), которые в сумме составили 44 т золота.

Площадная продуктивность аномалий золота в контуре АГХП, выявленного по потокам рассеяния, составила $P' = 17,04 \text{ м}^2\%$, по вторичным ореолам – $P = 10,48 \text{ м}^2\%$. По этим данным получаем численное значение коэффициента соответствия продуктивностей потоков и вторичных ореолов рассеяния:

$$k' = \frac{P'}{P} = \frac{17,04}{10,48} = 1,63.$$

Данное значение k' показывает, что потоки рассеяния в аллювии обогащены золотом по сравнению со склоновыми вторичными ореолами.

Численное значение коэффициента соответствия вторичного остаточного ореола и коренного оруденения определяется решением уравнения (33) из § 133 относительно k , опуская k' , при известном значении Q . При этом доля балансовых ресурсов α рассчитывается по уравнению из табл. 2.2 § 136:

$$\alpha = \text{antln}(-0,58 \ln S - 0,34) = \text{antln}(-0,58 \ln 17,3 - 0,34) = 0,15.$$

Имеем:

$$k = \alpha \frac{P \times H \times d \times 10^{-2}}{Q} = 0,15 \times \frac{10,48 \times 300 \times 2,5 \times 0,01}{44} = 0,27.$$

Данное значение k показывает, что вторичные литохимические ореолы почти в 4 раза обеднены золотом по сравнению с коренным оруденением.

Полученные численные значения k и k' могут использоваться в дальнейшем при оценке прогнозных ресурсов и ресурсного потенциала на смежных территориях или на других площадях со сходным типом оруденения и геолого-ландшафтной обстановкой.

По этим данным единый коэффициент соответствия потоков рассеяния и коренного оруденения равен:

$$k^* = kk' = 0,44.$$

Этот коэффициент можно определить и непосредственно, исходя из запасов месторождений Q и продуктивности аномалий P' , выделенных в результате съемки по потокам рассеяния в пределах АГХП:

$$k^* = \alpha \frac{P' \times H \times d \times 10^{-2}}{Q} = 0,15 \times \frac{17,04 \times 300 \times 2,5 \times 0,01}{44} = 0,44$$

Единый коэффициент соответствия продуктивностей потоков рассеяния и коренного оруденения (k^*) может использоваться при оценке прогнозных ресурсов или ресурсного потенциала, если имеются результаты литохимической съемки по потокам рассеяния, а работы по вторичным ореолам не проводились.

Примеры оценки эффективности различных сетей опробования по вторичным ореолам рассеяния

Нерчинская площадь расположена в Забайкальском крае. В ее пределах выявлено несколько десятков рудопоявлений и пунктов минерализации золота (рис. 3.3). Они образуют четыре рудогенные системы ранга РМ ($n \times 10^0$ км²).

На площади проводились литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния по сети 100×100 м. Содержания золота в пробах рыхлых отложений определялись пробирным анализом с атомно-абсорбционным окончанием. На рис. 3.3 приведены вторичные ореолы золота по первичной сети, а также по разреженным сетям опробования. Как видно из рисунка, все четыре рудогенные системы ранга РМ и известные рудопоявления четко фиксируются вторичными ореолами вплоть до сети 400×400 м. При использовании сети 500×500 м структура геохимического поля претерпевает изменения, АГХП ранга РМ выделяются менее надежно, и не все известные проявления золота отражаются во вторичных ореолах. Таким образом, оптимально минимальной сетью опробования в данных условиях для выявления участков под детальные поисковые работы представляются сети 500×200 , 500×250 м или 400×400 м.

На *Светлинской площади* (Таймыр) установлена рудная зона (ранг РМ) интенсивной метасоматической проработки пород шириной 330–550 м, длиной 3,8 км. Состав рудной минерализации отвечает золото-сульфидно-кварцевой формации. Открытые и фрагментарно открытые участки занимают лишь около 30 % площади, повсеместно развита многолетняя мерзлота.

Геохимические поиски проводились по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам рассеяния по технологии МАСФ масштаба 1 : 10 000 по сети 100×20 м. Пробы анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). На рис. 3.4 приведены вторичные ореолы золота, выделенные по первичной сети опробования, а также варианты их геометризаций по разреженным сетям. Как видно из рисунков, структура геохимического поля золоторудной зоны сохраняется и при значительном разрежении сети опробования, сама зона надежно фиксируется вплоть до использования сетей 400×400 и 500×500 м. Даже применение сети 1×1 км позволяет зафиксировать эту зону, хотя при такой плотности надежное определение параметров потенциальных рудных объектов становится затруднительным. В данном случае при поисках рудного объекта ранга РМ ($n \times 10^0$ км²) наиболее четко известная зона отражается по сети 400×200 м и удовлетворительно фиксируется по более редким сетям 400×400 м и 500×500 м.

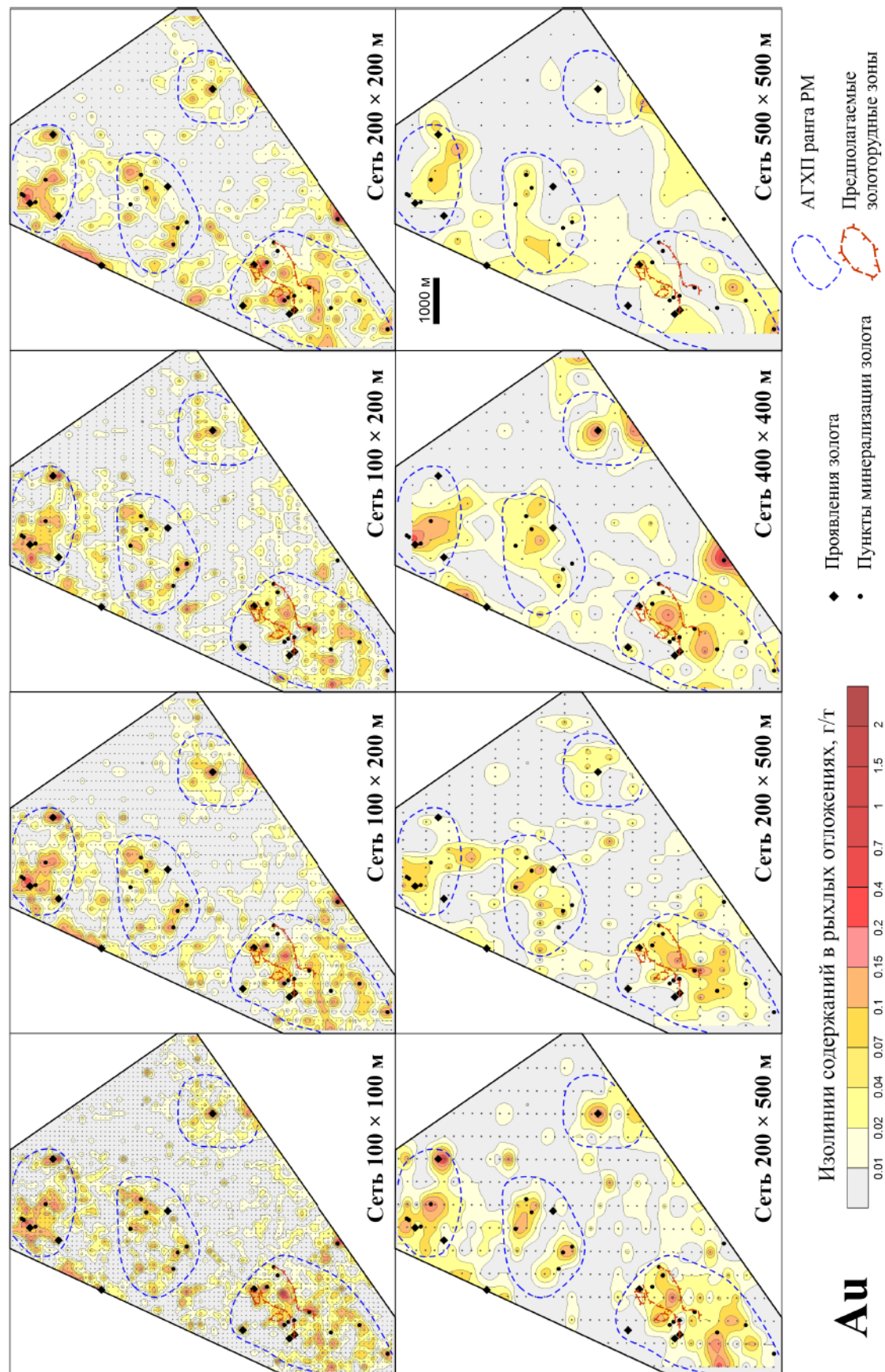


Рис. 3.3. Вторичные ореолы золота на Нерчинской площади (Забайкалье)

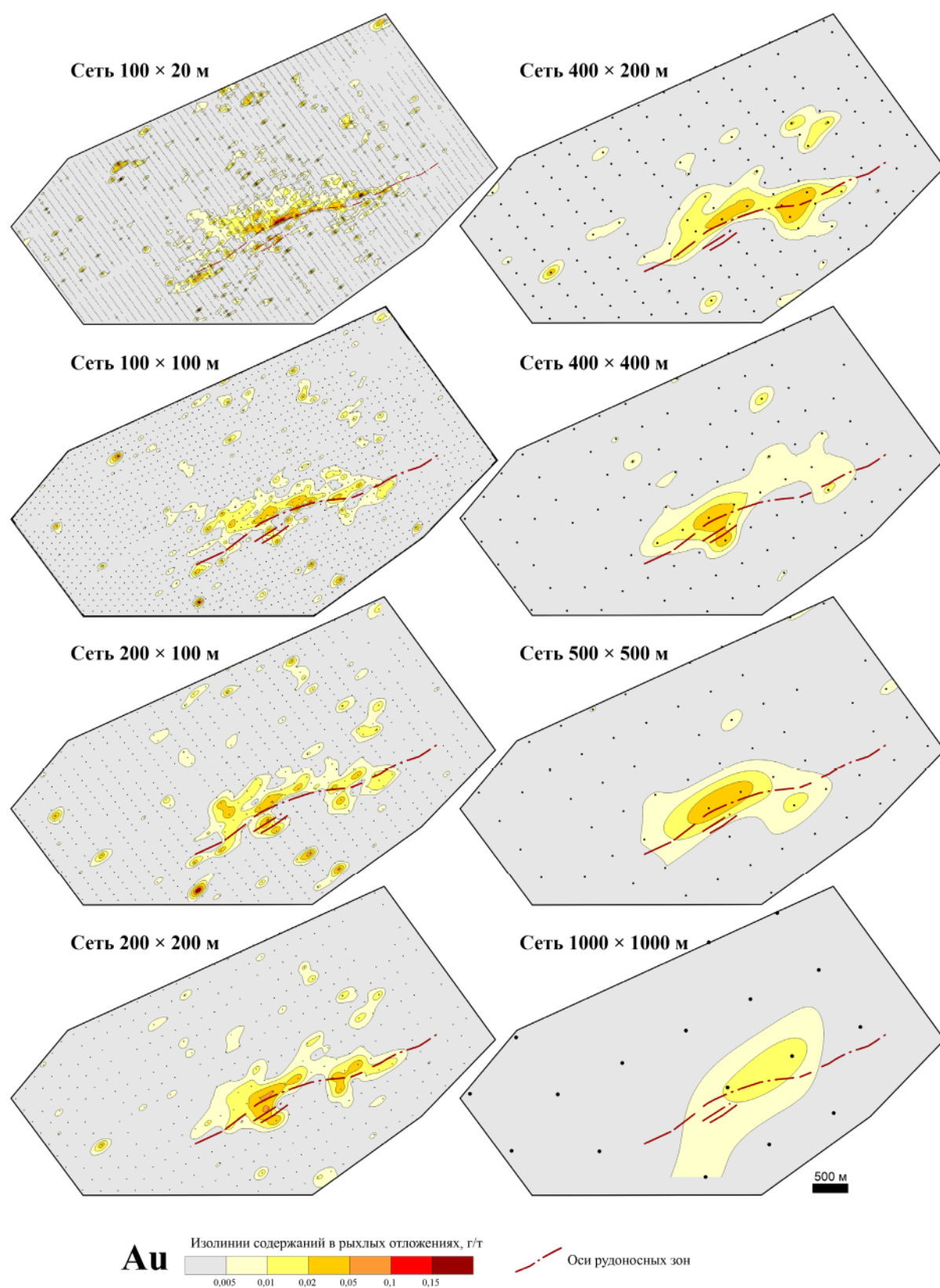


Рис. 3.4. Вторичные ореолы золота на Светлинской площади

Пример коррекции систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб

Рассмотрим последовательность операций по корректировке исходных аналитических данных на примере, приведенном в разд. 2.5.1.1 на рис. 2.11. Исходные численные данные представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные, расчетные и исправленные данные по содержаниям никеля

Номер анализа i	Исходное содержание (г/т) $C_{i,исх.}(j)$	$\lg C_{i,исх.}(j)$	Серия анализа j	Тренд $T(\lg C_{i,исх.}(j))$	$\lg C_{i,испр.}(j)$	Исправленное содержание (г/т) $C_{i,испр.}(j)$
1	38,9	1,590	1	1,605	1,504	31,9
2	35	1,544	1	1,604	1,459	28,7
3	52,5	1,720	1	1,603	1,635	43,2
4	49,3	1,693	1	1,602	1,609	40,6
5	39	1,591	1	1,602	1,508	32,2
6	38,6	1,587	1	1,601	1,504	31,9
7	33,3	1,522	1	1,600	1,441	27,6
8	38,2	1,582	1	1,599	1,502	31,7
9	39,7	1,599	1	1,598	1,519	33,0
10	37	1,568	1	1,597	1,489	30,8
11	33,4	1,524	1	1,596	1,446	27,9
.....	...	...	...	...	...	...
318	36	1,556	4	1,532	1,543	34,9
319	33,7	1,528	4	1,520	1,526	33,5
320	33	1,519	4	1,507	1,530	33,9
Среднее значение		1,519				33,0

Для этого примера среднее значение логарифма исходных значений содержаний во всей совокупности данных составляет 1,519, чему соответствует 33 г/т.

Расчетные данные и исправленные значения содержаний никеля, представленные в табл. 3.3, вычислялись способами, указанными в табл. 3.4, раздельно по каждой из серий. В данном примере для каждой серии анализа ($j=1, 2, 3, 4$) применялась своя формула тренда (на графиках, построенных в программе Excel (рис. 3.5), формула отражается в прямоугольнике): в серии 1 – линейная функция логарифма содержания от порядкового номера анализа (i), в серии 2 – полином 2-й степени, в серии 3 – постоянное значение, в серии 4 – полином 4-й степени. Заметим, что в общем случае количество серий, выделяемых из совокупной последовательности аналитических определений, может быть любым (две или больше), но при этом каждая из серий должна характеризоваться представительным количеством анализов (как правило, не менее 30). Для некоторых серий формулы вычисления трендов могут оказаться аналогичными и различаться только численными параметрами трендов.

Линейная функция регрессии содержаний на порядковый номер анализа (полином 1-й степени) или нелинейная функция полиномиальной регрессии содержаний на порядковый номер анализа (полиномы низких степеней – обычно не выше 4-й) определяются с помощью программного обеспечения, включающего средства построения графиков и статистический анализ данных (Excel, Grapher и др.).

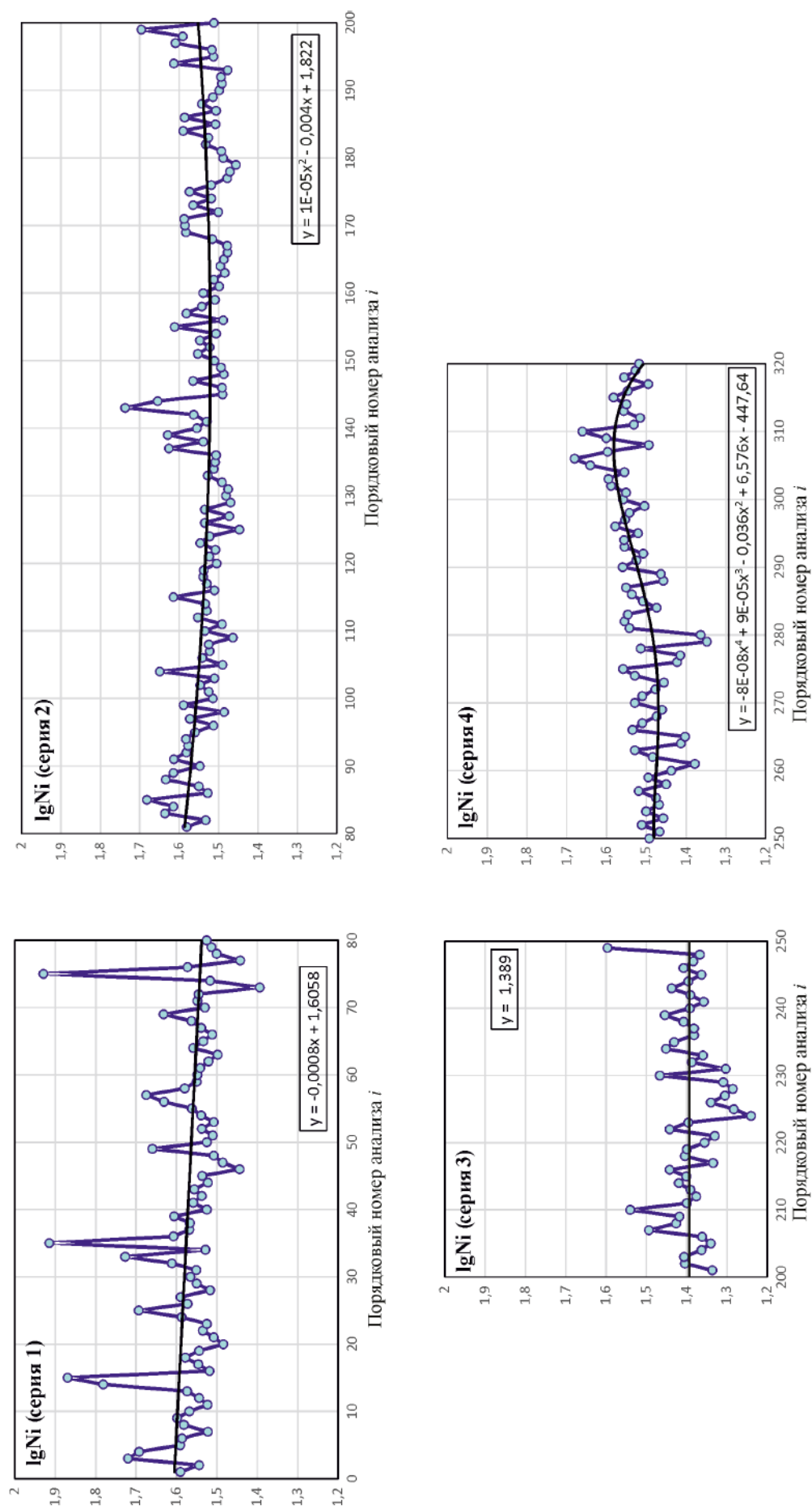


Рис. 3.5. Графики измеренных содержаний никеля в сериях анализов, линии и уравнения тренда

Таблица 3.4

Способы расчета, численные значения или формулы для вычисления аналитического тренда

Серия анализа j	Способ расчета аналитического тренда	Постоянное численное значение или формула (рис. 3.5) для вычисления значения тренда $T(\lg C_{i,\text{исх}}, j)$
1	Уравнение линейной регрессии	$T(\lg C_{i,\text{исх}}, 1) = -0,0008 \times i + 1,6058$
2	Уравнение полиномиальной регрессии 2-й степени	$T(\lg C_{i,\text{исх}}, 2) = 0,00001 \times i^2 - 0,004 \times i + 1,822$
3	Среднее значение логарифмов измеренных содержаний в данной серии	$T(\lg C_{i,\text{исх}}, 3) = 1,389 = \text{const}$
4	Уравнение полиномиальной регрессии 4-й степени	$T(\lg C_{i,\text{исх}}, 4) = -8 \times 10^{-8} \times i^4 + 9 \times 10^{-5} \times i^3 - 0,036 \times i^2 + 6,576 \times i - 447,64$

Корректировка исходных данных в каждой j -й серии анализа производилась по формуле (13) (см. § 104). Например, для анализа с порядковым номером $i=8$ в первой серии анализов ($j=1$) берем данные из соответствующих столбцов табл. 3.3 и получаем:

$$\begin{aligned} \lg C_{8,\text{испр}}(1) &= 1,582 - 1,599 + 1,519 = 1,502, \\ C_{8,\text{испр}}(1) &= 31,7 \text{ г/т.} \end{aligned}$$

Пример коррекции расхождений средних уровней и дисперсии содержаний элементов между результатами различных серий анализа проб

Встречаются случаи, когда между разными сериями (партиями) анализов проб, особенно если они анализировались в разных лабораториях, резко изменяется дисперсия измеренных содержаний (разброс содержаний вокруг среднего уровня) либо изменяются и уровень, и дисперсия. В случае существенного различия дисперсий требуется корректировка исходных данных с помощью стандартизации (нормирования) измеренных содержаний по фоновым параметрам серий (партий). Для *каждой* однотипной серии (партии) данных рассчитываются нормированные содержания элементов $u_i(j)$ (i – номер анализа по порядку, j – номер серии) по формулам: при нормальном распределении фоновых содержаний

$$u_i(j) = [C_i(j) - C_\Phi(j)] / S_\Phi(j), \quad (3.1)$$

при логарифмически нормальном распределении

$$u_i(j) = [\lg C_i(j) - \lg C_\Phi(j)] / \lg \epsilon_\Phi(j). \quad (3.2)$$

По результатам нормирования данных получаем значения, сопоставимые по всем сериям или партиям: 0 – среднефоновый уровень, ± 1 – среднефоновый уровень плюс/минус одно стандартное отклонение, ± 2 – среднефоновый уровень плюс/минус два стандартных отклонения, и т. п.

Далее вся совокупность данных по рассматриваемому элементу пересчитывается обратно из нормированных содержаний в обычные значения содержаний путем замены значения фонового содержания элемента корректируемой партии проб на фоновое содержание наиболее представительной (эталонной) серии анализов или серии, анализы в которой признаны наиболее правильными и надежными.

На рис. 3.6 приведен пример использования нормированных содержаний оксида марганца (анализ ICP-AES) для сбивки двух разнородных партий данных: партия 1 – западная часть Кольского полуострова (данные съемки МГХК-1000); партия 2 – восточная часть Кольского полуострова (данные международного проекта «Экобаренц»). В каждой из двух партий анализов был сначала проанализирован и исправлен аналитический дрейф данных способом, рассмотренным в прил. 3.3. На графиках логарифмов исправленных содержаний $\lg C_{i,\text{испр}}(j)$, полученных после снятия аналитического дрейфа раздельно в 1-й и 2-й партиях проб (см. рис. 3.6), отчетливо просматривается небольшое расхождение двух партий анализов по среднему уровню содержаний и резкое различие по дисперсии содержаний.

Для каждой из двух партий данных были оценены фоновые параметры. Поскольку содержания оксида марганца распределены логнормально, то C_Φ и ϵ_Φ определялись по логарифмам содержаний (табл. 3.5); при этом выборки дополнительно «очищались» от низких и(или) высоких значений содержаний для наилучшего соответствия аппроксимирующему логнормальному закону распределения.

Таблица 3.5

Фоновые параметры по исправленным данным

MnO, %	$\lg C_\Phi$	$\lg \epsilon_\Phi$	C_Φ	ϵ_Φ
Партия 1	– 1,07	0,08	0,09	1,20
Партия 2	– 0,96	0,17	0,11	1,48

В обеих партиях анализов были вычислены нормированные содержания $u_i(j)$ с использованием своих фоновых параметров для каждой из двух партий (табл. 3.6). Например, для анализа с порядковым номером $i=2$ (из партии $j=1$) и анализа с порядковым номером $i=290$ (из партии $j=2$) имеем:

$$u_2(1) = [\lg C_{2,\text{испр}}(1) - \lg C_\Phi(1)] / \lg \epsilon_\Phi(1) = [(-1,13) - (-1,07)] / 0,08 = -0,75,$$

$$u_{290}(2) = [\lg C_{290,\text{испр}}(2) - \lg C_\Phi(2)] / \lg \epsilon_\Phi(2) = [(-1,14) - (-0,96)] / 0,17 = -1,05.$$

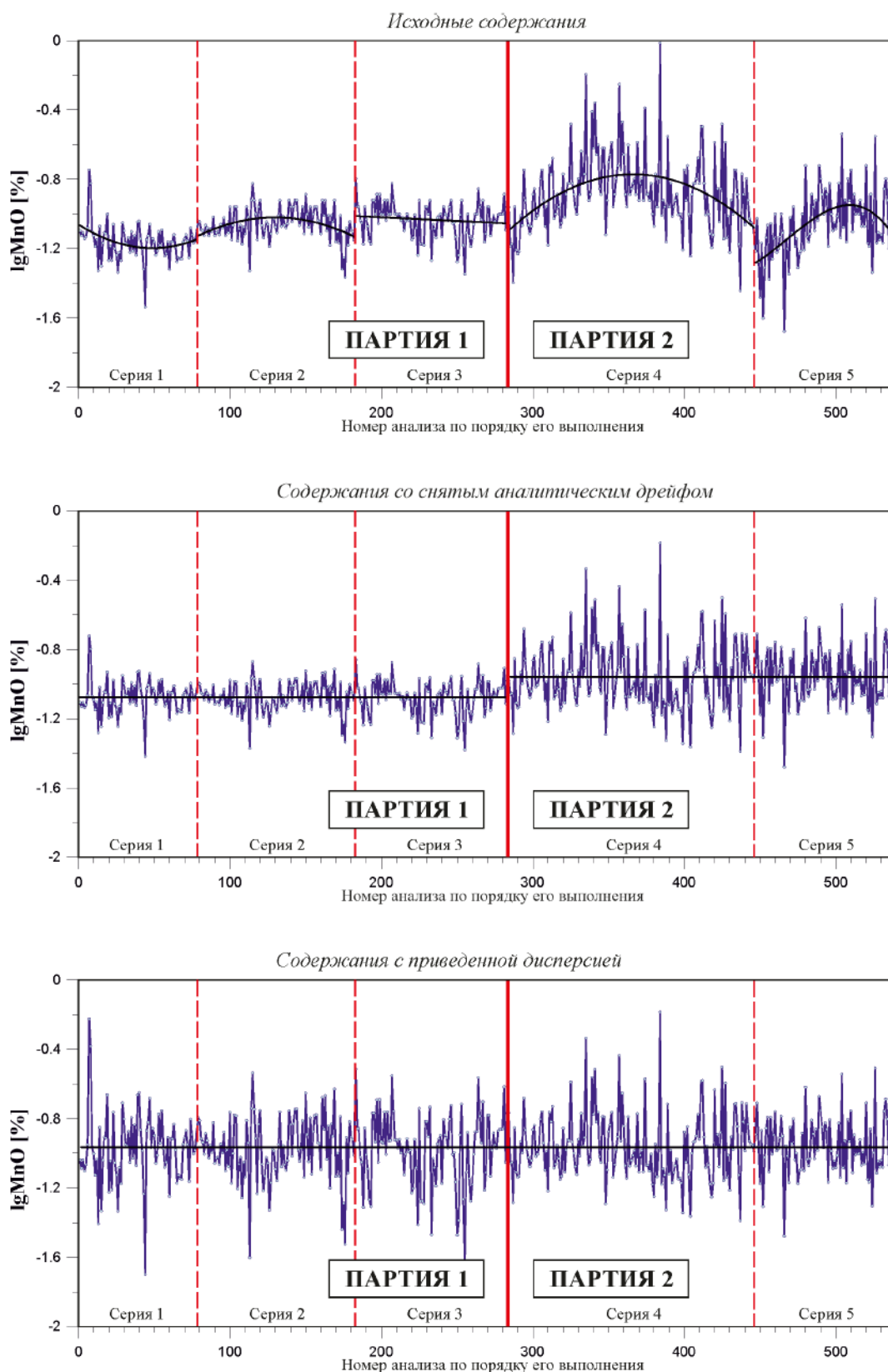


Рис. 3.6. Корректировка уровня содержаний, аналитического дрейфа и дисперсии внутри двух выборок (партий) анализов

Прерывистые красные линии разделяют последовательные серии анализа, между которыми в исходных данных наблюдаются скачки уровней измеренных содержаний либо изменения характера аналитического дрейфа; жирная красная линия разделяет партии анализов

Для вычисления приведенных значений логарифмов содержаний оксида марганца (с исправленными среднефоновыми уровнями и значениями дисперсии) для обеих партий используем фоновые параметры наиболее представительной партии анализов – в данном случае это партия 2. Для тех же порядковых номеров проб получаем:

$$\lg C_{2, \text{прив}}(1) = u_2(1) \times \lg \varepsilon_{\text{ф}}(2) + \lg C_{\text{ф}}(2) = -0,75 \times 0,17 + (-0,96) = -1,09,$$

$$C_{2, \text{прив}}(1) = 0,082 \%,$$

$$\lg C_{290, \text{прив}}(2) = u_{290}(2) \times \lg \varepsilon_{\text{ф}}(2) + \lg C_{\text{ф}}(2) = -1,05 \times 0,17 + (-0,96) = -1,14,$$

$$C_{290, \text{прив}}(2) = 0,073 \%.$$

В табл. 3.6 представлен фрагмент исходных, исправленных на аналитический дрейф отдельно в 1-й и 2-й партиях проб, и итоговых данных, приведенных к сходным уровням фоновых содержаний и их дисперсий.

Сравним результативные геохимические карты, построенные по данным с исправленными только фоновыми уровнями содержаний и по данным с исправлением не только уровней, но и дисперсий содержаний MnO (рис. 3.7).

На карте содержаний оксида марганца в рыхлых отложениях, построенной по исходным данным, аномалии в западной части Кольского полуострова резко ослаблены, в то время как по итоговым данным, приведенным к сходным уровням фоновых содержаний и их дисперсий, аномалии сопоставимого уровня выделяются в обеих частях площади съемки, характеризующихся схожими геолого-ландшафтными условиями. Таким образом, применение корректировки данных с пересчетом на нормированные содержания позволило не только учесть разный среднефоновый уровень, но и различия дисперсий измеренных содержаний марганца.

Таблица 3.6

Исходные, исправленные на аналитический дрейф и приведенные к сходным уровням фона и дисперсий данные по содержаниям MnO

Номер анализа <i>i</i>	Партия	Исходное содержание (%) $C_{i, \text{исх}}(j)$	$\lg C_{i, \text{исх}}(j)$	$\lg C_{i, \text{испр}}(j)$ (снят дрейф данных)	Нормированное содержание $u_i(j)$	$\lg C_{i, \text{прив}}(j)$	Приведенное содержание (%) $C_{i, \text{прив}}(j)$
1	1	0,08	-1,10	-1,11	-0,46	-1,04	0,092
2	1	0,075	-1,12	-1,13	-0,75	-1,09	0,082
3	1	0,078	-1,11	-1,11	-0,47	-1,04	0,092
4	1	0,072	-1,14	-1,14	-0,84	-1,10	0,079
5	1	0,074	-1,13	-1,12	-0,62	-1,06	0,086
6	1	0,083	-1,08	-1,06	0,06	-0,95	0,113
7	1	0,18	-0,74	-0,72	4,33	-0,22	0,602
.....		...	...	...	...	...	...
283	1	0,11	-0,96	-0,98	1,13	-0,77	0,171
284	1	0,11	-0,96	-0,98	1,13	-0,77	0,172
Среднее значение			-1,08				
285	2	0,065	-1,19	-1,06	-0,58	-1,06	0,087
286	2	0,067	-1,17	-1,05	-0,55	-1,05	0,089
287	2	0,04	-1,40	-1,28	-1,91	-1,28	0,052
288	2	0,11	-0,96	-0,85	0,63	-0,85	0,140
289	2	0,062	-1,21	-1,11	-0,88	-1,11	0,078
290	2	0,059	-1,23	-1,14	-1,05	-1,14	0,073
291	2	0,061	-1,21	-1,13	-1,01	-1,13	0,074
.....		...	...	...	...	...	...
534	2	0,12	-0,92	-0,80	0,93	-0,80	0,158
535	2	0,063	-1,20	-1,07	-0,65	-1,07	0,085
Среднее значение			-0,94				0,115

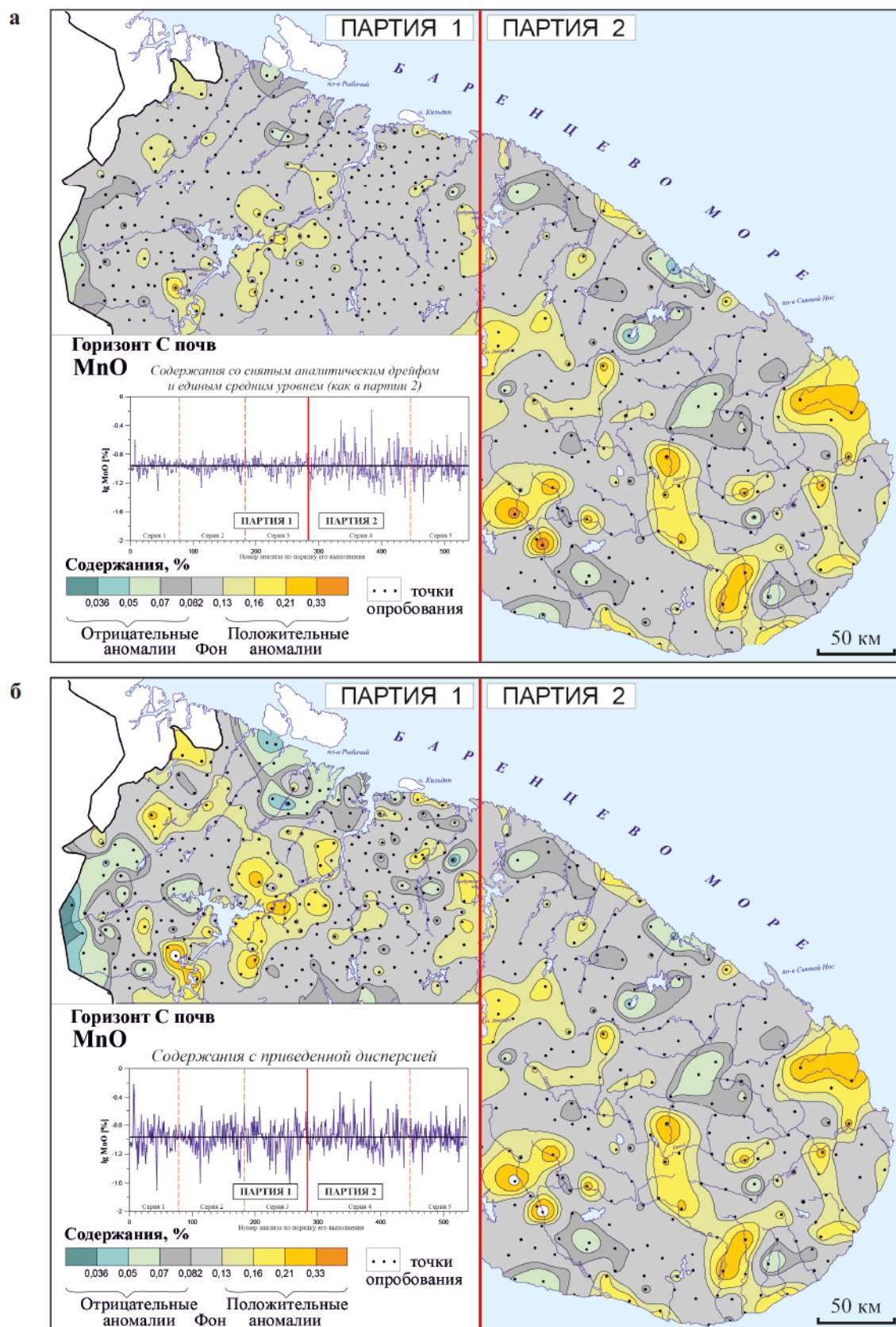


Рис. 3.7. Карты распределения содержаний оксида марганца в литохимических пробах горизонта С почв по данным с исправленными фоновыми уровнями содержаний (а) и данным, приведенным к сходным уровням не только фоновых содержаний, но и дисперсий (б)

Выделение разноранговых ореолов по признаку квантования содержаний рудных элементов

Эволюция многоуровневых рудогенных систем в последовательности от старших к младшим членам в режиме поэтапного подвода вещества, энергии и многоразовой мобилизации рудного вещества из вмещающего субстрата определяет этапность процессов рудоконцентрации. Этапность, в конечном итоге, определяет иерархическую структуру концентраций рудных элементов и выражается в эмпирически установленном квантовании содержаний рудных элементов [Лось, 1972; Соколов, 1998] по рангам многоуровневых систем, т. е. в наличии интервалов содержаний элементов, соответствующих конкретным уровням организации вещества (РР, РУ, РП, РМ, РТ). Такие интервалы и граничные значения между ними могут быть выделены с использованием формального способа, моделирующего функцию плотности распределения содержаний или условных продуктивностей элементов на шкале их интервалов [Временные методические указания..., 2005]. Практическая реализация этого способа осуществляется путем построения графиков распределения частоты встречаемости численной характеристики (W) на шкале ее интервалов (X_i). С его использованием возможно оперативное и корректное выделение как геохимических параметров (содержаний, кларков концентрации химических элементов и других численных характеристик), так и генетических (площади разноранговых рудогенных систем и уровни концентраций элементов в них), геофизических (ΔT , Δg) и прочих параметрических характеристик. В рассматриваемом случае на таких графиках иерархическая структура концентраций рудных элементов проявляется в полимодальном облике вариационных кривых содержаний или условных продуктивностей.

Для широко используемого в практике ГХР логарифмически-нормального распределения содержаний элементов облик графика в координатах W – X_i определяется не только природными закономерностями, но и количеством выбранных интервалов (I) и, соответственно, межинтервальной кратностью (КР). Последняя величина в каждом конкретном случае является постоянным параметром, характеризующим шаг интервала:

$$КР = X_{i+1} / X_i, \quad (3.3)$$

где X_i и X_{i+1} – среднеинтервальные (или минимальные) значения величины X на соседних интервалах.

Зависимость функции плотности распределения от величины I и КР иллюстрируется на примере золото-серебряного отношения в месторождениях золота и серебра (рис. 3.8).

Как видно из рисунка, при малом количестве интервалов (I) графики имеют одно- или двухмодальный облик (рис. 3.8, а) и характеризуются относительно плавным изменением значений W . При большом количестве интервалов график приобретает пилообразную форму (рис. 3.8, в). Флюктуации величины W в этом варианте имеют случайный бессистемный характер. Устойчивые, т. е. характеризующиеся не менее чем двумя точками, экстремумы W выделяются при средних значениях КР и I (рис. 3.8, б).

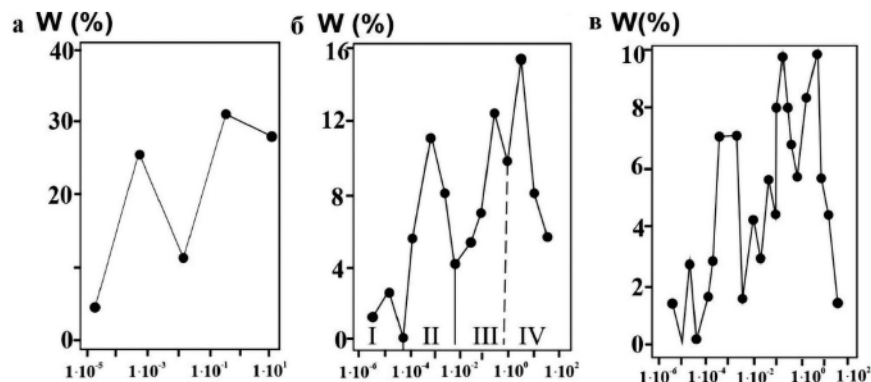


Рис. 3.8. Графики распределения золото-серебряного отношения с различными значениями величины I :

а – $I=5$; б – $I=14$ (проявления: I – собственно серебряные, II – серебряные с золотом, III – золото-серебряные, IV – золотые); в – $I=24$

При изучении иерархической структуры концентраций рудных элементов подобные устойчивые максимумы отражают содержания элемента конкретных рангов, а минимумы – граничные значения между ними.

Алгоритм построения таких графиков следующий [Временные методические указания..., 2005]:

1. Определение градиента G изменчивости характеристики из соотношения максимального и минимального ее значения:

$$G = X_{\max} / X_{\min}. \quad (3.4)$$

2. Расчет оптимальных значений I и КР по следующим формулам:

$$КР = \text{antln}(0,057 \ln G + 0,194), \quad (3.5)$$

$$I = \text{antln}(0,024 \ln G + 2,28). \quad (3.6)$$

3. Определение граничных значений X_i между интервалами:

$$X_i = X_{\min} \times КР^i. \quad (3.7)$$

Расчет величины W_i :

$$W_i = N_i / N_0 \times 100\%, \quad (3.8)$$

где N_i и N_0 – количество наблюдений на i -м интервале значений характеристики и общее количество наблюдений.

5. Построение графика распределения характеристики в пространстве наблюдений.

6. Выделение по графикам интервалов содержаний рудных элементов, соответствующих конкретным уровням организации вещества.

В другом варианте количество интервалов (I) может вычисляться по формуле Стержесса [Воробьев, 2016], определяющей соотношение между их числом и объемом выборки (N_0):

$$I = 1 + 3,32 \log (N_0). \quad (3.9)$$

Построение графиков содержаний или условных продуктивностей на шкале их интервалов может осуществляться как для отдельных главных элементов прогнозируемого оруденения, так и для их комбинаций. В последнем случае выбор мультипликативных коэффициентов центростремительных элементов ($K_{ЦС}$) (элементов рудного комплекса) производится с учетом геохимической специализации эталонных объектов.

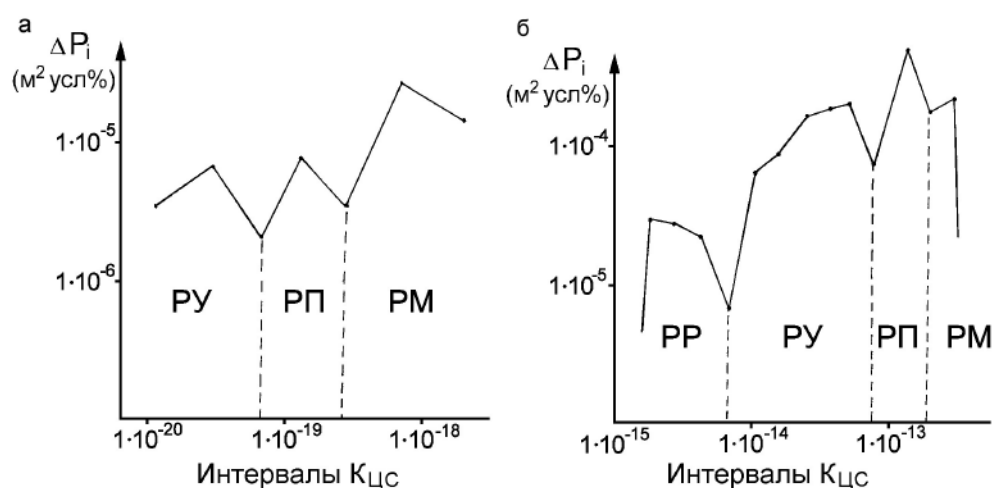


Рис. 3.9. Вариационные кривые условных продуктивностей ΔP_i мультипликативных показателей элементов рудного комплекса (центростремительных элементов) $K_{ЦС}$:

a – $Au \times Ag \times Pb \times Zn \times Mo$ (Бамский, Апсаканский, Тогунаасский РУ); b – $Y \times Ce \times La \times Yb$ (Иличинский РУ)

В качестве примера на рис. 3.9 представлен более сложный вариант – вариационные кривые в координатах $K_{\text{ЦС}}-\Delta P_i$ (условная продуктивность), построенные по результатам литохимической съемки по потокам рассеяния трех золоторудных (рис. 3.9, *а*) и одного редкоземельного (рис. 3.9, *б*) рудных узлов (Амурская область). В рассматриваемом примере $\Delta P_i = \bar{K}_{\text{ЦС}} \times n \times S$, где $\bar{K}_{\text{ЦС}}$ – среднеинтервальное значение показателя, n – количество проб на интервале, S – площадь ячейки опробования.

Как видно из рисунка, вариационные кривые мультипликативных показателей имеют полимодальный облик, отражая многоэтапность рудогенеза и, соответственно, многоуровневость АГХП. Минимумы значений условной продуктивности ΔP_i являются граничными значениями $\bar{K}_{\text{ЦС}}$ между АГХП соседних рангов, которые, собственно, и использовались для выделения значений изолиний разноранговых аномалий.

Пример оценки доли балансовых руд α при детализационных работах или по ретроспективным данным

При детализационных работах значение доли балансовых руд может определяться по данным опробования полотна канав по следующей формуле [Справочник..., 1990]:

$$\alpha_M = M_{RT} / (M_{RT} + M_{по}), \quad (3.10)$$

где M_{RT} – линейная продуктивность рудного элемента на интервале кондиционных руд, $M_{по}$ – линейная продуктивность первичного ореола за пределами кондиционных руд.

Выделение интервала кондиционных руд в этом случае начинается с ориентировочной оценки бортового содержания рудного элемента ($C_{борт}$) с учетом предполагаемого геолого-промышленного типа и ожидаемого масштаба оруденения, развитости инфраструктуры территории и существующих оценок его значений на аналогичных объектах в сходных условиях. Далее для интервалов рудного сечения (l_i , м) с содержаниями $C_i \geq C_{борт}$ и одного из двух, примыкающих к сечению, интервалов опробования с содержанием, ближайшим к $C_{борт}$, оценивается средневзвешенное содержание рудного элемента ($\bar{C}$):

$$\bar{C} = \left(\frac{1}{L}\right) \times M_{RT} = \left(\frac{1}{L}\right) \times \sum_{i=1}^n (C_i \times l_i), \quad (3.11)$$

где n – количество интервалов опробования; L (м) – суммарная длина интервалов опробования.

Если полученное значение $\bar{C} < C_{борт}$, то присоединенный интервал опробования с содержанием, меньшим $C_{борт}$, из рудного сечения и, соответственно, из расчетов M_{RT} исключается. В случае, если $\bar{C} > C_{борт}$, в состав рудного сечения включается присоединенный интервал опробования. Далее операция повторяется, и к расчетам присоединяется следующий ближайший по содержанию к $C_{борт}$ интервал. И так до тех пор, пока $\bar{C} > C_{борт}$.

Методику такой оценки проиллюстрируем на примере золоторудного тела (табл. 3.7), для которого бортовое содержание золота было принято 3 г/т по аналогии с оценками на сходных объектах.

Таблица 3.7

Результаты опробования и оценки параметров по простираннию канавы (фрагмент)

Номер пробы (интервала)	1	2	3	4	5
l_i (м)	5	1	0,5	1	5
C_i (г/т)	0,2	0,5	8	4	0,4
M_{RTI} (м·г/т)	1,0	0,5	4	4	2,0

Для интервалов 2–4:

$$M_{RT} = 0,5 + 4 + 4 = 8,5 \text{ м} \cdot \text{г/т}, \quad \bar{C} = 8,5/2,5 = 3,4 \text{ г/т} > C_{борт},$$

следовательно, интервал 2 включается в рудное сечение.

Для интервалов 2–5:

$$M_{RT} = 0,5 + 4 + 4 + 2,0 = 10,5 \text{ м} \cdot \text{г/т}, \quad \bar{C} = 10,5/7,5 = 1,4 \text{ г/т} < C_{борт},$$

следовательно, интервал 5 не включается в рудное сечение.

Из этих расчетов следует, что интервал кондиционных руд составляет 2,5 м, линейная продуктивность рудного элемента на интервале кондиционных руд $M_{RT} = 8,5 \text{ м} \cdot \text{г/т}$, линейная продуктивность первичного ореола за пределами интервала кондиционных руд – $M_{по} = 3,0 \text{ м} \cdot \text{г/т}$.

$$\alpha_M = 8,5 / (8,5 + 3,0) = 0,74.$$

В случае определения α_M по нескольким сечениям на конкретном участке вычисляется среднее геометрическое значение.

В дальнейших расчетах прогнозных ресурсов аномалий ранга РТ не по линейным, а по площадным продуктивностям геохимических аномалий, в соответствии с указанием §4.27 «Справочника...» [1990], используется возведенное в квадрат значение:

$$\alpha = \alpha_M^2. \quad (3.12)$$

В рассматриваемом примере: $\alpha = 0,74^2 = 0,55$.

По ретроспективным данным значение α для оценки прогнозных ресурсов АГХП ранга РМ можно получить, используя данные по разведанным рудным месторождениям. В этом случае α вычисляется из отношения балансовых (промышленных) запасов (Q) и общих геохимических ресурсов ($Q_{ГХ}$). Последние включают ресурсы, которые сосредоточены не только в промышленных рудных телах, но также в первичном ореоле месторождения и сопутствующих проявлениях неперомышленной минерализации:

$$\alpha = \frac{Q}{Q_{ГХ}}. \quad (3.13)$$

Величина $Q_{ГХ}$ оценивается следующим образом. В объеме изученного при разведке канавами и скважинами геологического пространства месторождения выделяются горизонты мощностью ΔH . Внутри каждого i -го горизонта данные по содержаниям элементов проецируются на горизонтальную плоскость с высотной отметкой центра горизонта. В плоскости среза каждого i -го горизонта оконтуривается первичный ореол (рудогенная аномалия), который включает собственно рудное тело (сближенные рудные тела), и его(их) ореольное обрамление. Геохимические ресурсы элемента внутри каждого i -го горизонта ($Q_{iГХ}$ в тоннах) определяются по следующей формуле:

$$Q_{iГХ} = P_i \times \Delta H_i \times d \times 10^{-2}, \quad (3.14)$$

где P_i – площадная продуктивность геохимической аномалии в коренных породах на i -м горизонте ($\text{м}^2\%$), рассчитанная по содержаниям, спроецированным на горизонтальную плоскость с высотной отметкой центра i -го горизонта; ΔH_i – мощность i -го горизонта; d – средневзвешенная объемная масса пород (м^3).

Далее вычисляется величина общих геохимических ресурсов месторождения:

$$Q_{ГХ} = \sum Q_{iГХ} \quad (3.15)$$

и по формуле (3.13) определяется значение α .

Методику такой оценки проиллюстрируем на примере золото-медно-порфирового месторождения. Балансовые запасы золота ($C_1 + C_2$), оцененные в результате разведки в интервале абсолютных высотных отметок от 735 м (максимальная отметка дневной поверхности на участке месторождения) до 180 м (нижняя высотная отметка распространения оруденения по данным бурения) составляют $Q = 1,219$ т. Средневзвешенная объемная масса пород – $d = 2,5$ т/ м^3 . Геохимические ресурсы золота, оцененные в результате погоризонтных расчетов (табл. 3.8), составляют $Q_{ГХ} = 4,233$ т.

Таблица 3.8

Пример расчета геохимических ресурсов золота в месторождении

Номер горизонта i	$H_{i\text{низ}}$ (м)	$H_{i\text{верх}}$ (м)	ΔH_i (м)	H_i (м)	P_i (м ² %)	$Q_{i\text{ГХ}}$ (т)
1	650	735	85	700	0,303	0,695
2	550	650	100	600	0,326	0,882
3	450	550	100	500	0,312	0,842
4	350	450	100	400	0,195	0,525
5	250	350	100	300	0,376	1,015
6	180	250	70	200	0,145	0,275
						$Q_{\text{ГХ}} = 4,233$

На основании этих данных получаем оценку доли балансовых запасов золота в общих геохимических ресурсах:

$$\alpha = Q / Q_{\text{ГХ}} = 1,219 / 4,233 = 0,29.$$

Полученное таким образом значение α можно использовать при оценке прогнозных ресурсов золота рудных объектов ранга РМ сходного типа.

4. ТАБЛИЧНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Средние содержания химических элементов в литосфере и горных породах

Атомный номер	Химический элемент	Кларки геофер		Кларки магматических пород					Кларки осадочных и метаморфических пород			
		земная кора	почвы	ультра-основные	основные	средние	кислые	глины и глинистые сланцы	крист. сланцы и паратейсы	песчаники	карбонатные породы	
1	H	1100	—	—	—	—	—	5080	2450	—	—	—
2	He	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Li	25	25	4,3	20	20	80	55	—	30	17	17
4	Be	2	0,3	0,2	0,4	1,8	3,5	3	—	2	0,6	0,6
5	B	12	20	5	5	15	15	50	—	35	20	20
6	C	200	20000	100	200	300	300	19000	2360	13000	110000	110000
7	N	20	1000	10	20	20	20	600	—	135	7	7
8	O	465000	490000	439000	440000	462000	480000	491000	480000	510000	492000	492000
9	F	640	200	100	400	500	800	600	700	300	300	300
10	Ne	0,00077	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Na	23800	5000	2200	19800	26800	27500	7860	15100	9200	2500	2500
12	Mg	22600	5000	273000	40800	19600	6630	15400	19600	7300	46000	46000
13	Al	80700	71000	5000	81200	91200	78100	86600	90100	29000	9600	9600
14	Si	279900	330000	205000	237000	280000	328000	261000	286000	347000	24000	24000
15	P	1000	800	100	1270	1050	870	610	790	400	500	500
16	S	330	700	200	250	200	300	4200	1020	200	1200	1200
17	Cl	180	100	100	60	100	200	800	200	11	150	150
18	Ar	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	K	21300	14000	300	7730	15200	32300	25100	22800	13200	2800	2800
20	Ca	38100	15000	5690	71000	46900	16400	29400	21200	26700	325000	325000
21	Sc	17	7	30	30	15	7	12	18	7	1	1
22	Ti	4900	5000	1600	10900	5500	2000	4000	3600	5000	600	600
23	V	190	90	87	300	150	70	150	150	30	19	19
24	Cr	93	70	2500	230	60	25	90	162	35	11	11
25	Mn	900	1000	1000	1440	1160	540	700	930	400	400	400
26	Fe	53300	40000	65600	87700	50400	26100	46600	51900	50000	8600	8600
27	Co	23	8	80	30	20	10	19	24	9	1	1
28	Ni	56	50	1230	80	61	15	70	70	35	20	20
29	Cu	53	30	80	90	60	25	55	43	25	7	7
30	Zn	68	90	50	84	73	58	95	136	40	20	20
31	Ga	18	20	2,5	18	18	19	30	—	10	3,6	3,6

Атомный номер	Химический элемент	Кларки геофер		Кларки магматических пород				Кларки осадочных и метаморфических пород			
		земная кора	почвы	ультра-основные	основные	средние	кислые	глины и глинистые сланцы	крист. сланцы и парagneйсы	песчаники	карбонатные породы
32	Ge	1,8	1	1,3	1,5	1,5	1,5	2,2	—	1,4	0,2
33	As	1,8	6	2	2	1,9	1,6	5	—	1,2	2
34	Se	0,073	0,4	0,1	0,13	0,07	0,04	1	—	1	0,08
35	Br	2,4	10	0,35	0,7	1,4	1,1	14	—	5,9	10
36	Kr	0,000042	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	Rb	110	35	50	50	95	210	130	130	68	24
38	Sr	370	250	17	460	440	270	260	285	250	370
39	Y	32	30	3,8	27	28	40	26	31	18	7,9
40	Zr	160	400	25	150	117	200	200	210	200	20
41	Nb	16	10	0,4	7	9	20	13,6	36	18	0,6
42	Mo	1,2	1,2	0,8	1,3	1	1,5	1,5	1	1,3	0,4
44	Ru	0,004	—	0,006	—	—	—	—	—	—	—
45	Rh	0,005	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—
46	Pd	0,009	—	0,02	0,02	0,006	0,003	0,0005	—	0,0005	0,0005
47	Ag	0,073	0,05	0,06	0,1	0,017	0,04	0,07	—	0,1	0,01
48	Cd	0,16	0,35	0,06	0,18	0,13	0,17	0,3	—	0,1	0,03
49	In	0,07	—	0,02	0,062	0,092	0,05	0,065	—	0,01	0,05
50	Sn	2,3	4	0,3	2	2,5	5	6	—	2,3	0,5
51	Sb	0,3	1	0,1	0,35	0,2	0,3	1,35	—	0,2	0,15
52	Te	0,001	—	0,01	0,007	0,002	0,001	0,01	—	0,001	—
53	I	0,5	5	0,1	0,5	0,3	0,5	1	—	1	1,2
54	Xe	0,0000034	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	Cs	4	4	0,1	1	1,4	5	14	3	9	0,2
56	Ba	470	500	45	290	400	700	550	670	300	50
57	La	30	40	0,92	17	25	35	35	30	15	8
58	Ce	70	50	1,5	31	40	72	73	81	35	12,5
59	Pr	7	7	0,3	3,7	3,2	9	8,6	10,6	4,7	2
60	Nd	30	35	1	16	23	31	30	42	18	7
62	Sm	7	4,5	0,3	4	4,2	9	7,3	6,5	4,2	1,7
63	Eu	1,2	1	0,3	1,5	1,2	1,3	1,3	1,7	0,8	0,5
64	Gd	7	4	0,45	4,7	5,6	7,5	6,2	8	3,4	1,9
65	Tb	1	0,7	0,1	0,71	0,8	1,1	0,7	0,8	1,3	1,3
66	Dy	4,6	5	0,53	5	3,5	4,1	4,4	4,5	3,2	3,2
67	Ho	1,3	0,6	0,15	1,2	1	1,4	1,1	1	1,2	0,17
68	Er	3,1	2	0,3	3	2,1	3,4	2,4	2,7	2,9	0,7

Рекомендуемая форма журнала опробования рыхлых отложений
при ГХР по потокам рассеяния

№ п/п	Номер пробы	Координаты			Глубина отбора (м)	Характеристика ландшафта		Характеристика пробы					Примечание
		X	Y	Z (м)		геоморфологическая характеристика	характери- стика эле- ментарного ландшафта	объект опробова- ния	литоло- гический состав пробы	цвет пробы	содержание в пробе органического материала	петрографи- ческий состав преобладающего каменного материала	
1	1-001												5-001 – граниты
2	2-002												6-002 – кварц- сульфидная жила
3	1-003												
4	1-004												

Индекс в номере пробы: 1 – проба аллювия (постоянный водоток) или пролювия (временный или пересыхающий водоток); 2 – проба рыхлых отложений нижних частей склонов или эрозионных ложбин на склонах (горизонты В, G, С и т.п.). Попутно отбираемые при литохимической съемке пробы из потенциально рудоносных образований и геологических комплексов; 5 – сколковая; 6 – шуфная (фиксируются в примечании с краткой характеристикой состава).

Характеристика проб и элементарных ландшафтов при площадных ГХР по потокам рассеяния

<i>Геоморфологическая характеристика точки отработки</i>	<i>Объект отработки</i>
1 – коса речная 2 – русло постоянного водотока 3 – русло временного водотока, ложбина на склоне 4 – пойма 5 – надпойменная терраса 6 – нижняя часть ровного склона 7 – другое (указать в примечании) <i>Характеристика элементарного ландшафта в окрестности точки отработки*</i> 1 – болото открытое или полукрытое 2 – заболоченный лес, луг (в том числе с кустарником) 3 – луг, степь (в том числе с редким кустарником) 4 – лес, тайга (в том числе вырубки) 5 – тундра (в том числе высокогорная) 6 – пустыня, полупустыня 7 – курумник, скальный склон без растительности 8 – территория производства горно-буровых или горных работ (с канавами, отвалами и т. п.) с возможностью техногенного загрязнения 9 – другие территории с возможностью техногенного загрязнения (участки с нарушенным растительным и почвенным покровом, техногенные ландшафты – разъяснить в примечании) 10 – другое (указать в примечании)	SS – донный осадок водотока (аллювиальные отложения) ST – донный осадок временного водотока, русло высохшее (пролювиальные отложения) SU – донный осадок временного водотока в широком логу (долине) без четко выраженного русла SL – донный осадок водоема (озерные или прибрежно-морские отложения) DR – другое (указать в примечании) <i>Преобладающий литологический состав пробы</i> 1 – глина 2 – суглинок 3 – супесь 4 – песок 5 – гравий или галечник с мелкообломочным заполняющим материалом <i>Цвет пробы</i> 1 – белесый 2 – серый 3 – желтый 4 – красноватый, оранжевый, рыжий, ржавый 5 – темно-коричневый 6 – темно-серый, черный 7 – зеленый, серо-зеленый 8 – голубой, серо-голубой 9 – другой (указать в примечании) <i>Содержание в пробе органического (гумус, ил, торф и т. п.) материала</i> 1 – отсутствует 2 – возможно присутствие небольшой примеси <i>Петрографический состав преобладающего каменного материала в рыхлых отложениях разрабатывается и применяется в соответствии с геологическим строением картируемых площадей</i> <i>Тип пробы:</i> отбор контрольной пробы указывается в примечании

* Содержание характеристики корректируется в соответствии с природными условиями картируемых площадей

Рекомендуемая форма журнала опробования рыхлых отложений при площадных ГХР
по вторичным ореолам рассеяния

№ п/п	Номер пробы	Координаты			Глубина отбора (м)	Характеристика ландшафта		Характеристика пробы					Примечание
		X	Y	Z (м)		геоморфологи- ческая характеристика	характеристика элементарного ландшафта	объект опробо- вания	литологи- ческий со- став пробы	цвет пробы	содержание в пробе орга- ногенного материала	петрографи- ческий состав преобладающего каменного материала	
1	3-001												5-001 – граниты
2	3-002												6-002 – кварц-сульфидная жила
3	4-003												
4	3-004												

Индекс в номере пробы: 3 – проба из рыхлых отложений при литохимической съемке по вторичным ореолам рассеяния (горизонты В, G, С и т. п.); 4 – проба из гумусового горизонта А₁ (МАПФ) при литохимической съемке по вторичным ореолам рассеяния. Попутно отбираемые при литохимической съемке пробы из потенциально рудоносных образований и геологических комплексов: 5 – сколовая, 6 – штуфная (фиксируются в примечании с краткой характеристикой состава).

Характеристика проб и элементарных ландшафтов при площадных ГХР по вторичным ореолам рассеяния

Геоморфологическая характеристика точки опробования	
1 – равнина, холмисто-увалистый пологий рельеф	
2 – ложбина, котловина	
3 – подножие склона средней крутизны или крутого склона пологий (5–10°)	
4 – склон средней крутизны (10–25°)	
5 – склон крутой (более 25°)	
6 – вершина холма, гряды	
7 – перевал на гряде	
8 – нижняя часть крупной эрозийной ложбины ($\geq 2 \text{ км}^2$)	
9 – нижняя часть мелкой эрозийной ложбины ($\leq 2 \text{ км}^2$) и ровного склона	
10 – другое (указать в примечании)	
Характеристика элементарного ландшафта точки опробования*	
1 – болото открытое или полукрытое	
2 – заболоченный лес, луг (в том числе с кустарником)	
3 – луг, степь (в том числе с редким кустарником)	
4 – лес, тайга (в том числе вырубки)	
5 – тундра (в том числе высокогорная)	
6 – пустыня, полупустыня	
7 – курумник, гольц без растительности	
8 – территория производства горно-буровых или горных работ (с канавами, отвалами и т. п.) с возможностью техногенного загрязнения	
9 – другие территории с возможностью техногенного загрязнения (участки с нарушенным растительным и почвенным покровом, техногенные ландшафты – разъяснить в примечании)	
10 – другое (указать в примечании)	
* Содержание характеристики корректируется в соответствии с природными условиями картируемых площадей	

Объект опробования	
A – гумусовый или гумусированный горизонт A ₁ почвы	
AP – пахотный слой почвы	
B – иллювиальный горизонт В почвы	
G – глеевый горизонт почвы (подторфяной горизонт на болотах)	
C – подстилающие почву рыхлые отложения (горизонт C)	
CD – подстилающие почву рыхлые отложения с дресвой выветрелых коренных пород	
D – рыхлая или дресвяная кора выветривания	
Преобладающий литологический состав пробы	
1 – ил, торф или другой органический материал	
2 – глина	
3 – суглинок	
4 – супесь	
5 – песок	
6 – гравий с мелкообломочным заполняющим материалом	
7 – дресва или щебень с мелкообломочным заполняющим материалом	
Цвет пробы	
1 – белесый	
2 – серый	
3 – желтый	
4 – красноватый, оранжевый, рыжий, ржавый	
5 – темно-коричневый	
6 – темно-серый, черный	
7 – зеленый, серо-зеленый	
8 – голубой, серо-голубой	
9 – другой (указать в примечании)	
Содержание в пробе органического (гумус, ил, торф и т. п.) материала	
1 – отсутствует	
2 – возможно присутствие небольшой примеси	
3 – полностью или почти полностью органический материал	
Петрографический состав преобладающего каменного материала в рыхлых отложениях разрабатывается и применяется в соответствии с геологическим строением картируемых площадей	
Тип пробы: отбор контрольной пробы указывается в примечании	

**Аналитические методы определения содержания химических элементов
в литохимических пробах и пределы их обнаружения (г/г)**

Элемент	Кларки			Нижние пределы обнаружения и определения элементов (для полуколичественных методов указан предел обнаружения, для количественных – предел определения)										
				ПКСА ³			ICP AES ³			ICP MS ³			ICP MS ⁴	
	земная кора ¹	граниты ¹	почвы ²	способом просьпки	способом испарения	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	МВИ № 001- ХМС- 2007	МВИ № 002- ХМС- 2009	
Ag	0,073	0,017	0,05	0,01	0,03		1	0,2		0,01	0,01	0,01	0,01	
Al ⁶	80700	78100	71000		100	100		2		100				200
As	1,8	1,6	6	2	100					5	1	0,1	1	5
Au	0,003	0,002	0,001								0,002			
B	12	15	20	5	5					1	10			
Ba	470	700	500	50	10	3	3			3	3		0,01	50
Be	2	3,5	0,3	0,5	0,5		0,5			0,5	0,5	0,1	0,01	
Bi	0,2	0,66	0,2	1	2		0,5	0,5			0,1	0,01	0,01	2
C ⁶	38100	16400	15000		100	100								100
Cd	0,16	0,17	0,35	0,5	3		0,5	0,5			0,1	0,005		
Ce	70	72	50	50	10				0,01	0,01	0,02		0,01	
Co	23	10	8	0,5	1		0,5	0,5	1	0,1	0,1	1	0,1	3
Cr	93	14	70	1	1	1	1		5	0,5		1	1	20
Cs	4	5	4						0,1	0,1	0,05			2
Cu	53	25	30	0,5	0,5		1	1	5	1	0,2	1	0,1	3
Dy	4,6	4,1	5						0,01	0,01				
Er	3,1	3,4	2						0,01	0,01				

¹ Воложкович, Гусев и др. [1999].

² Bowen [1979].

³ ЦАЛ ФГБУ «Институт Карпинского».

⁴ Химико-аналитический центр «Плазма», Томск (используется в лабораториях «Полос Золото», «Красцветмет», ИМГРЭ, ТГУ и др.).

⁵ ЦЛ и БГТЭ ФГБУ «ИМГРЭ».

⁶ Нижние пределы определения приведены для оксидной формы элементов.

Элемент	Кларки			Нижние пределы обнаружения и определения элементов (для полуколичественных методов указан предел обнаружения, для количественных – предел определения)												
				ПКСА ³			ICP AES ³			ICP MS ³			ICP MS ⁴		РФА ⁵	
				способом просыпки	способом испарения	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	МВИ № 001- ХМС- 2007	МВИ № 002- ХМС- 2009			
Eu	1,2	1,3	1							0,005	0,005					
Fe ⁶	53300	26100	40000		100	100				100	10		0,1	0,001		100
Ga	18	19	20	1	2		1			0,3	0,1	0,05				
Gd	7	7,5	4							0,01	0,01					
Ge	1,8	1,5	1	0,5	2	1	1			0,5	0,1	0,05				
Hf	4	7	6	–	10					0,1		0,02				2
Hg	0,04	0,07	0,06											0,01		
Ho	1,3	1,4	0,6							0,01	0,01					
In	0,07	0,05	1							0,01	0,01	0,005				
K ⁶	21300	32300	14000		800	100				10	10			0,001		100
La	30	35	40	10	10	10	10			0,01	0,01			0,01		
Li	25	80	25	10	10		1				0,1	0,1		0,1		
Lu	0,8	1,1	0,4							0,002	0,002					
Mg ⁶	22600	6630	5000		100	10				10	10			0,01		500
Mn ⁶	900	540	1000	1	50	10	5		5	10	5	5	10	1		100
Mo	1,2	1,5	1,2	0,5	0,5		0,5	0,5	1	1	0,6		0,1	0,1		2
Na ⁶			5000		100	100				10	10			0,001		500
Nb	16	20	10	5	80					0,1	0,1	0,05	0,1	0,1		2
Nd	30	31	35							0,01						
Ni	56	8	50	0,5	1		1	1	5	1	1	0,2	1	0,1		3
P ⁶	1000	870	800	200	800	10	10	10	100	100	10	10	100	10		100
Pb	12	20	12	1	2		1	1			0,1	0,2	0,1	0,01		2
Pr	7	9	7						0,01	0,01						
Rb	110	210	35						2	1		0,1				2
Re	0,0006	-	-							0,002	0,001			0,01		
S	330	300	700				100	100								
Sb	0,3	0,3	1	10	20		2	2	0,3	0,2	0,2	0,05	0,1	0,01		
Sc	17	7	7	2	1		0,2		0,2	0,2						
Se		0,5	0,4							0,5		0,1	0,1	1		3
Si ⁶	279900	328000	330000		100	100	4			100						200
Sn	2,3	5	4	0,5	2				0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,01		

Элемент	Кларки			Нижние пределы обнаружения и определения элементов (для полуколичественных методов указан предел обнаружения, для количественных – предел определения)											
				ПКСА ³			ICP AES ³			ICP MS ³			ICP MS ⁴		РФА ⁵
				способом просьпки	способом испарения	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	разложе- ние сплав- лением	полное кислотное вскрытие	разло- жение царской водкой	МВИ № 001- ХМС- 2007	МВИ № 002- ХМС- 2009		
Sr	земная кора ¹	граниты ¹	почвы ²	50	100	0,1	0,1	1							2
Ta	2,2	2,5	2	-	100		0,1						0,1	0,01	3
Tb	1	1,1	0,7								0,01	0,01			
Te	0,001	0,14	-		30						0,1	0,01	0,01	0,1	3
Th	12	21	9		100						0,01	0,01		0,01	2
Ti ⁶	4900	2000	5000	1	100	10					10			10	100
Tl	0,9	1,9	0,2		10		10	10			0,1	0,1			
Tm	0,48	0,7	0,6								0,005	0,005			
U	3	4,5	2	-	300		10	10	0,1	0,1	0,05			0,01	2
V	190	70	90	1	2	1	1		5	1	1		1		50
W	1,4	2	1,5	0,5	5				0,5	0,2			0,1	0,01	
Y	32	40	30	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,05			0,1	2
Yb	3	4	3	1	0,5				0,01	0,01					
Zn	68	58	90	10	10		1		5	1	1	1	1	0,1	3
Zr	160	200	400	20	10				0,2	0,1	0,5				2

¹ Воложкович, Гусев и др. [1999].

² Bowen [1979].

³ ЦАЛ ФГБУ «Институт Карпинского».

⁴ Химико-аналитический центр «Плазма», Томск (используется в лабораториях «Полос Золото», «Красцветмет», ИМГРЭ, ТГУ и др.).

⁵ ЦЛ и БГЭ ФГБУ «ИМГРЭ».

⁶ Нижние пределы определения приведены для оксидной формы элементов.

**Аналитические методы определения содержания благородных металлов
в литогеохимических пробах и пределы их обнаружения (г/г)**

Элемент	Нижние пределы определения элементов									
	ААА		спектрозо- лотометрия	ICP MS				ICP AES		
	полное кислотное вскрытие ⁷	разложение царской водкой ⁴		полное кислотное вскрытие ⁸	разложение царской водкой ⁴	пробирное концентриро- вание ⁹	МВИ ⁴ № 001-ХМС- 2007	МВИ ⁴ № 002-ХМС- 2009	пробирное концентриро- вание ¹⁰	полное кислотное вскрытие ¹¹
Au	0,004	0,002	0,002–0,005	0,002	0,002	0,005	0,001	0,01	0,02	0,02
Pt	0,02			0,002	0,002	0,005	0,01	0,1	0,02	0,01
Pd	0,02			0,002	0,002	0,005	0,01		0,02	0,10
Rh	0,02			0,002						0,01
Ru	0,015			0,002			0,001			0,01
Ir	0,02			0,002						0,01
Os										0,05

⁷ Инструкция НСАМ № 430-Х (ФГБУ «Институт Карпинского»).

⁸ МП № 22/2018 (ФГБУ «Институт Карпинского»).

⁹ Инструкция НСАМ № 513-МС (ЦНИГРИ).

¹⁰ Инструкция НСАМ № 393-Х (ЦНИГРИ).

¹¹ Инструкция НСАМ № 366-С (Норильский ГМК).

Характеристика химического состава рудных месторождений различной формационной принадлежности

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Железо					
Магматический		Fe	P (Cu, Pt)		Интрузивы габбро-пироксенит-дунитового, габбрового, габброанортозитового, габбро-диабазового состава
Карбонатитовый		Fe, Ti, P	Ce, Nb, Zr (TR, Th)		Щелочно-ультраосновные массивы центрального типа
Скарновый	Магнетитовая	Fe	Ti, Mn, Cu (Au, Pb, Zn, Mo, Co, Ni, Cr, V)	Известковые скарны	Образуются при внедрении гранитоидов повышенной основности или щелочности в карбонатные породы
	Магнетитовая	Fe	Mn, As, Cu, Ni, Zn, Co	Магнезиальные скарны	
	Скаполит-альбитовая и скаполит-альбит кварцевая	Fe	Cu, Zn	Интенсивный Cl-Na метасоматоз	
Вулканогенно-гидротермальный		Fe		Хлорит-серпентинит-карбонатный метасоматоз	Связаны с траппами
Вулканогенно-осадочный		Fe	As, Cu, Zn, Pb		Вулканогенные фации вулканогенно-осадочных формаций
Метаморфогенный		Fe		Метаморфизм фации зеленых сланцев	Вулканогенно-осадочные породы
Марганец					
Вулканогенно-осадочный		Mn, Fe	Ba (Zn)		Области интенсивного проявления подводного вулканизма. Диабаз-порфировые, андезитовые или кварц-кератофировые комплексы
Метаморфогенный		Mn, Fe, Ba	Ti (Pb, Cu, Zn)	Метаморфизм зеленосланцевой или гранулитовой фации	Связаны с гондитами или кодуритами

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Раннемагматический		Cr, Fe			Расслоенные гипербазитовые массивы в пироксенитах и анортозитах
Хром					
Позднемагматический		Cr	Ti, Cu, Fe, Ni		Ультраосновные массивы
Титан					
Магматический		Ti, Fe, (V)	Cu		Массивы анортозитовой формации
Метаморфизованные		Ti, Fe, (V)		Региональный метаморфизм	Первично-рудноносные породы
Метаморфический		Ti, Fe, (V)			Ортометаморфиты: кристаллические сланцы, гнейсы, эклогиты, амфиболиты
Мель					
Магматический		Cu, Ni, Co, Fe	Cr, Pb, Sb, As, Pt, Pd, Ba, Ag, Bi, Mo		Дифференцированные массивы базит-гипербазитового состава
Скарновый	Меденосные скарны	Cu, Fe	Pb, Zn, Mo, Au, Ag, Co, Bi, Sc	Известковые скарны	Штоки кварцевых диоритов, эффузивы среднего состава
Плутонотермальный гидротермальный	Меднопорфировый	Cu, Fe	Ag, Mo, As, Sb, Pb, Zn, Au	Вторичные кварциты, пропилиты, артиллизиты	Порфировые интрузивы умереннокислого состава
	Жильный	Cu, As	Mn, Fe, Mo, As, Sb, Zn, Pb, Au, Ag	Серицитизация, артиллизация	Приурочены к трещинным зонам скола, чаще в гранитоидах
Колчеданный	Колчеданная медная	Fe, Cu, Zn, Ba	As, Sb, Pb, Au, Ag, Co, Mo	Кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты	Приурочены к осадочно-вулканогенным толщам базальтоидных формаций Na серии

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Никель, кобальт					
Магматический		Ni, Co, Cu, Fe	Cr, Pb, Sb, As, Pt, Pd, Ba, Ag, Bi, Mo		Дифференцированные массивы базит-гипербазитового состава
Никель, кобальт					
Плутоногенный гидротермальный	Шмальтин-хлорит-никелин-аргентитовая	Ni, As, Co, Fe	Cu, Sb, Zn, Pb, Bi, Ag, Ba	Карбонатизация	Гранитоиды
	Арсенопирит-глаукофит-кобальтиновая	Ni, As, Co, Fe	Cu, Mo, U, Th, Y, Ti, Ag, Au	Серпентинизация	Гранитоиды
	Пятиэлементная Co-Ag-Ni-Mo-U (уранинит-арсенидная)	U, Ni, As, Co, Mo, Ag	Cu, Mo, Zn, Bi, Pb, Ba	Артилизация, хлоритизация, гематитизация, карбонатизация	Гранитоиды
Свинец, цинк					
Скарновый		Pb, Zn, Fe	Cu, Bi, As, Sb, Ni, Co, Mo, Sn, W	Известковые скарны	Гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры
Плутоногенный гидротермальный	Метасоматические пирит-галенит-сфалеритовой формации в карбонатных породах	Pb, Zn, Sn	Cu, Sb	Окварцевание, доломитизация	Гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры
	Жильные галенит-сфалеритовой формации	Pb, Zn	Mn, Fe, As, Cu	Окварцевание, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация	Гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры
Вулканогенно-гидротермальный		Pb, Zn, Fe, (Ba, Cu)	As, Sb, Ag	Окварцевание, серицитизация, карбонатизация	Вулканы андезит-дацитовый и дацит-липаритовой формации
Колчеданный	Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовая и галенит-сфалерит-пиритовая	Pb, Zn, Fe, Ba, (Cu)	As, Sb	Кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-карбонатные метасоматиты	Связаны с кислыми производными базальтоидного вулканизма

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Олово					
Петматитовый	Оловоносные (не имеет практического значения)	Sn, Li, Ta, Nb, Sc, Rb	W, Bi, B	Альбитизация, грейзенизация	Находятся преимущественно в докембрийских комплексах в краевых частях биотитовых или двуслюдяных гранитных массивов
Грейзеновый	Касситерит-кварцевая	Sn, W, Li, As (Ta, Nb)	Fe, Bi, Cu, Zn, Pb, B, Be	Грейзенизация, альбитизация, калишпатизация	Лейкократовые аляскитовые интрузии
Скарновый	Оловоносные	Sn, Fe, W, As, Cu, Zn, Pb	Bi, B	Известковистые скарны	Биотитовые граниты, гранитоиды повышенной основности
Плутонотермальный гидротермальный	Касситерит-силикатно-сульфидная и касситерит-сульфидная	Sn, Fe, B	W, As, Cu, Zn, Mn, Bi, Ag	Кварц-серцитовые и кварц-турмалиновые метасоматиты	Малые интрузивы гибридных гранитоидов повышенной основности. Характерно развитие даек лампрофиров, диоритовых порфиров
Вулканогенный гидротермальный	Касситерит-силикатно-сульфидная	Sn, Bi, Fe, B	Pb, Sb, As, W, Zn, Cu, Ag	Турмалинизация, серцитизация, окварцевание	Связаны с риолитами, дацитами
	Касситерит-сульфидная	Sn, Ag	As, Cu, Au, Pb, Bi, Sb	Хлоритизация, окварцевание, каолинизация	Связаны с плутоно-вулканическими комплексами кислого состава
	Серебро-оловянная	Sn, Ag, Pb, Zn, As, Cu, Au	Sb, Bi	Аргиллизация, окварцевание, каолинизация	Связаны с плутоно-вулканическими комплексами среднекислого состава
Вольфрам					
Грейзеновый		W, Mo, Sn	Fe, Bi, Cu, Zn, Be, Li, Pb, B	Грейзенизация	Лейкократовые граниты
Скарновый	Шеелитовая	W (Fe, Bi)	Bi, Cu, As, Au, Ag, Zn, Mo, Sn (P)	Известковые скарны	Гранитоиды
	Шеелит-молибденовая	W, Mo, Fe, Cu	Zn, Pb, As, Sb (Bi, Au, Ag)	Известковые скарны	Гранитоиды

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Плутоногенный гидротермальный	Кварц-гюбнеритовая и кварц-вольфрамитовая	W, Mn	Mo, Fe, Cu, Bi	Грейзенизация	Кулола гранитных массивов, штоки гранит- порфиров. Размещаются чаще в экзоконтактной зоне в роговиках
	Кварц-касситерит- вольфрамитовая	W, Sn	As, Sb, Cu, Fe		
	Кварц-швеелитовая	W, Fe	Mo, Cu, Pb, B	Турмалинизация, окварцева- ние, серицитизация, флюоритизация	
	Кварц-сульфидноволь- фрамит-гюбнеритовая	W, Mn, Sn, Fe, Cu, Pb, Zn			
	(Киноварь)-антимо- нит-швеелит-ферберит- овая	Fe, W (Hg)	As, Cu, Zn, Pb, Ba	Серицитизация, адуляриза- ция, аргиллизация	Андезит-дацит-липаритовая формация
Молибден					
Скарновый	Швеелит-молибдено- вая и халькопирит- магнетит-молиб- денитовая	W, Mo, Fe, Cu	Zn, Pb, As, Sb (Bi, Au, Ag)	Известковые скарны	Гранитоиды
Грейзеновый		Mo, W	Bi, Sn, Fe, Cu, Zn, Pb, B, Be	Грейзенизация	Аляскитовые граниты
Плутоногенный гидротермальный	Кварц-молибденитовая	Mo (W)	Sn, W, Fe, As, Bi, Cu, Zn, Pb, B, Sb	Полевошпатные, кварц-по- левошпатные метасоматиты	Биотит-роговообманковые и биотит-мусковитовые граниты
	Кварц-молибденит-сери- цитовая (молибден-пор- фировый)	Mo, Fe	Cu, As, Sb, Pb, Zn	Калишизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация	Приурочены к дайкам и штокам гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, сиенит-порфиров, монзонит-порфиров

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Плутоногенный гидротермальный	Кварц-молибденит- халькопирит- серицитовая (медно- молибденпорфировый)	Mo, Cu, Fe	Cu, As, Sb, Pb, Zn, Au, Ag, Bi, Co, Ni, W	Калишпатизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация	Приурочены к дайкам и штокам гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, сиенит-порфиров, монзонит-порфиров
Вулканогенный гидротермальный	Уранинит-молибдени- товая	U, Mo	Fe, As, Cu, Sb, B, Ti	Березитизация	Штоки, некки, купола, толщи дацитового, трахиандезитового, фельзитового составов
Литий					
Петматитовый	Литиеносные	Li, Sn, Ta, Be, Cs		Сподоуменные пегматиты	Приурочены к массивам основных пород
Бериллий					
Петматитовый	Бериллиеносные	Be	B, Na, Nb, Zr (U, Ce)		Связь не отмечается
Грейзеновый	Стандартный	Be, W	Sn, Bi, Mo	Альбитизация, грейзенизация	Крупные массивы формации лейкогранитов и аляскистов
	Субщелочной	Be	Sn, W, Li, Cs, Rb	Грейзенизация	Малые интрузии субщелочных гранитов
Полвошпатово- метасоматический	Бериллиеносные	Be	Zr, Sn, Zn, Th	Кварц-микроклиновые, кварц-альбит-микроклиновые	Не выявлена (зоны древних глубинных разломов)
Плутоногенный гидротермальный	Берграндит-фена- кит-флюоритовая	Be	Th, Ce, Pm	Флюоритизация	Мелкие купола альбитизированных граносиени- тов, кварцевых сиенитов, щелочных гранитов
Вулканогенный гидротермальный		Be	?	?	Располагается среди серицитизированных и окварцованных риолитовых туфов вблизи даек и штоков риолитов

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Ниобий, тантал					
Магматический		Nb, Ta, TR _{Ce} , Ti	P, Mn		Стратифицированные массивы агаитовых нефелиновых сиенитов
Петматитовый	Тантал-ниобиевая	Mn, Ta, Nb, Li, Be, B, Sn, P, Ga	Bi, Sb	Микролин-сподумен- (петалит)-альбитовые пегматиты	?
Альбититовый		Ta, Nb	Zr, TR _{Ce} , Ti		Нефелиновые сиениты
		Ta, Nb, Li, Sn, Ti, W, Zn, TR			Связаны с многофазными гранитовыми комплексами
Полевощапатово- метасоматический		Ta, Nb, Zr,	TR _Y , Th, U, Mo (Li, Sn, Be)	Калишпатизация, альбитизация	Связаны с региональными разломами
Карбонатитовый		Nb, Ta, (Zr)	Fe, Ni, Zr, P, TR _{Ce} , U, Th, Sr, Ba		Массивы ультраосновных щелочных пород
TR и иттрий					
Скарновый		Ce, Y, La		Известковые скарны	Щелочные граниты или сиениты
Петматитовый		TR _{Ce} , Zr	TR _Y , P, Th, U		
Альбититовый		TR _{Ce}	Zr, Nb, Th, U		Нефелиновые сиениты
		TR, Ta, Nb	Sn, W, Mo, Zr		Субщелочные граниты
Полевощапатово- метасоматический		Ta, Nb, Zr, TR	Th, U, Mo (Li, Sn, Be)	Калишпатизация, альбитизация	Связаны с региональными разломами
Карбонатитовый		Nb, Ta, TR _{Ce} (Zr)	Fe, Ni, Zr, P, U, Th, Sr, Ba		Массивы ультраосновных щелочных пород

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Плутоногенный гидротермальный	Карбонат-барит-бастнезитовая	Fe, Ba, TR _{Ce} , Sr	P, Pb, Th	Фенитизация	Существенно калиевые щелочные породы габброидного ряда (шонкиниты)
	Флюорит-барит-железурудная	Fe, Ba, Sr, TR _{Ce} , Ti, Nb, P, F		Эгиринизация	Биотитовые граниты, граносиениты, сиениты
	Редкоземельно-полиметаллическая	TR _{Ce} , TR _Y , P, Zr, Th, Pb, Fe	Mo	Вторичные кварциты, кварц-хлорит-серицитовые породы	Субщелочные граниты
Уран					
Альбититовый	Урановые	Zr, P, U, Ti, Fe	Cu, Pb	Альбититы	Известны среди метаморфических комплексов кристаллических пород докембрия; гранитоиды
Плутоногенный гидротермальный	Уранинит-сульфидная	U, Fe	Cu, Mo, Bi, Zn, Pb, As, Sb, Ba	Аргиллизация	Гранитоиды
	Уранинит-арсенидная (пятиэлементная Co-Ag-Ni-Mo-U)	U, Ni, As, Co, Bi, Ag	Cu, Mo, Zn, Pb, Ba	Аргиллизация, хлоритизация, гематитизация, карбонатизация	Гранитоиды
Вулканогенный гидротермальный	Уран-титановая	U, Th, Y, Ti, Fe	Cu, Zn, Pb, As, Sb, Ba	Калишпатизация, хлоритизация, серицитизация, карбонатизация	Андезит-липарит-трахитовая формация
	Уранинит-галенитовая	U, Pb, Ba	Mo, Zn, Cu, As, Sb	Альбитизация, окварцевание	Андезит-липарит-трахитовая формация
	Уранинит-молибденитовая	U, Mo	Fe, As, Cu, Sb, B, Ti	Березитизация	Штоки, некки, купола толщ дацитового, трахиандезитового, фельзитового составов
	Уранинит-флюоритовая	U	Be, Fe, Mo, Zn, Pb, As		Андезит-базальты-дациты
Цирконий, гафний					
Альбититовый		Ta, Nb	Zr, TR _{Ce} , Ti		Нефелиновые сиениты

Пример выделения обобщенных минералого-геохимических характеристик золото-углеродистой (черносланцевой) формации
золото-платинометалльно-пирит-арсенопиритового типа

№ п/п	Рудопроявления (количество проб в выборке)	Ранжированный ряд элементов (K _K)	Коэффициенты формационной принадлежности										Сульфидность (%)	Вмещающие геологические формации и образования – проявление магматизма (метасоматические изменения)	Минеральный состав продуктивных ассоциаций			Пробность золота (средняя)	Типоморфная рудная ассоциация	
			Au/Ag	Pb/As	As/W	As/Bi	Sn/Bi	Sb/W	Ag/Sn	Ag/Bi	SS (%)	PbCu/ MoAs			рудные минералы		нерудные минералы		минеральная	геохи- мическая
															главные	второсте- пенные (редкие)				
1	Маломырское (ДВ) (218)	Au ₂₄₀₀ As ₁₄₇₅ Sb ₈₅ Ag ₅₈ W ₄₇ Pt ₂₅ Cu _{3,6} Pb _{3,1} Sn _{1,7} Mo _{1,4} Zn, Bi _{1,0} Sn _{0,5}	0,7	0,02	63	4897	0,36	0,25	0,2	0,4	0,31	1,1	Малосульфидный (1–3 %)	Алевролиты, черные сланцы – дай- ки андезитов, андезитовых порфи- ритов, гранодиорит-порфиров (C ₂) (березитизация)	Au, plt, pt, arspt	gal, vlf, chee, sfl, chlpt, pirr	q-ad (cal, ser)	700–820	Золото- платино- пирит-арсено- пиритовая	AuPtAs
3	Харгинское (ДВ) (8)	Au ₅₇₅₁₀ As ₁₆₁₂ Ag ₄₄₈ Sb ₁₈₁ Pb ₂₇ Bi ₂₁ Zn ₇ Mo ₃ W ₁ Cu _{0,5} Sn _{0,3} (по Pt, Pd нет данных)	2,1	0,1	2150	201	0,06	24	26	1,6	0,424	0,5	Малосульфидный	Графитовые сланцы, метапесчани- ки – дайки кварцевых порфиров и диоритовых порфиров (окварцева- ние, сульфидизация, альбитизация)	Au, arspt	pt (gal, chee, sfl, chlpt, pirr, kin, ant)	q	850–910	Золото-арсено- пиритовая	AuAs (AgSb)
4	Светлое (СВ)	Au ₆₅₅₉₄ Ag ₃₁₆ As ₂₅₆ Cu _{2,3} Sb _{2,2} Sn _{1,7} Zn _{1,4} Pb _{1,3} Mo _{1,1} Bi ₁ W ₁ (по Pt, Pd нет данных)	3,4	0,05	102	641	6,3	0,08	3,7	23	0,067	2,1	Малосульфидный	Песчаники, углеродистые глини- стые сланцы, алевролиты – дайки порфиров	Au, arspt, gal, chee	sfl, chlpt, pirr	q	н. д.	Золото-арсено- пиритовая	AuAs (Ag)
5	Сагурское (ДВ) (37)	Au ₁₉₈₇ As ₅₂₅ W ₁₀₅ Ag ₈ Cu _{2,4} Mo _{2,3} Pb _{1,8} Zn _{1,1} Sn _{0,5} (по Pt, Pd нет данных)	4,3	0,03	10	1312	1,8	0,0019	0,3	0,6	0,120	0,7	Малосульфидный	Кварцево-слюдистые графитизиро- ванные сланцы – интрузии грани- тоидов (Pz), дайки фельзитов (K ₂) (альбитизация, адуляризация)	Au, arspt (до 1 %), pt	sfl, gal, chlpt, pirr (shee)	q (ser, chl)	688–773 (742)	Золото- пирит-арсено- пиритовая	AuAs (W)
6	Унгличиканское 2 (ДВ) (67)	Au ₂₈₁₇ As ₅₄₃ Sb ₂₂₈ W ₁₉ Mo ₅ Ag ₄ Cu _{3,7} Pb _{2,7} Sn _{1,1} Zn _{0,9} (по Pt, Pd нет данных)	11	0,05	57	1357	4,1	2,4	0,7	0,3	0,132	0,7	Малосульфидный	Графитистые кварц-слюдистые слан- цы (Pz) – пострудные дайки основ- ного и среднего составов (K ₁) (поле- вошпатизация, пропилитизация)	Au, arspt	gal, pt (chee, sfl, ant)	q, ad	850–910	Золото-арсено- пиритовая	AuAs (Sb)
7	Наталкинское (СВ) (10)	Au ₄₃₄₀ As ₂₂₉₄ Pt ₄₇ Ag ₂₈ W ₈ Sb ₇ Te _{5,2} Mo _{5,1} Pb _{1,5} Pd _{1,1} Mn _{1,1} Se ₁ (Cr, Ti) _{0,9} V _{0,7} Ni, Cu _{0,6} (Co, Zn) _{0,5} Bi _{0,5} U _{0,2} Sn _{0,1} Th _{0,05}	7,1	0,01	382	20854	1,1	0,12	4,0	7,7	0,468	0,8	Малосульфидный (1–3 %)	Углеродистые глинистые сланцы, алевролиты – дайки диоритовых порфиров (окварцевание, берези- тизация)	Au, arspt, pt, plt	gal, sfl, chlpt, ant, pirr, chee, b. r.	q, k. p. ch, carb	495–890	Золото-арсено- пиритовая	AuPtAs
8	Ветренское (СВ) (10)	Au ₃₆₅₀ As ₁₅₀₂ Sb ₂₇ Te ₁₁ Mo _{4,2} W _{3,8} Ag _{3,5} Ni _{1,7} Mn _{1,1} Co _{0,9} (Cr, Cu) _{0,8} (Pb, Ti, V) _{0,7} Zn _{0,5} Bi _{0,5} Se _{0,4} Sn _{0,1} U _{0,08} Th _{0,05} (по Pt, Pd нет данных)	16	0,01	535	13043	2,1	1,0	0,5	1,0	0,308	0,01	Малосульфидный 1 %	Углеродистые глинистые сланцы, алевролиты, песчаники – дайки диоритовых порфиров (окварце- вание, высокоуглеродистые кар- бонатные метасоматиты)	Au, ar- spt, pt	gal, sfl, shee	q, carb	н. д.	Золото-арсено- пиритовая	AuAs
9	Павлик (СВ) (10)	Au ₅₉₀₀ As ₄₇₉₄ Ag ₃₀ Pt ₁₇ Sb ₁₆ W ₁₁ Mo _{5,1} Pb _{1,8} Mn _{1,3} Pd _{1,1} Ni _{0,9} (Cr, Ti) _{0,7} (Cu, V) _{0,6} (Co, Bi) _{0,6} Zn, Te, Se _{0,3} (Sn, Th, U) _{0,2} (по Pt, Pd нет данных)	0,41	0,01	564	31953	1,7	0,8	3,6	6,0	1,274	1,3	Малосульфидный 1,5–5,0 %	Углеродистые глинистые сланцы, алевролиты – дайки диоритовых порфиров (окварцевание, берези- тизация, пропилитизация)	Au, pt, arspt	gal, sfl, chlpt, pirr, rut	q, k. p. ch, carb, chl	н. д.	Золото- пирит-арсено- пиритовая	AuAs
10	Мурунтау (Средняя Азия)	Au ₃₂₈₀ As ₂₈₀₀ Pt ₂₇₀ Pd ₂₅₀ Ag ₉₂ Bi ₃₇ W ₂₂ Cu _{3,5} (Mo, Pb, Zn, Ni, Co)	0,6		170	2162				2,1	0,630		Малосульфидный	Углеродистые глинистые сланцы, алевролиты, песчаники (кварц-хлор- ит-альбитовые, кварц-серицито- вые, аргиллизиты)	Au, arspt, pt, plt	gal, sfl, chlpt, chee, mo, b. r., bi	q, k. p. ch, carb	285–875	Золото- пирит-арсено- пиритовая	AuPtAs
11	Ургалик (Зармитанская рудная зона, Средняя Азия)	Au ₄₉₀₅₇ As ₁₁₈₁₂ Sb ₆₃₂ Ag ₁₁₈ W ₁₀₄ Bi ₉₂ Pb ₂₂ Te ₁₅ Se ₈ Mo _{4,2} Zn _{1,9} (Sn, Ti) _{1,6} Ba _{1,1} (V, Cr, Co) _{0,8} Hg _{0,7} Ni _{0,6} (Mn, Cu) _{0,5} (по Pt, Pd нет данных)	6,9	0,02	151	3668	0,8	0,8	1,7	1,1	2,511	0,05	Малосульфидный	Ороговикованные сланцы, алевро- литы–граносиениты (гумбенты, березиты)	Au, ar- spt, pt	gal, sfl, chee, mo, bi	q	н. д.	Золото-арсено- пиритовая	AuAs (SbW)
	Обобщенные данные по формации	Au ₁₉₅₂ As ₃₀₁₈ Ag ₂₁₂ Sb ₁₇₁ Pt ₄₈ Pd ₁₆₅ W ₂₄ Pb ₁₀ Te _{7,8} Pd _{6,6} Mo _{3,4} Se _{2,4} Zn _{1,8} Cu _{1,6} Mn _{1,1} Ti _{1,0} Ni _{0,9} (Sn, Cr) _{0,8} V _{0,7} Co _{0,6} U _{0,2} Th _{0,1}	3,5 (0,1 – 20)	0,02 (0,01 – 0,1)	490 (10 – 2500)	6915 (200 – 40000)	1,0 (0,05 – 30)	0,8 (0,05 – 30)	5,8 (0,3 – 100)	3,2 (0,2–200)	0,384 (0,1 – 3,0)	0,4 (0,01 – 2)	Малосульфидный	Алевролиты, черные сланцы графито- вые, сланцы углеродистые глини- стые, сланцы кварцево-слюдистые, графитизированные сланцы	Au, arspt, pt, plt	gal, sfl, chlpt, ant, pirr, chee, b. r., mo	Q (ser, chl)	650–910	Золото- (пирит)-арсено- но-пиритовая	AuAsPt (AgSbW)
Примечание. Au – самородное золото, plt – платина, pt – пирит, arspt – арсенопирит, gal – галенит, wlf – вольфрамит, chee – шеелит, sfl – сфалерит, chlpt – халькопирит, pirr – пирротин, q – кварц, ab – альбит, cal – кальцит, b. r. – блеклая руда, adl – адуляр, ser – серицит, chl – хлорит, kin – киноварь, ant – антимонит, carb – карбонат, rut – рутил, mo – молибденит, bi – висмутин, k. p. ch – калиевый полевой шпат; н. д. – нет данных, ДВ – Дальний Восток, СВ – Северо-Восток. Красным выделены типоморфные элементы и минералы. Голубой заливкой выделены значения коэффициентов формационной принадлежности, индикаторных для выделения проявлений золото-углеродистой (черносланцевой) формации.																				

Геохимическая систематизация золото-, серебросодержащих проявлений¹

Группа	Формация	Геохимический тип ²	Минеральный тип	Количество проявлений	Формация, тип по предшественникам	Геохимический спектр (индексы – значения К _к) ³	Примеры проявлений
Гипотермальные	Золото-кварцевая мало-, умеренносульфидная	AuAs	Золото-арсенопиритовый	13	Золото-кварцевая, арсено-пиритовый	Au ₃₉₃₁ As ₂₂₈₂ Ag ₁₀₀ Sb ₂₅ W _{8,9} Ni _{3,4} Mo _{5,2} Pb _{4,1} Co _{3,3} Ni _{3,2} Cu _{2,7} Bi _{1,4} Zn _{1,0} Ba _{0,8} Sn _{0,7} V _{0,5} Cr _{0,4} Mn _{0,3} Ti _{0,2}	Тарнахское, Кварцитовое, Дактуй, Верхние Лужки, Ингаглинское, Афанасьевское, Кербинское, Толоканское, Счастливое (Приамурье); Школьное 1, Утинское (СВ); Каральвеем (Чукотка), Алатту (Карелия)
		AuWAs	Золото-шеелит-арсенопиритовый	4	Золото-вольфрамовая	Au ₂₇₉₃ W ₂₀₁₀ As ₁₃₂₀ Sb ₈₉₄ Mo _{6,0} Cu _{4,6} Ag _{4,4} Pb _{2,3} Zn _{1,0} Sn _{1,0}	Унгличиканское 1 (Приамурье); Малиновское, Незаметное, Порожистое (Приморье)
		AuFe	Золото-пиритовый	16	Золото-кварцевая, пиритовый	Au ₄₀₀₄ Ag ₆₂ Bi _{4,1} As _{3,8} Cu _{3,5} Pb _{3,0} Ni _{3,3} Cu _{3,5} Mo _{3,4} Sb _{3,2} Pb, W _{3,0} Co _{2,5} Ni, Cr _{2,2} Ti _{2,1} V _{1,2} (Mn, Ba) _{0,9} (Sn, Zn) _{0,8} (+ Se, Te, Pt, Pd)	Човдарское (Азербайджан); Комсомольское (Кузнецкий Алатау); Колчеданный утес, Скалистое, Снежинка, Светлое, Сивагли, Ерничное, Обманчивое, ручья Большого (Приамурье); Чепак, Скальное (СВ), Сухой лог (Сибирь), Хорингольское, Сагангольское, Обогольское (Сибирь)
		AuCuFe	Золото-халькопирит-пиритовый	4	Золото-кварцевая в зеленокаменных поясах	Au ₂₉₈₃ Cu ₃₆₈ Te ₄₀ Ag ₃₃ Se ₁₉ As ₁₁ Co _{8,5} Ni _{7,9} Mo _{4,3} (Cr, Sn, Bi) ₁ Bi ₁ (Mn, Sb, Zn, V, W) _{0,7} Pb _{0,5} (Ti, Ba, Hg) _{0,2}	Майское 1, Алим-Курсуярви, Лобаш 1 (Карелия); Райтеварри (Норвегия)
		AuFeCu[CoNi]	Золото-халькопирит-пентлагдитовый	2	Золото-кварцевая в зеленокаменных поясах	Au ₃₂₄₅ As ₃₃₃ Cu ₆₂ Ni ₅₀ Co ₂₀ Bi _{5,8} W _{5,2} Ag _{4,0} Cr _{2,5} Mo _{1,7} Sn _{1,2} Mn _{0,9} Zn _{0,7} Pb _{0,5}	Лисьегорское (Тикша) (Карелия), Сааттопора (Финляндия)
	Золото-углеродистая мало-, умеренносульфидная	AuPtFeAs	Золото-платинометалльно-пирит-арсенопиритовый	13	Золото-черносланцевая (углеродистая)	Au ₉₀₀₄ As ₁₈₈₃ Sb ₈₈ Ag ₄₀ W ₁₄ Pt ₁₃ Te _{6,2} Pd _{4,2} Mo _{3,5} Pb _{2,6} Se _{2,4} (Co, Ni, Bi) _{1,8} Cu _{1,5} (Hg, Mn) _{1,4} (Ti, Zn) _{1,3} (Ba, Cr) _{0,8} (V, Sn) _{0,6} (U, Th) _{0,1}	Наталкинское, Ветренское, Павлик, Светлое (СВ); Мурунтау, Урталик (Средняя Азия); Олимпиада 1 (Сибирь); Сагурское, Унгличиканское 2, Маломырское, Токурское, Харгинское (Приамурье), Майское 3 (Чукотка)
	Золото-серебро-редкометаллическая	AuBiAsFe	Золото-висмутин-арсенопирит-пиритовый	7	Золото-редкометаллическая	Au ₁₃₁₃₈ Bi ₉₆₉ As ₈₉₈ Te ₄₀₁ Ag ₁₂₉ Sb ₂₁ Se _{8,9} Cu _{2,8} Mo _{2,4} W _{2,0} Sn ₂ Pb _{1,7} (Cr, Co) _{1,6} Zn _{1,1} (Ti, V) ₁ Mn _{0,3} (Ba, U, Th) _{0,2} (+Se)	Малыш, Валун, Халали, Школьное 2, Чепак (СВ); Кировское 3 (Приамурье); Туманное (Саяны)
		AgBiPm	Серебро-висмутин-галенит-сфалеритовый	3	Серебро-редкометаллическая(?)	Ag ₆₈₅₆ Bi ₄₇₆ Pb ₁₅₃ Cu ₈₀ Au ₇₀ Zn ₂₇ Mo ₁₆ Sn ₁₀ As _{8,3} Sb _{1,7} W ₁	Хаканзя, Гок, Валун 2 (СВ)
	Золото-сульфидно-кварцевая	AuAgAsPm	Золото-арсенопирит-галенит-сфалеритовый	7	Золото-сульфидно-кварцевая	Au ₆₀₂₁ As ₂₅₂₈ Ag ₇₁₄ Pb ₈₃ Bi ₃₄ Cu ₂₆ Zn ₂₃ Sb _{5,6} Mo _{3,0} Sn _{2,8} W _{1,6} (+ Te, Se)	Ясненское (Приамурье); Сармич (Узбекистан); Тенгкели, Осадочный, Ардок, Березовый, Метелица (СВ)
	Золото-урановая	AuUVFe	Золото-браннерит-пиритовый	2	Золото-урановая	Au ₃₂₇₅ U ₂₉₄ As ₁₁₇ Sb ₄₈ Ag ₁₉ V ₁₇ W _{8,7} Ti _{6,0} Pb _{5,0} (Hg, P) ₃ (Cu, Cr, Bi) _{2,8} (Mo, Cr) _{2,4} Co _{1,8} (Ni, Th) _{1,5} (Se, Sn) _{1,3} (Ba, Mn, Zn) _{0,4}	Элькон (Алдан); Лагерное (Карелия)
		AuTeSeUMo	Золото-селенидно-теллуридно-уранинит-молибденитовый	4	Золото-селенидно-теллуридная в щелочных метасоматитах	Mo ₂₅₆₀ U ₃₉₀ Te ₃₄₆ Se ₂₀₁ Au ₁₉₅ (Ag, Ni) ₁₁ W _{7,1} V _{5,4} Cu _{4,7} Cr _{4,6} Ti _{4,5} Mn _{2,8} Co _{2,7} Zn _{0,9} Sn _{0,6} Pb _{0,4} Sr _{0,3} Li, Be _{0,2} Ba _{0,04} (As, Sb, Pt, Pd, Th, Hg – не анализировались)	Озерное (Карелия), месторождения группы Ромпас (Финляндия)
	Золото-сурьмяная	AuSbAs	Золото-антимонит-арсенопиритовый	9	Золото-сурьмяная	Sb ₈₉₈₉₂ Au ₁₃₁₄ As ₁₀₄₁ Ag ₂₀ Ni _{6,4} Mo _{5,4} Co ₃ W _{1,9} (Cr, Fe, P, Pb, Cu) _{1,5} (Zn, Sn) _{1,2} (Bi, U, Th) _{0,5} (+Se, Pt)	Сарылахское, Сентачан, Кючнос (Якутия); Ленинское, Богучанское, Солокачинское (Приамурье), Майское 1 (Чукотка); Туманное 1 (Саяны), Олимпиада 2 (Сибирь)
	Золото-скарновая	AuFeAsPm	Золото-тетрадимит-пирит-арсенопиритовый	2	Золото-скарновая	Au ₂₉₇₆ As ₁₄₇₂ Bi ₅₀₇ Sb ₁₃₆ Ag ₄₁ Cu ₃₃ Zn ₁₀ Sn _{5,5} Pb _{3,6}	Андрюшкинское (Восточное Забайкалье); Орел (Приамурье)
	Золото-медно-молибден-порфировая	AuFeCuMo	Золото-пирит-халькопирит-молибденитовый	4	Золото-медно-молибден-порфировая	Au ₁₂₀₇ Cu ₁₁₅ Ag ₅₈ Sb ₅₅ Mo ₂₆ As ₂₀ Bi ₁₂ (Pb, Zn, Sn) ₅ (W, Ti) _{3,1} (V, Ba) ₃ Mn _{2,1} (Ni, Co) _{1,4} Cr _{0,5} (+Pt, Pd, Te, Se)	Березняковское (Урал); Икан (Боргуликанское) (Приамурье); Находкинское (Чукотка); Рябиновое (Алдан)
	Золото-сульфидная	Au-полиметалльный	Золото-полисульфидный	2	Золото-сульфидная	As ₂₃₄₃₆ Au ₇₆₆₁ Sb ₆₉₁₆ Bi ₁₄₅₀ Te ₁₄₀₀ Ag ₁₃₆₂ Pb ₄₈₃ Cu ₄₃₃ Zn ₄₅ Co ₁₉ Cr _{1,9} Mo _{1,1} Sn ₁ Ni _{0,9} W _{0,8}	Нони, Кировское 1 (Приамурье)
Мезо-, эпitherмальные	Золото-ртуть-сурьмяная	AuFeHgSbAs	Золото-пирит-антимонит-киноварный	9	Золото-ртутная (карлинский тип)	Au ₅₇₈₈ Sb ₄₄₉₉ As ₁₈₃₃ Hg ₁₉₉ Tl ₇₇ Ag ₅₅ (W, Mo) ₁₀ Bi _{3,8} Sn _{2,6} Cu _{1,2} Zn _{0,6} Pb _{0,4} Ba _{0,3} (+Pt, Pd, Te, Se)	Карлин, Кортц, Гетчелл и др. (Невада), Алшар (Македония), Куранахское (Якутия), Кулдама, Джалама, Артыу-Булак, Сары-Ункур (Средняя Азия)
	Золото-серебряная (золотая) сульфидная	AuAgSbAsPm	Золото-сульфосольно-полисульфидный	6	Золото-серебро-полиметаллическая	Au ₆₁₈₀ Sb ₂₃₆₄ As ₉₂₈ Ag ₈₉₃ Te ₂₃₄ Pb ₁₀₅ Zn ₃₄ Cu ₂₁ Se ₂₀ Mo ₁₂ W _{8,5} Sn _{5,1} Bi _{4,1} Ni _{2,6} (Mn, Co) _{1,3} (Cr, V, P) _{0,7} (Ba, U, Th) _{0,4}	Пионерское 2 (Приамурье); Школьное 3 (СВ), Морощка, Сентябрьское 1, Майское 2 (Чукотка); Мутновское 2 (Камчатка)
		AuAgCuFe	Золото-халькопирит-пиритовый	2	Золото-медно-колчеданный тип	Au ₁₈₃₄₀ Cu ₁₁₅₁ Co ₇₈ Ni ₇₂ Ag ₅₂ Cr ₄₇ Bi ₃₄ Sn ₂₅ Zn ₁₂ W ₁₀ Pb _{7,5} V _{7,2} Mo _{7,2} Ba ₅ Sb ₁ (+Te)	Карамурун (Узбекистан); Каменное 2 (Забайкалье)
		Ag-полиметалльный	Серебро-аргентит-полисульфидный	2	Золото-аргентитовый	Ag ₁₇₅₉₃ Sb ₆₅₅₇ As ₃₄₃₀ Bi ₂₄₈₀ Au ₁₈₉₃ Te ₁₇₅₀ Cu ₃₂₇ Pb ₂₉₄ (Mn, W) ₉₂ Sn ₈₀ Ba ₆₆ Zn ₃₆ Hg ₂₆ Mo ₁₈	Дукат (СВ); Каменное 4 (Забайкалье)
		AuAgPm	Золото-галенит-сфалеритовый	2	Золото-полиметаллическая	Au ₃₈₃₁₈ Pb ₈₆₇ Ag ₆₁₆ Zn ₁₈₂ Te ₁₀₁ Sb ₉₉ Cu ₈₂ As ₅₃ Se ₃₄ Bi, Mo _{4,1} W _{2,7} (Co, V) _{1,5} (Mn, Cr) _{1,2} (Sn, Ni, Ti, P) _{0,5} (U, Th) _{0,2} (+Hg)	Березитовое (Приамурье); Сентябрьское 3 (Чукотка)
		AgPm	Серебро-галенит-сфалеритовый	10	Серебро-полиметаллическая	Ag ₅₂₂₈ Au ₃₃₉ Pb ₆₈ As ₃₆ Zn ₂₂ Cu ₂₀ Bi ₁₁ Sn _{6,8} Sb _{4,9} Mo _{4,6} Hg _{1,5} W _{1,2}	Гольцовое, Смелый, Гайчан, Улахан, Чингичек (СВ); Озерное, Позднее, Чистое, Шах (Чукотка); Сорукан 2 (Приамурье)

¹ Систематизация не учитывает всего многообразия типов золото-, серебросодержащих проявлений и должна уточняться и пополняться.

² Обозначение геохимического типа производится с учетом уровня содержаний типоморфных элементов-спутников. Так, для умеренносульфидных и сульфидных проявлений, для которых главные элементы-спутники по кларку концентрации сопоставимы с золотом и серебром, они непосредственно фигурируют в названии типа. Например, AgBiPm – серебро-висмут-полиметаллический тип и т. д. Для убогосульфидных и некоторых малосульфидных проявлений по содержанию эти элементы резко отличаются от главных компонентов руд (Au и Ag), отражая их геохимическую специализацию. В этом варианте типоморфные элементы заключены в квадратные скобки и обозначаются словом «специализация». Например, AuAg[MoAs] – золото-серебряный тип молибден-мышьяковой специализации. Золото и серебро в круглых скобках обозначает повышенные содержания этих элементов в месторождениях других металлов.

³ Жирным шрифтом выделены элементы, для которых К_к > 100.

Группа	Формация	Геохимический тип ²	Минеральный тип	Количество проявлений	Формация, тип по предшественникам	Геохимический спектр (индексы – значения К _к) ³	Примеры проявлений
Мезо-, эпитеp-мальные	Золото-теллуридно-селенидная сульфидная (малосульфидная)	AuAgTePm	Золото-тетрадимит-галенит-сфалеритовый	5	Золото-теллуридный тип	Au ₁₉₈₇₈ Te ₇₅₈₉ Ag ₈₉₅ Sb ₂₂₄ Se ₁₆₆ As ₁₃₉ Pb ₁₂₄ Cu ₉₁ Zn ₆₇ Fe _{3,2} (Co, Ni, V) _{0,5} Cr _{0,4} (+ Hg, Mn, Ba)	Агинское (Камчатка), Сентябрьское 2 (Чукотка), Каменное 3 (Забайкалье); Коневинское, Обогольское (Саяны)
		AuTeFeSbAs	Золото-теллуридно-пиритовый	5	Золото-теллуридный тип	Au ₃₆₆₁₆ Te ₉₅₁₇ Sb ₁₄₉₆ As ₁₃₆₃ Se ₇₈₆ Tl ₂₉₁ Ag ₂₃₁ V ₁₂₇ Bi ₃₄ Pb ₁₄ Cu ₁₁ Mo ₁₀ (Zn, W, Ni) ₄ Fe _{3,1} U _{1,8} (Co, Cr, Sn, Ti, Ba) _{1,2} P _{0,8} (Mn, Th) _{0,3}	Самолазовское 2 (Алдан), Кировское 2 (Приамурье); Таинское, Хорингольское, Сагангольское (Саяны)
		AuAgSePm	Золото-селенидно-галенит-сфалеритовый	1	Золото-селенидный тип	Au ₈₀₀₀ Se ₁₈₅₅ Ag ₆₉₀ Pb ₃₂₀ Zn ₁₇₅ Cu ₁₁₀ As ₄₇ Hg ₁₅ Sb ₉ Bi _{2,5} Mo _{1,7} Sn ₁	Аметистовое (Камчатка)
	Золото-серебряная (золотая) убого-, малосульфидная	AuAgFe[SbAs]	Золото-пирит-сульфосольный	10	Золото-серебряная, золото-пирит-сульфосольный	Au ₇₅₀₀ Ag ₃₆₀ Sb ₃₀₉ As ₈₄ Se ₈₇ Te ₆₆ Pb _{3,6} Mo _{3,4} Cu _{3,2} W _{2,7} Zn _{1,8} (Mn, P) _{1,2} (Sn, V) _{0,6} (Ni, Ti, U) _{0,4} Ba _{0,2}	Покровское, Буринда (Приамурье); Кубака, Купол, Двойное, Роговик 1, Дальнее, Инкан (СВ); Мутновское 1 (Камчатка); Самолазовское (Алдан)
		AgFe[SbAs]	Серебро-пирит-сульфосольный	1	Золото-серебряная	Ag ₁₄₅₀₀ Se ₃₇₁ As ₁₃₄ Sb ₁₁₅ Au ₆₀ Hg ₂₆ (Mo, Cu) _{1,4} (Bi, W) _{1,0} Pb _{0,7}	Роговик 2 (СВ)
		AuAg[MoAs]	Золото-сульфосольный	5	Золото-серебряная, золото-сульфоантимонитовый	Au ₂₈₂₆ Ag ₈₄₄ As ₂₉ Mo _{4,4} Sb _{1,6} Bi _{1,5} (Cu, Sn) _{1,3} (Pb, W) ₁ Zn _{0,8}	Пепенвеемское, Горное (Чукотка), Карамкен, Финиш, Колхида (СВ)
		Ag[MoAs]	Серебро-сульфосольный (серебро-сульфоантимонитовый)	6	Золото-серебряная, золото-сульфоантимонитовый	Ag ₂₃₃₈ As ₂₁₅ Au ₁₆₇ Mo _{7,3} Sb _{1,9} Sn _{1,7} (Zn, Pb) _{1,5} Cu _{1,4} (Bi, W) ₁	Теркене́йское, Оранжевое, Сладкий (Чукотка), Утесное, Иреганджа, Кулон (СВ)
		AuAg[PbCu]	Золото-аргентитовый	8	Золото-серебряная, золото-аргентитовый	Au ₉₆₆₉ Ag ₇₃₂₈ As ₁₁ Pb _{9,3} Mo _{7,8} Cu _{5,8} Zn _{3,3} Sn _{2,4} Bi _{2,1} Sb _{1,8} W _{1,6} Sn _{1,7} Cr _{1,4} V _{0,8} (Ni, Co) _{0,5} (Ba, Ti) _{0,3} (+ Mn, Se, Hg)	Валунистое, Нявленга, Хаканджинское, Приморское, Неожиданное, Угрюмый, Красный, Жильный (СВ)
		AuAgFe[W]	Золото-пиритовый малосульфидный	4	Золото-серебряная, золото-пиритовый	Au ₃₅₈₆ Ag ₁₄₉ W ₃₅ As ₂₀ Mo ₁₄ Sb _{6,5} Cu ₆ Bi ₆ Ni _{3,2} Pb ₃ Zn _{0,8} Sn _{0,5}	Бамское, Дес, Пионерское 1, Прогнозное (Приамурье)
	Серебро-оловянная	AgSnPm	Серебро-станин-касситеритовый	2	Серебро-оловянная	Ag ₃₂₅₁ As ₅₁₇ Sn ₄₉₀ Pb ₁₁₇ Au ₉₇ Cu ₄₇ Zn ₂₇ Bi ₁₇ Sb ₁₃ Mo, W ₁	Хета, Ирвиней (СВ)
	Касситерит-сульфидная	SnPm(Ag)	Касситерит (станнин)-сульфидный	3	Касситерит-сульфидная	Sn ₈₁₅ As ₆₀₂ Ag ₃₅₂ W ₈₂ Pb ₆₃ Cu ₅₃ Bi ₃₈ Zn ₃₆ Sb ₃₂ Mo ₁₂ Ni ₄ Hg _{3,2} Au _{1,3} Co ₁	Ирча (СВ), Кумусун, Сорукан (Приамурье)
	Касситерит-силикатная	Sn(Ag)	Касситерит-силикатный	3	Касситерит-силикатная	Sn ₈₉₂ As ₉₄ Ag ₃₈ Zn ₁₂ Cu _{6,9} W ₅ Pb _{3,5} Bi _{2,2} Au ₂ Sb, Mo _{1,2}	Кандычан, Кари, Фурор (СВ)
Гидротермально-стратиформные	Золото-сульфидно-кварцевая в зеленокаменных поясах	AuFeSbMoHg	Золото-пирит-антимонит-киноварно-молибденитовый	1	Тип Хемло	Au ₁₅₈₀ Sb ₅₃₀ W ₃₂₃ Mo ₁₃₃ Hg ₁₀₃ As ₄₈ Ni ₄₂ Ag ₃₉ Cr ₂₀ Zn ₁₀ Bi _{6,2} V _{4,5} Co _{4,4} Cu _{4,1} Pb _{1,3} Sn _{0,6} Mn _{0,4}	Хемло (США)

Примечание. При составлении спектров конкретных проявлений использованы аналитические данные авторов пособия, а также опубликованные данные Ю. В. Николаева, А. Е. Пересторонина, В. А. Степанова, А. В. Волкова, Р. Г. Кравцовой, Л. И. Гурской, Г. Н. Гамянина, А. А. Сидорова, Н. Е. Саввы, Д. Л. Выюнова, А. Ф. Коробейникова, Б. Б. Дамдинова, Ю. Н. Сидориной и многих других.

Геолого-геохимическая характеристика некоторых платиносодержащих месторождений и рудопроявлений

Генетическая группа	Рудная формация	Геохимический тип	Геологическая рудоносная (продуктивная) формация	Рудовмещающие образования	Месторождения	Ранжированный ряд элементов (K _K) ¹	Средние содержания в руде						Коэффициенты формационной принадлежности				Рудные минералы		Основной источник первичной информации; в скобках – дополнительный источник, в т. ч. результаты анализов – данные авторов
							Ni (%)	Cu (%)	Co (%)	Pt (г/т)	Pd (г/т)	ΣRh, Os, Ir, Ru (г/т)	Pt/Pd	Au/Ag	Ni/Cu	SS (%)	главные	второстепенные	
Магматическая	Медно-никелевая платинометаллическая сульфидная	NiCuPdPt	Габбро-долеритовая	Донные эндоконтактовые части массивов, оливиновые (пикритовые) габбро-долериты	Талнахское, сплошные богатые высокосульфидные руды (Красноярский край)	Cu ₅₈₂₅ Ni ₅₄₉₀ Pd ₇₀₁ Se ₆₁₄ Te ₅₂₅ Pt ₅₀₆ Co ₂₂₀ Au ₁₁₁ Ag ₁₀₅ Fe ₁₇ Sb ₅ Bi _{4,7} Cr _{4,3} V _{4,0} Pb _{2,5} Zn _{2,1} Ba _{2,0} Ti, Mo _{1,5} P, Sn, As ₁	4,66	11,7	0,11	1,52	7,01	0,9	0,22	0,02	0,40	16,5	Pirr, chlpt	Pent, kubn, mgnt,	ГБЗ «Платиноиды» на 01.01.2018 г., с. 151 (данные авторов)
			То же	То же	Октябрьское, сплошные богатые высоко-сульфидные руды (Красноярский край)	Ni ₄₈₇₅ Cu ₁₇₀₀ Pd ₇₇₃ Pt ₆₃₆ Co ₃₂₀ Se ₂₇₁ Te ₁₃₈ Ag ₉₂ Au ₈₀ Fe ₂₀ Sb _{1,8} Zn _{1,2} Mn, Pb, As _{0,6} Ti _{0,3}	3,9	3,40	0,16	1,9	7,73	–	0,25	0,01	1,1	7,5	Pirr, chlpt	Pent, kubn, mgnt,	То же
			То же	То же	Норильск 1 сплошные и вкрапленные руды (Красноярский край)	Ni ₂₅₅₀ Cu ₆₃₀ Au ₁₈₀ Pt ₁₂₀ Co ₁₁₁ Se ₁₀₈ Pd ₉₇ Te ₉₅ Bi ₆₃ Ag ₆₀ Cr _{8,7} Sb ₈ Sn, Mn _{3,2} As, Mo _{2,6} V, Bi _{2,1} Ti _{1,3} Pb _{1,1} Zn _{0,8} Ba, W _{0,2}	2,04	1,26	0,06	0,36	0,97	–	0,37	0,05	1,6	3,4	Pirr, chlpt	Pent, kubn, pt, chrm, mgnt, виоларит	ГБЗ «Платиноиды» на 01.01.2018 г., с. 153 (данные авторов)
			Перидотит-пироксенит-габбро-норитовая	Пироксениты, нориты	Надежда – в массиве Луккулайсваара (эпигенетические руды высокосульфидные, серы до 20–30 %) (Карелия)	Pd ₃₄₃₀ Cu ₃₃₆₅ Ni ₁₆₈₄ Pt ₁₃₃₃ Au ₁₉₀ Ag ₁₂₇ Co ₅₅ Cr ₈ Fe _{4,8} Mn _{3,5} Ti _{1,4} Zn _{2,5} Ti _{1,7} P, Pb _{0,4}	1,35	6,73	0,03	4,0	34,3	–	0,18	0,025	0,2	7,1	Chlpt, chlz, kovl, pirr, pentl born	Sfl, mgt, gal	Семенов С. В. и др. Метасоматические процессы в расслоенном интрузиве Луккулайсваара (Россия) // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 4. – С. 283–310
	Медно-никелевая платиносодержащая сульфидная	NiCu (Pd,Pt)	Габбро-долеритовая	Такситовые габбродолериты нижнего эндоконтакта	Имангдинское, вкрапленные руды	Ni ₂₇₆₇ Cu ₈₅₆ Au ₁₆₀ Co ₁₄₄ Ag ₇₂ Se ₅₂ Pd ₂₆ Pt ₂₄ Bi ₂₁ Te _{9,5} Cr _{7,5} Zn _{3,6} Sb _{2,5} Mn _{2,3} V _{1,7} Mo _{1,5} As _{1,4} Pb ₁ Ti _{0,6} Sn _{0,3} W _{0,2} Ba, P _{0,1}	2,21	1,71	0,07	0,07	0,26	–	0,27	0,04	1,3	4,0	Pirr, chlpt, pent	Миллерит, виоларит	Данные авторов
			Перидотит (верлит)-пироксенит-габбровая	Донные эндоконтактовые части дифференцированных массивов; серпентинизированные верлиты, серпентиниты	Печенгская группа месторождений (Ждановское, Заполярное, Тундровое), вкрапленные руды (Мурманская область)	Ni ₁₀₉₀ Cu ₄₅₂ Te ₃₇₅ Se ₃₅₀ Pd ₂₉₉ Pt ₂₆₇ Au ₂₂₀ Se ₁₀₀ Co ₅₆ Ag ₄₅ Cr ₂₁ As _{7,4} Mn ₃ V _{2,9} Bi _{1,7} Zn _{1,5} Mo _{1,3} Ti _{1,1} Sn _{0,8} Sb _{0,7} Pb _{0,6} W _{0,2} U, Th _{0,04}	0,87	0,90	0,03	0,80	2,99	0,022	0,27	0,08	1,0	1,82	Pirr, chlpt, pent, mgt	Виоларит, сфалерит, борнит, аргентопентландит, кубанит	Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. – 2003. – С. 13; Горбунов (ред.) Медно-никелевые месторождения Балтийского щита. – 1985. – С. 27–52
	Малосульфидная платинометаллическая	PtPd (NiCu)	Перидотит (гарцбургит)-пироксенит-габбро-норитовая	Габбронориты, нориты, анортозиты в средней части разреза массива (в «критической зоне» расслоенных пород)	Луккулайсваара малосульфидные вкрапленные сингенетические руды (сульфидов до 5 %) (Карелия)	Pd ₄₈₅ Ni ₃₂₄ Pt ₂₉₆ Cu ₂₇₈ Au ₂₁₅ Te ₁₁₂ Co ₂₃ Ag ₁₉ Cr _{7,5} Fe, V _{3,4} Mn _{2,1} Zn _{1,7} Ti _{1,4} Bi _{1,0} P _{0,8} Mo, As _{0,5} Pb _{0,4}	0,26	0,56	0,01	0,9	4,9	–	0,18	0,19	0,47	0,83	Chlpt, chlz, kovl, pirr, pentl	Pt, nikl, BiTePd gal	Семенов С. В. и др. Метасоматические процессы в расслоенном интрузиве Луккулайсваара (Россия) // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 4. – С. 283–310
			То же	Средняя часть разреза Мончетундровского массива – в породах норитовой зоны на границе с габброноритовой зоной (меланократовые нориты, габбронориты, плагиопироксениты)	Мончетундровское (Лойпишнюн); малосульфидные вкрапленные сингенетические руды (сульфидов до 5 %) (Мурманская область)	Pt ₄₄₃ Pd ₂₈₀ Au ₂₂₀ Ni ₁₃₃ Cu ₉₅ Se ₁₂ Ag ₁₁ Te _{7,2} As _{2,4} Bi, Hg ₂ Sb ₁ Pb, Sn _{0,1}	0,11	0,19	–	1,33	2,8	–	0,18	0,33	0,58	0,4	SPt, BiTePt, TePt, AsPt, chlpt, pntl, pirr	Pt, born, chlz, gal, sfl	Чашин. В. В., Петров С. В., Дрогобужская С. В. Мало-сульфидное платино-палладиевое месторождение Лойпишнюн (Кольский полуостров, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2018. – С. 472–503
Плутоногенно-гидротермальная	Золото-кварцевая малосульфидная, золото-кварц-сульфидная, золото-платинометаллическо-арсенопиритовая	AuPtAs	Золото-сульфидная рудная формация – в связи с дайковыми полями в тектонических зонах подвижных поясов	Зоны прожилково-жильного окварцевания в углеродистых сланцах, алевролитах	Маломырское (ДВ, Амурская область)	Au ₂₄₀₀ As ₁₄₇₅ Pt ₇₄₅ Sb ₈₅ Ag ₅₈ W ₄₇ Cu _{3,6} Pb _{3,1} Sn _{1,7} Mo _{1,4} Zn, Bi _{1,0} Sn _{0,5}	–	–	1,1	0,7	–	0,31	–	0,7	–	0,31	Au, plt, pt, arspt	Gal, vol, chee, sfl, hlpt, pirr	ГГК РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Дальневосточная серия. Лист N-52 (Зея). – 2007. – С. 152 (Данные авторов)
			Золото-кварцевая рудная формация вне видимой связи с гранитоидами; локализация в терригенных структурно-вещественных комплексах подвижных поясов	Зоны прожилково-жильного окварцевания в разрывах, осложняющих пликвативные структуры: в вулканогенно-осадочных отложениях, углеродистых сланцах	Наталкинское (СВ, Магаданская область)	Au ₄₃₄₀ As ₂₂₉₄ Pt ₁₄₅₀ Pd ₈₀ Ag ₂₈ W ₈ Sb ₇ Te _{5,2} Mo _{5,1} Pb _{1,5} Mn _{1,1} Se ₁ Cr, Ti _{0,9} V _{0,7} Ni, Cu _{0,6} Co, Zn _{0,5} Bi _{0,5} U _{0,2} Sn _{0,1} Th _{0,05}	5,4	5,15	0,55	7,1	–	0,47	5,4	7,1	–	0,47	Au, arspt, pt, plt	Gal, sfl, hlpt, ant, pirr, shee, b. r.	Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото». – 2002. – С. 110

¹ Кларки концентрации (K_K) платиноидов и элементов-спутников рассчитывались как отношение содержания элемента к его среднему содержанию в кислых породах вне зависимости от вмещающих оруденение пород.

Генетическая группа	Рудная формация	Геохимический тип	Геологическая рудоносная (продуктивная) формация	Рудовмещающие образования	Месторождения	Ранжированный ряд элементов (K _K) ¹	Средние содержания в руде						Коэффициенты формационной принадлежности				Рудные минералы		Основной источник первичной информации; в скобках – дополнительный источник, в т. ч. результаты анализов – данные авторов
							Ni (%)	Cu (%)	Co (%)	Pt (г/г)	Pd (г/г)	ΣRh, Os, Ir, Ru (г/г)	Pu/Pd	Au/Ag	Ni/Cu	SS (%)	главные	второ-степенные	
Плутоногенно-гидротермальная	Золото-кварцевая малосульфидная, золото-кварц-сульфидная, золото-платинометалльно-арсенопиритовая		Золото-(мышьяково)-сульфидная формация в углеродисто-терригенных структурно-вещественных комплексах	Зоны прожилково-жильного окварцевания в углеродистых сланцах, алевролитах	Мурунтау (Средняя Азия, Узбекистан)	Au ₃₂₈₀ As ₂₈₀₀ Pt ₂₇₀ Pd ₂₅₀ Ag ₉₂ Bi ₃₇ W ₂₂ Cu _{3,5} (Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co)	0,32	3,31	4,1	0,6	–	0,63	0,32	0,6	–	0,63	Au, arspt, pt, plt	Gal, sfl, hlppt, chee, mo, b. r., bi	Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение в скобках – дополнительный источник, в т. ч. результаты анализов – данные авторов
				Зоны прожилково-жильного окварцевания в углеродистых сланцах, алевролитах, песчаниках	Обобщенные данные по группе платино-содержащих золоторудных месторождений	Au ₃₃₄₀ As ₂₁₇₀ Pt ₃₂₁ Pd ₁₆₅ Ag ₅₉ Sb ₄₆ W ₂₅ Bi ₁₂ Te _{5,2} Mo _{3,2} Cu _{2,6} Pb _{2,3} Mn _{1,1} Se ₁ Zn, Cr, Ti _{0,9} Sn, V _{0,7} Ni _{0,6} Co _{0,5} U _{0,2} Th _{0,05}	2,8	4,2	1,3	0,9	–	0,47	2,8	0,9	–	0,47	Au, arspt, pt, plt	Gal, chee, Sfl, chlpt, pirt, mo, b. r., bi, ant	
Гидротермально-осадочная	Платинометалльное оруденение черносланцевого типа	Платино-металльно-золото-молибден-медный тип PtAuMoCu	Медно-поли-металлическая платино-содержащая рудная формация; эвапорит-карбонатно-глинистая геологическая формация	Битуминозные, высоко-углеродистые глинистые сланцы (P ₂ – верхняя пермь)	Мансфельд (Германия), Любин (Польша)	Pt ₃₅₁₂₀ Au ₂₁₂₁₀ Pd ₃₄₆₄ Ag ₁₇₅₀ Mo ₂₈₀ Cu ₂₀₀ Ni ₆₁ Bi ₁₈₀ Co ₇₇ P ₆ Pb ₅ Zn ₃	3,0	140	0,4	0,4	0,12	0,56	3,0	0,4	0,12	0,56	Пылевидная вкрапленность (до 20 мкм): минералогические и примесные формы Pt, Pd, арсениды Ni, Co, Ag, сложные сульфиды Cu, Mo, Bi, Au, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 26–29; 130; 131
		Золото-палладий-медно-поли-металлический тип AuPdCuPbZn	То же	Карбонатно-песчанико-сланцевая толща, черносланцевая пачка (P ₂ – верхняя пермь)	Любин, Серошовице, Полковице, Рудна (Польша)	Au ₈₆₆₀ Ag ₆₄₅₅ Pd ₂₃₅₀ Cu ₈₉₀ Pb ₂₅₀ Pt ₁₁₀ Zn ₆₅	0,05	34,9	54	0,04	0,005	2,68	0,05	0,04	0,005	2,68	Chlk, kvl, chlpt, brt, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 19–26
		Платино-металльно-золото-никель-цинк-молибденовый тип	Никель-молибденовая с платиноидами рудная формация; глинисто-углеродисто-фосфатоносная геологическая формация	Фосфатоносные черные сланцы	Ник (Канада)	Ni ₇₂₅₀ Mo ₂₀₀₀ Pt ₂₃₀ Zn ₁₃₀ Ag ₇₀ Au ₅₀ Pd ₁₀₀ Co ₃₀ Cu ₁₇ V _{7,6} (Se, As, P)	3	1,7	0,14	0,02	170	6,83	3	0,02	170	6,83	Ваэсит, pt, sfl, вюрцит, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 45–52
		NiMoZnPt	То же	Фосфатоносные черные сланцы	Цзуньи, Даюн и др. (Южный Китай)	Mo ₁₈₀₀₀ Ni ₉₆₂₀ Au ₇₀₀ Zn ₂₇₀ Pt ₂₃₀ Pd ₈₇ Cu ₈₀ Ag ₆₅ V ₄₅ Pb ₄₀ (P, Hg, Se)	0,8	298	1	0,17	48	11,04	0,8	0,17	48	11,04	Mol, ваэсит, бравоит (Ni), pt (Au), сульфиды и арсениды Cu, Zn, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 30–44
		PtMoV тип; PtAuUMoV подтип	Уран-ванадиевая платино-содержащая рудная формация; углеродисто (шунгито)-сланцистых метасоматитов геологическая формация	Слюдисто-карбонатные метасоматиты по шунгитам	Падминское, Космозерское и др. (Карелия)	U ₈₆₀ Mo ₇₁₀ V ₃₉₀ Pt ₃₀₀ Pd ₃₀₀ Au ₂₅₀ Bi ₂₀₀ Cu ₁₄₀ Pb ₁₄₀ Zn ₁₀₀ (Se, Te, Ag, Co)	0,1	3,9	0,27			1,25	0,1			1,25	Уранинит, ванадиевые слюды, сульфиды Mo, Cu, Zn, Pb, висмутиды, селениды, селеносульфиды Pt, Pd, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометал-льное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 77–88
		PtMoV тип; PtMoV подтип	Молибден-цинк-ванадиевая платиносодержащая рудная формация; глинисто-углеродисто-фосфатоносная геологическая формация	Черные сланцы	Мекка Квори (США)	Mo ₈₆₀ Zn ₁₀₀ Pt ₁₀₀ V ₄₅ Ni ₄₀ U ₃₃ Co ₂₂ Cu ₁₁ P _{9,5}					1,5	0,75			1,5	0,75	Pt, mol, sfl, chlpt, kov, C _{орг.}		Гурская Л. И. Платинометал-льное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – 2000. – С. 52–58

Класс месторождений	Формация	Главные элементы	Второстепенные элементы (редкие)	Метасоматические изменения	Связь с магматизмом
Полевोшпатово-метасоматический		Ta, Nb, Zr,	TR _Y , Th, U, Mo (Li, Sn, Be)	Калишпатизация, альбитизация	Связаны с региональными разломами
Карбонатитовый		Nb, Ta, Zr, (TR _{Ce})	Fe, Ni, Zr, P, TR _{Ce} , U, Th, Sr, Ba		Массивы ультраосновных щелочных пород
Фосфор					
Карбонатитовый		P	Ti, Fe, V, Sr, Nb, Zr, Ba		Массивы ультраосновных щелочных пород
Магматический	Апатит-титаномагнетитовая, апатит-ильменит-титаномагнетитовая и апатит-ильменитовая	P, Ti, Fe	V, TR _{Ce} , Sr		Пироксениты, габброиды
	Апатитовый	P	Sr, TR _{Ce}		Пироксениты
Метасоматический	Редкоземельно-апатитовая	P, TR _{Ce}	TR _Y	Постскарновые Fe-Ca-Mg-CO ₂ метасоматиты	Гранитоиды
	Апатит-редкометаллическая	P, Zr	Cu, Fe	Na метасоматиты	В интенсивно мигматизированных биотитовых гнейсах
Примечание. Au, Ag, платиноиды см. в табличных приложениях 4.7 и 4.8.					

Характеристика геохимического спектра потоков рассеяния
некоторых типов месторождений (на примере Дальнего Востока)

Полезное ископаемое	Формация (класс)	Тип	Ранжированный геохимический спектр ¹	Примеры проявлений
Au, Ag	Золото-кварцевая	Арсенопиритовый	Au As W Ag (Sb Pb Sn)	Токурское, Харгинское, Маломырское, Каральвеенское, Кэнкэрэнское
		Пиритовый	Au Fe Cu Bi Ni Co (W Mo Zn)	Колчеданный Утес, Лебяное, Скалистое и др.
	Золото-кварц-сульфидная		Au As (Ag) Pb Bi Cu (Sb Zn W Mo)	Березовый, Ясное, Тенткели и др.
	Золото-сульфидная		Au As Sb (Ag) Pb Cu (W Sn Zn Bi)	Майское и др.
	Золото-антимонитовая		Au Sb Ag As Hg Pb(Cu Bi W Zn) ²	Яранга и др.
	Золото-вольфрамовая		Au W As Sb (Mo Cu Ag Pb)	Унгличанское
	Золото-ртутная		Au Hg Sb W Mo (As Ag Zn Bi Cu)	Хемло
	Золото-редкометаллическая		Au Bi (Ag Mo As Cu Pb Sb Te)	Кировское, Валун и др.
	Золото-полиметаллическая		Au Pb Zn (Ag) Cu Bi (Hg Sb As W)	Березитовое, Чагоян и др.
	Золото-серебряная	Золото-аргентитовый	Au Ag As Cu (Pb Mo Zn Sn)	Валунистое, Теркейское, Утесное и др.
Пирит-сульфо-антимонитовый		Au Ag As (Mo Cu Pb Bi Sn)	Карамкенское, Нявлента, Жильный и др.	
Золото-сфалерит-галенитовый		Au Ag Pb Zn As (Cu Mo Bi Sn W)	Улахан (РТ 7), Поздний и др.	
Родонит-родохрозитовый		Au Ag Pb As Mn (Mo Zn Sn Cu W)	Хаканджинское, Неожиданный, Угрюмый 1 и др.	
Ag (Au)	Серебро-полиметаллическая		Ag As Pb Zn Sn(Mn Bi Au) (Mo Sb Cu W)	Дукат, Улахан (РТ 6), Гайчан и др.
Ag, Sn	Олово-серебряная		Ag Sn Pb As Zn Cu Au (Sb Bi)	Хета, Ирвиней

¹ Жирным шрифтом выделены типоморфные элементы высокого уровня концентраций ($C > 2C_A$), курсивом – характеризирующиеся слабо повышенными содержаниями ($2C_A > C > C_A$), в скобках – спорадически встречающиеся элементы (жирным шрифтом – в группе высококонцентрирующихся).

Идентификация золото-, серебросодержащих проявлений по данным опробования коренных пород

Генетическая группа	Формация	Геохимический тип	Минеральный тип	Индикаторные значения коэффициентов формационной принадлежности ¹										
				Au/Ag	Pb/As	As/W	Sb/Mo	Se/Te	Sb/W	As/Bi	Ag/Bi	Ag/Sn	SS (%)	$\frac{Pb \times Cu}{Mo \times As}$
Гипотермальная	Золото-кварцевая мало-, умеренносульфидная	AuAs	Золото-арсенопиритовый	$\frac{0,1-4,0}{0,7}$	$\frac{0,06-0,6}{0,02}$	$\frac{4-82903}{339}$	$\frac{0,1-14}{0,9}$	н. д.	$\frac{0,03-10,0}{0,5}$	$\frac{1440-71426}{6450}$	$\frac{0,4-63,0}{6,7}$	$\frac{0,3-125,0}{3}$	$\frac{0,1-4,3}{0,5}$	$\frac{0,0004-11,0}{0,2}$
		AuWAs	Золото-шеелит-арсенопиритовый	$\frac{0,1-10,0}{0,8}$	$\frac{0,01-0,3}{0,05}$	1,3	30		0,06			н. д.	$\frac{0,3-1,3}{0,63}$	0,3
		AuFe	Золото-пиритовый	$\frac{0,1-5,7}{0,9}$	$\frac{0,3-530,0}{7}$	$\frac{0,3-176,0}{2}$	$\frac{0,03-2,2}{0,1}$	91	$\frac{0,01-4,0}{0,1}$	$\frac{0,1-30,0}{2,7}$	$\frac{0,3-33,0}{1,5}$	$\frac{0,1-193,0}{3}$	$\frac{0,01-0,1}{0,03}$	$\frac{40-13030}{230}$
		AuCuFe	Золото-халькопирит-пентладитовый	$\frac{0,6-4,6}{1,5}$	$\frac{0,1-8,0}{0,5}$	$\frac{10-40}{20}$	$\frac{0,03-0,04}{0,03}$	1,7	$\frac{0,1-0,13}{0,1}$	$\frac{25-57}{36}$	$\frac{0,01-3,8}{3,3}$	$\frac{0,5-2,5}{0,6}$	$\frac{0,1-1,5}{0,8}$	$\frac{54-35200}{783}$
		AuFeCu[CoNi]	Золото-кобальтин-пентладитовый	$\frac{5-35}{14}$	$\frac{0,004-0,05}{0,02}$	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	34	0,2	0,2	$\frac{0,32-0,46}{0,38}$	$\frac{0,6-185}{11}$
	Золото-углеродистая мало-, умеренносульфидная	AuPtFeAs	Золото-платинометалльно-пирит-арсенопиритовый	$\frac{0,7-17}{3,8}$	$\frac{0,001-0,2}{0,01}$	$\frac{5-2144}{181}$	$\frac{0,3-175}{4,9}$	$\frac{0,1-3,5}{0,9}$	$\frac{0,02-29}{1}$	$\frac{100-42000}{3898}$	$\frac{0,04-185}{2,8}$	$\frac{0,1-301}{3}$	$\frac{0,1-2,4}{0,4}$	$\frac{0,01-2}{0,1}$
	Золото-серебро-редкометаллная	AuBiAsFe	Золото-висмутин-арсенопирит-пиритовый	$\frac{0,5-5}{1,7}$	$\frac{0,0004-0,8}{0,01}$	$\frac{49-9044}{519}$	$\frac{0,02-15}{0,9}$	1,3	$\frac{0,03-36}{0,4}$	$\frac{0,01-170}{4,2}$	$\frac{0,006-0,05}{0,013}$	$\frac{0,05-5,2}{1,4}$	$\frac{0,1-2,8}{0,7}$	$\frac{0,02-5,5}{0,2}$
		AgBiPm	Серебро-висмутин-галенит-сфалеритовый	$\frac{0,00001-0,0009}{0,0002}$	$\frac{8,8-2300}{184}$	$\frac{1,3-109}{12}$	$\frac{0,0009-0,6}{0,02}$	н. д.	$\frac{0,2-0,4}{0,3}$	$\frac{0,01-1}{0,1}$	$\frac{0,5-2,3}{1,3}$	$\frac{2,5-93}{13}$	$\frac{0,5-0,7}{0,7}$	$\frac{995-2852000}{53274}$
	Золото-урановая	AuUVFe	Золото-браннерит-пиритовый	$\frac{0,07-116}{2,9}$	н. д.	10,4	2	н. д.	0,4	47	0,6	$\frac{0,03-2,9}{0,3}$	$\frac{0,02-0,04}{0,03}$	н. д.
		AuTeSeUMo	Золото-селенидно-теллуридно-уранинит-молибденитовый	0,3	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	0,4	0,3	н. д.
	Золото-сульфидно-кварцевая	AuAgAsPm	Золото-арсенопирит-галенит-сфалеритовый	$\frac{0,01-4,8}{0,1}$	$\frac{0,1-1,0}{0,3}$	$\frac{29-7612}{1719}$	$\frac{0,1-1,4}{0,4}$	1	$\frac{0,3-3,6}{0,4}$	$\frac{28-1650}{183}$	$\frac{0,01-55}{1,6}$	$\frac{0,1-72,0}{4,3}$	$\frac{0,2-6,0}{1,5}$	$\frac{17-344}{58}$
	Золото-сурьмяная	AuSbAs	Золото-антимонит-арсенопиритовый	$\frac{0,4-14,0}{1,1}$	$\frac{0,001-1,1}{0,01}$	$\frac{221-2597}{691}$	$\frac{266-25595}{3009}$		$\frac{288-14019}{4629}$	$\frac{200-60000}{4255}$	$\frac{0,5-60}{4,1}$	$\frac{0,1-0,7}{0,2}$	$\frac{0,2-7,3}{1,4}$	$\frac{0,01-2,3}{0,2}$
	Золото-скарновая	AuFeAsPm	Золото-тетрадимит-пирит-арсенопиритовый	$\frac{0,1-14,0}{1,2}$	$\frac{0,01-0,05}{0,02}$	н. д.	н. д.	н. д.	н. д.	$\frac{1-70}{8,7}$	$\frac{0,001-0,06}{0,007}$	$\frac{0,05-0,5}{0,2}$	$\frac{0,5-0,8}{0,6}$	н. д.
	Золото-медно-молибден-порфировая	AuFeCuMo	Золото-пирит-халькопирит-молибденитовый	$\frac{0,2-1,3}{0,3}$	$\frac{0,5-20,0}{2,5}$	2,1	$\frac{0,06-0,8}{0,2}$	н. д.	0,3	$\frac{0,5-45,0}{5,8}$	$\frac{0,1-1,5}{0,5}$	0,7	$\frac{0,3-0,8}{0,3}$	$\frac{60-716}{175}$
	Золото-сульфидная	Au-полиметалльный	Золото-полисульфидный	$\frac{0,06-0,14}{0,09}$	$\frac{0,06-0,7}{0,2}$	60874	1739	н. д.	н. д.	$\frac{11-224}{48}$	$\frac{0,04-0,18}{0,08}$	1554	$\frac{8,4-10}{9}$	144
Мезо-, эпитеральные	Золото-ртуть-сурьмяная	AuFeHgSbAs	Золото-пирит-антимонит-киноварный (карлинский тип)	$\frac{0,9-256,0}{5,8}$	$\frac{0,0004-0,04}{0,002}$	7	30	н. д.	3	276	1,2	0,4	$\frac{0,1-8}{0,7}$	0,1

¹ Над чертой – интервал значений, под чертой – среднегеометрическое значение. Интервалы значений коэффициентов формационной принадлежности по мере пополнения базы данных по конкретным проявлениям должны уточняться; н. д. – нет данных.

Генетическая группа	Формация	Геохимический тип	Минеральный тип	Индикаторные значения коэффициентов формационной принадлежности ¹										
				Au/Ag	Pb/As	As/W	Sb/Mo	Se/Te	Sb/W	As/Bi	Ag/Bi	Ag/Sn	SS (%)	$\frac{Pb \times Cu}{Mo \times As}$
Мезо-, эпите- ральные	Золото-серебряная (золотая) убого-, малосульфидная	AuAgFe[SbAs]	Золото-пирит-сульфосольный	$\frac{0,1-5,0}{0,3}$	$\frac{0,01-6,0}{0,4}$	$\frac{8-505}{47}$	$\frac{4-268}{19}$	н. д.	$\frac{5-696}{22}$	$\frac{19-1700}{157}$	$\frac{0,1-400,0}{25}$	$\frac{0,4-128,0}{14}$	$\frac{0,03-0,3}{0,1}$	$\frac{0,07-4632}{10}$
		AgFe[SbAs]	Серебро-пирит-сульфосольный	0,04	0,07	108	9,5	2421	19	245	5769		0,03	0,6
		AuAg[MoAs]	Золото-сульфосольный (золото-сульфо-антимонитовый)	$\frac{0,01-0,2}{0,1}$	$\frac{0,2-0,6}{0,4}$	$\frac{13-116}{39}$	$\frac{0,05-0,08}{0,07}$	н. д.	$\frac{0,1-0,5}{0,2}$	$\frac{25-270}{59}$	$\frac{5-430}{51}$	$\frac{3,3-59}{13}$	$\frac{0,01-0,04}{0,02}$	$\frac{0,8-6,2}{2}$
		Ag[MoAs]	Серебро-сульфосольный (серебро-сульфо-антимонитовый)	$\frac{0,0001-0,002}{0,001}$	$\frac{0,008-0,9}{0,07}$	$\frac{52-1581}{271}$	$\frac{0,01-0,6}{0,1}$	н. д.	$\frac{0,1-0,5}{0,3}$	$\frac{100-4000}{685}$	$\frac{80-500}{223}$	$\frac{16-57}{30}$	$\frac{0,03-0,25}{0,08}$	$\frac{0,04-2,9}{0,3}$
		AuAg[CuPbAs]	Золото-аргентитовый	$\frac{0,001-0,2}{0,02}$	$\frac{1,9-50}{8,8}$	$\frac{0,2-64}{8,6}$	$\frac{0,01-1,3}{0,05}$	0,2	$\frac{0,03-0,3}{0,1}$	$\frac{0,5-100,0-}{15}$	$\frac{40-2000}{223}$	$\frac{14-122}{51}$	$\frac{0,02-0,11}{0,06}$	$\frac{24-2826}{129}$
		AuAgFe[W]	Золото-пиритовый малосульфидный	$\frac{0,1-1,5}{0,4}$	$\frac{0,3-10}{1,5}$	$\frac{0,08-2,3}{0,7}$	$\frac{0,03-1,6}{0,1}$		$\frac{0,005-0,1}{0,02}$	$\frac{0,7-300,0}{8,9}$	$\frac{1-10}{2,4}$	$\frac{3-5}{3,5}$	$\frac{0,02-0,06}{0,04}$	$\frac{1-110}{13}$
	Золото-серебряная сульфидная	AuAgSbAsPm	Золото-сульфосольно- полисульфидный	$\frac{0,02-1,0}{0,11}$	$\frac{0,1-2,1}{1}$	$\frac{3-1481}{263}$	$\frac{3,5-874}{62}$	0,3	$\frac{5-157}{48}$	$\frac{124-14600}{790}$	$\frac{2,2-219,0}{18}$	$\frac{0,003-86,0}{2,4}$	$\frac{0,4-2,5}{0,9}$	$\frac{3-185}{15}$
		Ag-поли- металльный	Серебро-аргентит-полисульфидный	$\frac{0,001-0,02}{0,001}$	$\frac{1,6-910,0}{19}$	$\frac{1-1702}{41}$	$\frac{0,03-7,7}{0,2}$	н. д.	$\frac{0,1-18,0}{0,6}$	$\frac{5,7}{}$	$\frac{0,5}{}$	$\frac{0,2-182,0}{15}$	$\frac{0,1-1,1}{0,4}$	$\frac{39-63504}{1624}$
		AuAgPm	Золото-галенит-сфалеритовый	0,1–300,0	$\frac{76-351}{164}$	$\frac{14-48}{26}$	$\frac{1,1-20,5}{48}$	1,2	$\frac{1,4-16,0}{4,8}$	$\frac{15-100}{39}$	$\frac{3-60}{14}$	$\frac{18-28,0}{22}$	$\frac{2,0-4,4}{3}$	$\frac{627-10225}{2532}$
		AgPm	Серебро-галенит-сфалеритовый	$\frac{0,0009-0,002}{0,001}$	$\frac{2,8-910,}{19}$	$\frac{1-1702}{41}$	$\frac{0,03-8,0}{0,2}$		$\frac{0,1-18,0}{0,6}$	$\frac{0,3-600}{9,9}$	$\frac{8-120}{38}$	$\frac{0,2-182,0}{15}$	$\frac{0,1-1,1}{0,4}$	$\frac{39-63504}{1624}$
	Золото-теллуридно- селенидная сульфидная, малосульфидная	AuAgTePm	Золото-тетрадимит-галенит- сфалеритовый	$\frac{0,2-4,7}{0,5}$	$\frac{1,5-73,0}{4}$	0,6	4	0,08	н. д.	$\frac{0,2-0,7}{0,4}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	2	$\frac{0,3-1,6}{0,3}$	$\frac{18-24}{21}$
		AuTeFeSbAs	Золото-теллуридно-пиритовый	$\frac{1-6}{2,7}$	$\frac{0,03-241}{1,9}$	$\frac{1-1546}{49}$	$\frac{0,3-56,0}{4,4}$	4,4	$\frac{36-62}{47}$	$\frac{0,2-0,7}{0,4}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	$\frac{2,2-8,2}{4}$	$\frac{0,15-0,5}{0,1}$	$\frac{2-6378}{32}$
		AuAgSePm	Золото-селенидно-галенит- сфалеритовый	0,2	68	н. д.	1	649	1,8	56	25	14	1,9	88110
	Серебро-оловянная	AgSnPm	Серебро-станин-касситеритовый	$\frac{0,0001-0,0005}{0,0002}$	$\frac{0,6-1,8}{3,3}$	$\frac{798-1397}{1056}$	$\frac{2,2-3,0}{2,6}$	н. д.	$\frac{1,4-2,0}{1,7}$	$\frac{70-400}{169}$	$\frac{20-60}{34}$	0,12	$\frac{1,3-8,0}{3,3}$	$\frac{6413-14476}{9635}$
	Касситерит-сульфидная	SnPm(Ag)	Касситерит (станин)-сульфидный	$\frac{0,00003-0,0001}{0,00006}$	$\frac{0,3-1,7}{1}$	$\frac{3-16}{6,8}$	$\frac{0,03-4,0}{0,5}$	н. д.	0,04–1,0 0,2	$\frac{30-70}{48}$	$\frac{0,4-2,0}{0,8}$	$\frac{0,003-0,02}{0,009}$	$\frac{0,5-1,3}{0,7}$	$\frac{40-348}{93}$
	Касситерит-силикатная	Sn(Ag)	Касситерит-силикатный	$\frac{0,002-0,0005}{0,001}$	$\frac{0,3-2,0}{0,4}$	13	0,1	н. д.	н. д.	$\frac{50-270}{126}$	1,5	$\frac{0,0005-0,0013}{0,0008}$	$\frac{0,08-0,16}{0,11}$	$\frac{29-64}{43}$
Гидротермально- стратиформная	Золото-сульфидно- кварцевая в зелено- каменных поясах	AuFeSbMoHg	Золото-пирит-антимонит- киноварно-молибденитовый	$\frac{0,9-256,0}{6}$	$\frac{0,0004-0,04}{0,002}$	7	30	н. д.	3	23	0,6	0,4	$\frac{0,1-8}{0,8}$	0,2

Полезное ископаемое	Формация (класс)	Тип	Ранжированный геохимический спектр ¹	Примеры проявлений
Sn (Ag)	Касситерит-сульфидная		Sn Ag As Pb Zn Bi (W Cu) (Mo Sb Hg)	Ирча, Кумусун, Сорукан
Sn	Касситерит-силикатно-сульфидная		Sn Ag (As Pb Zn W Cu As)	Депутатское, Кандычан, Кери и др.
	Касситерит-кварцевая		Sn As W Bi (Ag Cu Mo Be)	Иультин
Cu(Au)	Медно-порфировая		Cu Mo Ag Pb Zn Au W (Ni Co Sn Bi)	Бургаликан
Mo (Cu)	Медно-молибден-порфировая, молибден-порфировая		Mo Cu Bi Pb W Ag (Zn Sn Ni Co)	Ледяное, Выходное и др.
Mo	Кварц-молибденитовая		Mo W Sn As Bi (Cu Zn Pb)	Умалта
Sb	Кварц-антимонитовая		Sb As (Au Ag Mo W)	Сарылах, Ленинское, Богучанское, Салокачинское
P	Магматический		P Sr (Ba Ni Cr Mn Co Cu Zn TR)	Укдуска
Ti	Магматический		Ti Cr Mn V (P Ni Co Zr)	Куранахское, Большой Сейим
Ni	Магматический		Ni Co Cu Cr Mn (As Pt Ba)	Лукинда
TR	Полевошпатовых метасоматитов		La Ce Zr (Co Ni V Sn Zn)	Джелу

Параметры условного среднестатистического месторождения металлических полезных ископаемых

Элемент	$\frac{C_p^{min} - C_p^{max}}{\bar{C}_p}$	$\frac{Q_m^{min} - Q_m^{max}}{\bar{Q}_m}$	$\frac{Q_c^{min} - Q_c^{max}}{\bar{Q}_c}$	$\frac{Q_k^{min} - Q_k^{max}}{\bar{Q}_k}$	Q_{min}	$P_{pm}^2 (M^2 \%)$ (для $\bar{Q}_c$)	$H^3 (M)$ (для $\bar{Q}_c$)
W ²	$\frac{0,3-2,5}{1,0}$	$\frac{0,8-8,0}{2,5}$	$\frac{8,0-80,0}{25}$	$\frac{80-800}{250}$	0,8	$1,3 \times 10^3$	600
Mo	$\frac{0,06-0,5}{0,2}$	$\frac{0,5-5,0}{2,0}$	$\frac{5-50}{15}$	$\frac{50-500}{150}$	0,5	$2,0 \times 10^3$	300
Sn	$\frac{0,4-1,5}{0,5}$	$\frac{0,5-5,0}{2,0}$	$\frac{5,0-50,0}{15}$	$\frac{50-500}{150}$	0,5	$2,0 \times 10^3$	300
Bi	$\frac{0,1-1,0}{0,2}$	$\frac{0,07-1,0}{0,3}$	$\frac{1,0-15,0}{4,0}$	$\frac{15-220}{60}$	0,07	$5,3 \times 10^2$	300
Cu	$\frac{0,2-6,0}{0,8}$	$\frac{10,0-100,0}{30}$	$\frac{100-1000}{300}$	$\frac{1000-10000}{3000}$	10	$4,0 \times 10^4$	300
Li ²	$\frac{0,2-0,7}{0,4}$	$\frac{4-15}{8}$	$\frac{15-60}{30}$	$\frac{60-240}{120}$	4	$4,0 \times 10^3$	300
Nb ²	$\frac{0,3-1,0}{0,6}$	$\frac{7,0-35,0}{15}$	$\frac{35-210}{90}$	$\frac{210-1400}{500}$	7,0	$7,2 \times 10^3$	500
Ta	$\frac{0,01-0,1}{0,3}$	$\frac{0,04-0,4}{0,1}$	$\frac{0,4-4,0}{1}$	$\frac{4-40}{10}$	0,04	8×10^1	500
Pb	$\frac{2,0-10,0}{5,0}$	$\frac{10-100}{30}$	$\frac{100-1000}{300}$	$\frac{1000-10000}{3000}$	10	2×10^4	500
Zn	$\frac{2,0-10,0}{5,0}$	$\frac{10-100}{30}$	$\frac{100-1000}{300}$	$\frac{1000-10000}{3000}$	10	2×10^4	500
Be ²	$\frac{0,02-1,0}{0,3}$	$\frac{0,01-0,2}{0,05}$	$\frac{0,2-4,0}{1,0}$	$\frac{4-80}{20}$	0,01	$2,2 \times 10^2$	180
Ni	$\frac{0,1-3,0}{0,8-2,0}$	$\frac{5-30}{10}$	$\frac{30-200}{80}$	$\frac{200-1500}{500}$	5	$1,5 \times 10^4$	180

¹ Числитель – интервал рудных содержаний, знаменатель – среднерудное содержание (Au, Ag, Pt в г/т, остальные в %). Q_m, Q_c, Q_k – запасы соответственно мелких, средних и крупных месторождений; Q_{min} – минимально промышленные запасы (запасы Au, Ag, Pt в тоннах, остальные элементы в тыс. тонн), $P_{pm}^2 (M^2 \%)$ – продуктивность среднего по запасам месторождения, $H^3 (M)$ – средняя протяженность на глубину среднего по запасам месторождения.

² Элементы, запасы которых традиционно приводятся в оксидной форме, в графах 3–6 пересчитаны на элементную форму.

Элемент	$\frac{C_p^{min} - C_p^{max}}{\bar{C}_p}$	$\frac{\bar{Q}_M^{min} - \bar{Q}_M^{max}}{\bar{Q}_M}$	$\frac{\bar{Q}_C^{min} - \bar{Q}_C^{max}}{\bar{Q}_C}$	$\frac{\bar{Q}_K^{min} - \bar{Q}_K^{max}}{\bar{Q}_K}$	$\bar{Q}_{min}$	$P_{pm}^2 (\text{кг}^2/\%)$ (для $\bar{Q}_C$)	$H^2 (\text{М})$ (для $\bar{Q}_C$)
Co	$\frac{0,05-0,5}{0,1}$	$\frac{0,3-2}{0,8}$	$\frac{2-15}{5}$	$\frac{15-100}{40}$	0,3	$2,2 \times 10^3$	180
Ti ²	> 10	$\frac{600-2000}{1000}$	$\frac{2000-6000}{4000}$	$\frac{6000-20000}{10000}$	600	$4,4 \times 10^5$	300
V	$\frac{0,1-1}{0,3}$	$\frac{10-100}{30}$	$\frac{100-1000}{300}$	$\frac{1000-10000}{3000}$	10	4×10^4	300
Cr ²	> 32	$\frac{68-680}{200}$	$\frac{680-6800}{2000}$	$\frac{6800-68000}{20000}$	68	$3,0 \times 10^5$	230
P ²	$\frac{2,7-26,0}{8,4}$	$\frac{1000-5000}{2200}$	$\frac{5000-20000}{8800}$	$\frac{20000-110000}{44000}$	1000	$8,8 \times 10^5$	400
Mn ²	$\frac{10-36}{20,0}$	$\frac{300-3000}{300}$	$\frac{3000-30000}{3000}$	$\frac{30000-300000}{30000}$	300	$5,7 \times 10^5$	210
Sb	$\frac{1-40}{3}$	$\frac{1-10}{3}$	$\frac{10-100}{30}$	$\frac{100-1000}{300}$	1	$3,3 \times 10^3$	300
Hg	$\frac{0,1-5,0}{0,5}$	$\frac{0,1-0,7}{0,3}$	$\frac{0,7-15}{3}$	$\frac{15-300}{70}$	0,1	6×10^2	200
Au	$\frac{1-30}{5,5}$	$\frac{0,5-5,0}{2}$	$\frac{5-50}{20}$	$\frac{50-500}{200}$	0,5	$2,7 \times 10^0$	300
Ag	$\frac{200-2000}{600}$	$\frac{80-500}{200}$	$\frac{500-3000}{1000}$	$\frac{3000-20000}{7000}$	80	1×10^2	400
Pt	$\frac{2-60}{8}$	$\frac{0,3-3,0}{1}$	$\frac{3-30}{10}$	$\frac{30-300}{100}$	0,3	$1,3 \times 10^0$	300
TR	$\frac{0,2-10,0}{1,0}$	$\frac{20-100}{30}$	$\frac{100-500}{300}$	$\frac{500-2500}{3000}$	10	3×10^4	400
U	$\frac{0,1-5,0}{0,5}$	$\frac{2-5}{3}$	$\frac{5-20}{10}$	$\frac{20-50}{30}$	2	8×10^2	500

**Оценка прогнозных ресурсов золота по потокам рассеяния
на примере Малохинганской площади**

Номер АГХП	15	11	9
Количество проб в АГХП, N	15	9	10
Площадь АГХП, S (км ²)	15	9	10
Минимально-аномальное содержание, C_A (г/т)	0,003	0,003	0,003
Количество проб в аномалии i -го элемента (Au), N_A (км ²)	12	9	6
Площадь аномалии i -элемента ¹ (Au), S_A (км ²)	12	9	6
Среднее содержание элемента в аномалии, C (г/т)	0,0287	0,0173	0,0325
Фоновое содержание элемента, C_F (г/т)	0,0018	0,0018	0,0018
Продуктивность аномалии, P (м ² %)	32	14	18
Тип элементарных ландшафтов	1	2	2
Сульфидность оруденения	2	2	2
Доля балансовых руд, α	0,16	0,21	0,20
Коэффициент соответствия вторичный–первичный ореол, k	0,8	2	2
Способ пробоподготовки	1	1	1
Коэффициент соответствия поток–вторичный ореол, k'	2,07	2,07	2,07
Коэффициент соответствия наложенный–остаточный ореол, k''	0,85	1	1
Продуктивность рудного тела, P_{PT} (м ² %)	3,6	0,7	0,9
Протяженность оруденения на глубину, H (м)	300	100	150
Объемная масса оруденелых пород, d (т/м ³)	2,5	2,5	2,5
Прогнозные ресурсы, минерагенический потенциал, Q (т)	27	1,8	3,6
Ранг крупности прогнозируемого рудного объекта	СМ	ММ	ММ
Примечание. Индексация типа элементарных ландшафтов: 1 – ландшафты равнинных площадей (углы склонов менее 5°) – закрытые территории; 2 – ландшафты слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий (углы склонов 5–10°) – полужакрытые территории; 3 – ландшафты средне- и сильнорасчлененных горных сооружений (углы склонов $\geq 10^\circ$). Индексация сульфидности по результатам оценки рудноформационной принадлежности прогнозируемого оруденения по трехбальной шкале: 1 – убогосульфидное ($\leq 1\%$ сульфидов); 2 – малосульфидное (1–5 %); 3 – умеренносульфидное и сульфидное ($\geq 5\%$). Индексация способа пробоподготовки: 1 – стандартный; 2 – мокрая ситовка.			

¹ Площадь аномалии i -го элемента (Au) может быть меньше площади АГХП.

Размерность месторождений полезных ископаемых

(Постановление Правительства РФ № 116 МПР РФ от 18 февраля 2016 г.)

Полезное ископаемое	Единица измерения	Запасы месторождений		
		крупных (более)	средних (от–до)	мелких (менее)
I. Энергетическое сырье				
Нефть и конденсат	млн т	30	30–5	5
Природный газ	млрд м ³	30	30–5	5
Примечание. По месторождениям нефти и газа европейской части Российской Федерации, в которых содержание серы в нефти менее 1,9 %, размеры запасов снижаются в 2 раза. Запасы конденсата оцениваются по шкале нефти.				
Уголь	млн т	300	300–50	50
коксующийся	«	500	500–50	50
энергетический	«	1000	1000–100	100
бурый	«	1000	1000–100	100
Горючие сланцы	«	1	1,0–0,1	0,1
Торф				
II. Черные металлы				
Железные руды	млн т	300	300–50	50
Примечание. Группа месторождений богатых железных руд может быть повышена при возможности добычи из них кусковых маргеновских руд в количестве более 25 % от общих запасов.				
Марганцевые руды	млн т	30	30–3	3
Хромовые руды	«	10	10–1	1
III. Цветные и редкие металлы				
Бериллий	тыс. т	10	10–0,5	0,5
Бокситы	млн т	50	50–5	5
Вольфрам (триоксид)				
коренные месторождения	тыс. т	100	100–10	10
россыпи	«	15	15–1	1
Висмут	«	15	15–1	1
Германий	«	1,5	1,5–0,5	0,5
Кобальт	«	15	15–2	2
Литий (оксид)	«	200	200–50	50
Медь	«	1000	1000–100	100
Молибден	«	50	50–5	5
Никель	«	200	200–30	30
Ниобий (пентоксид)	«	300	300–50	50
Редкие земли	«	500	500–100	100
Ванадий	«	1000	1000–100	100
Олово				
коренные месторождения	«	50	50–5	5
россыпи	«	10	10–1	1
Ртуть	«	15	15–0,7	0,7
Свинец	«	1000	1000–100	100
Стронций (целестин, стронцианит)	«	500	500–100	100
Сурьма	«	100	100–10	10
Тантал (пентоксид)				
коренные месторождения	«	5	5,0–0,5	0,5
россыпи	«	1	1,0–0,1	0,1
Титан (диоксид)				
коренные месторождения	млн т	10	10–3	3
россыпи (рутил)	«	1	1–0,1	0,1
россыпи (ильменит)	«	5	5–0,5	0,5

Полезное ископаемое	Единица измерения	Запасы месторождений		
		крупных (более)	средних (от-до)	мелких (менее)
Цезий (оксид)	тыс. т	5	5,0–0,5	0,5
Цинк	«	1000	1000–100	100
Цирконий (диоксид)	млн т	1,5	1,5–0,3	0,3
Уран ¹	тыс. т	20–50	5–20	2–5
IV. Благородные металлы				
Золото				
коренные месторождения	т	50	50–5	5
россыпи	«	3	3–0,5	0,5
Серебро	«	3000	3000–500	500
Платина				
коренные месторождения	«	30	30–3	3
россыпи	«	3	3–0,5	0,5
V. Горно-химическое сырье				
Фосфориты (пентоксид фосфора)	млн т	30	30–10	10
Апатиты	«	50	50–10	10
Борные руды (триоксид бора)				
бораты	«	1,5	1,5–0,2	0,2
боросиликаты	«	20	20–5	5

¹ По классификации МАГАТЭ.

Содержание, технология выделения и границы применения структурных и концентрированных признаков рудогенных систем

Группа признаков	Признаки	Содержание признака	Оцениваемые характеристики, параметры	Технология выделения признака	Границы применения
Структурные	Объемная зональность АГХП	В ГМС проявляется в закономерной позиции ореолов привноса и выноса центральных и центроостровных элементов [Соколов, 1998] ¹ . В РС халькофильного, часто также литофильного профиля в ядерной зоне – концентрация центроостровных элементов и деконцентрация центроостровных элементов, в зоне обмена – наоборот. В РС сидерофильного профиля – обратная зональность центроостровных элементов (концентрация в ядерной зоне, предположительно деконцентрация в зоне обмена). Для малопродуктивных систем – неупорядоченное строение	Прогноз, масштаб оруденения	1. Выделение типоморфных элементов центроостровных групп (рудного комплекса) известных и прогнозируемых типов оруденения. Формирование К _{цс} , выделение ореолов К _{цс} (или полиэлементных ореолов элементов рудного комплекса). 2. Выделение ореолов типичных центроостровных элементов (Cr, V, Co, Ni, Mn, Ti), уточнение их состава для изучаемой площади. 3. С использованием ореолов К _{цс} , К _{цб} , К _и – геометризация зональных АГХП и аномалий неупорядоченного строения. Наряду с предлагаемой технологией вскрытие структур АГХП может осуществляться с использованием методов многомерного статистического анализа и современных программных средств. По морфологическому признаку АГХП четко подразделяются на три группы: незонального строения слепого залегания (проявлена фланговая зона концентрации), двухзонные слабо- и глубоко эродированные поля (в центре – зона обмена, по периферии – фланговая зона концентрации), умеренно эродированные трехзонного строения (от центра к периферии смена ядерной зоны – зона обмена и далее – фланговой зоной концентрации)	1. Прогноз месторождений элементов халькофильной группы Au, Ag, Mo, Cu, Pb, Zn, Bi, Sb, Hg, W (Sn). 2. Аprobация при прогнозе месторождений сидерофильных элементов (с использованием К _{цб}). 3. Возможно применение при прогнозе месторождений литофильных элементов с неустановленной позицией в ГМС (после ее уточнения)

¹ Состав центроостровных и центроостровных элементов АГХП установлен на основе анализа данных авторов пособия и опубликованных данных (Абрамсон [1982]; Алабин [1988]; Безирганов [1988]; Бельчанская, Лям [1982]; Бровчук, Хорин [1981]; Ванярх, Солнцев [1988]; Варгунина [1986]; Головин [1985]; Гольдмахер [1988]; Гребенщикова [1994]; Григоров [1990]; Григорян [1982, 1987]; Григорян, Соловьев [1984]; Гусев [1994]; Ежков, Рахимов [1988]; Ивлев [1988]; Карлос [2002]; Константинов [1984]; Кравцова [2010, 2015]; Кузбный, Макаров [1988]; Лебедева, Смыслов [1988]; Маркосян, Торосян [1988]; Невструев [1987]; Некипелая, Некипелый [1988]; Нестеров [1986]; Овчинников и др. [1986]; Петровская и др. [1976]; Солнцев, Франковская [1988]; Трофимов и др. [1988]; Шульгина [1988] и др.).

Группа признаков	Признаки	Содержание признака	Оцениваемые характеристики, параметры	Технология выделения признака	Границы применения
Структурные	Иерархическая структура АГХС	Проявляется в закономерной последовательной локализации младших членов системы в пределах АГХП старшего ранга в ряду от РР, РУ до РМ, РТ включительно	Прогноз, масштаб оруденения	1. Оценка ранга прогнозируемых РС по аналогии с эталонными объектами или на основе общих закономерностей иерархии РС в зависимости от прогнозируемого генетического типа конечного члена многоуровневой системы или распространенности рудного элемента в земной коре. 2. Поэтапное выделение членов многоуровневой ГМС. При ГХР-200 – старших членов по признаку объемно-зонального строения (РУ), младших (РП) в связи с непрямолинейностью зональных структур при малой плотности опробования – по признаку полноты иерархической структуры концентрации элементов (см. ниже). При ГХР-1000 – по признаку полноты иерархической структуры концентрации элементов	Анализ полноты структуры проводится до определенного уровня, зависящего от разрешающей способности масштаба поисков 1 : 1 000 000 – РП; РУ, 1 : 200 000 – РП; 1 : 50 000 – РМ
	Позиция младших членов в АГХП старших рангов	РТ в АГХП рангов РМ, РП приурочены к ядерным зонам, в пределах которых – к отрицательным ореолам К _{цв} слабей, умеренной интенсивности. РТ, РМ в АГХП ранга РУ локализируются в основном в приграничных областях ядерной зоны и зоны обмена (на щелочных барьерах)	Прогноз продуктивных младших членов АГХС	Визуальное выделение. Пространственный анализ изменчивости значений К _{цв} с выделением резкоградиентных областей, соответствующих щелочным барьерам	Прогноз месторождений элементов халькофильной группы
	Зональность ГМС	Зональное строение ГМС на уровнях РР, РУ, РП, РМ проявляется в закономерной смене от центра системы к периферии проявлений кислого метасоматоза (вторичные кварциты, березиты, грейзены, артиллизиты и др.) проявлениями более щелочного метасоматоза (пропилиты и другие темные ассоциации)	Прогноз, масштаб оруденения	Результаты геологических наблюдений. При изучении ГМС старших рангов (РР, РУ, РП) по данным неспециализированных работ (геологосъемочных, геохимических и т. д.) выделение зон слабых метасоматических изменений может проводиться по экстремумам проявленности метасоматоза в рамках образования ГМС старшего ранга	В процессе геохимических работ используется при наличии достоверных определений метасоматических пород при прогнозе месторождений элементов халькофильной группы
	Векторная зональность АГХП	При ГХР-200 по потокам или вторичным ореолам рассеяния векторная зональность на уровне РТ, РМ проявляется в смене состава ореолов элементов-спутников прогнозируемого оруденения. В ЗРМ ¹ зональность не проявлена	Уровень среза, прогноз, формационная принадлежность	Оценка уровня эрозийного среза (ранг РТ, РМ) производится на качественном уровне по наличию ореолов типичных для прогнозируемого типа оруденения надрудных–верхнерудных или подрудных–нижнерудных элементов (прил. 4.16); при наличии на площади хорошо изученных месторождений конкретного типа оценка среза в первом приближении может проводиться с использованием эталонного графика К ₃ –Z (К ₃ – коэффициент зональности, Z – уровень среза). ЗРМ, как правило, сопровождаются аномалиями элементов рудного–подрудного среза	На уровне РТ, РМ ограничений нет

¹ Зона рассеянной минерализации.

Группа признаков	Признаки	Содержание признака	Оцениваемые характеристики, параметры	Технология выделения признака	Границы применения
Структурные	Иерархическая структура концентраций рудных элементов	Постепенное концентрирование элементов в процессе развития системы проявляется в квантовании содержаний – в наличии фиксированных интервалов содержаний элементов на каждом уровне организации АГХС, в высокой их дисперсии	При изучении иерархической структуры АГХС, прогноз	Анализ дисперсии содержаний рудных элементов. Выделение интервалов содержаний для каждого уровня организации АГХС с использованием эмпирических данных или метода классификации АГХС (см. выше)	Те же, что и при анализе иерархической структуры АГХС (см. выше)
	Масштаб и уровень концентрации элементов	Масштаб и уровень концентрации рудных элементов на конечных этапах развития РС определяет промышленную значимость объекта	Масштаб	Оценка продуктивности, прогнозных ресурсов аномалий с исключением количеств металла, концентрирующегося на ранних этапах развития РС, посредством использования коэффициента α	Ограничений нет
Концентрационные	Формационная принадлежность РС младших рангов	Проявляется для разных формаций в различных уровнях содержаний элементов, в изменении их соотношений (коэффициентов формационной принадлежности). Результаты определения формационной принадлежности по геохимическим данным опосредованно через уровень эрозионного среза и коэффициенты перераспределения элементов в зоне гипергенеза (k) влияют на оценку масштаба оруденения	Формационная принадлежность, коэффициент остаточной продуктивности (k), уровень среза, масштаб оруденения	Использование индикаторных значений коэффициентов формационной принадлежности. Визуальное сравнение ранжированных по КК рядов контрольного и эталонных проявлений	Ограничений нет
	Интенсивность метасоматических изменений	При переходе от ГМС старших рангов к младшим членам возрастает степень метасоматических изменений пород	Масштаб оруденения	Оценка соответствия ранга ГМС и интенсивности метасоматических процессов	Ограничений нет

**Классы генетически родственных элементов и их структурная позиция
в рудогенных системах**

Вмещающие горные породы	Геохимическая группа элементов	Классы родственных элементов		Главные типы промышленных месторождений	Структурная позиция в РС (ГМС) и в соответствующих АГХП
		номер класса	элементы		
Кислые—средние plutонические и вулканические, основные вулканические породы нормального и субщелочного рядов	Халькофильные: Pb, Zn, Cu, Au, Sn, W, Mo, Ag, Bi, Sb, Hg, As, (Li, Be, Ga)	1	Mo, W, Sn, Bi	Грейзеновый, гидротермальный, скарновый, порфировый	Типичные центростремительные элементы ГМС
		2	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, As	Гидротермальный, стратиформный, колчеданный, порфировый	//
		3	Sb, Hg	Гидротермальный, стратиформный	//
Средние — основные — ультраосновные породы щелочного ряда	Литофильные: Li, Be, Ga, Nb, Ta, Zr, Th, TR, Sr, P, (Ti, Fe)	4	Li, Be, Ga	Пегматитовый, грейзеновый	Вероятно, центростремительные элементы ГМС
		5	Nb, Ta, Zr, Th, PЗЭ, Sr, P, (Ti, Fe)	Карбонатитовый, метасоматический, пегматитовый, ликвационный	Позиция не установлена (в некоторых случаях центростремительные элементы ГМС)
Ультраосновные plutонические и вулканические, основные plutонические породы нормального ряда	Сидерофильные: Fe, Ti, Ni, Co, V, Cr, Mn, ЭПГ, (P, Cu)	6	Fe, Ti, Ni, Co, V, Cr, Mn	Магматический, ликвационный	Типичные центробежные элементы ГМС, центростремительные элементы РС чернометалльной специализации
		7	ЭПГ	Магматический, ликвационный	Центростремительные элементы РС платиновой специализации
Примечание. Главные типы промышленных месторождений приводятся по данным Смирнова и др. [1986], Синякова [1987], Бетехтина [1961]; выделение групп родственных элементов основывается на классификациях элементов Ферсмана [1973], Goldschmidt [1937] и металлогенических формаций Овчинникова [1992]. В скобках указаны элементы, проявляющие дополнительные свойства, сходные со свойствами элементов из других групп.					

**Ряды осевой зональности элементов рудных месторождений
[Инструкция..., 1983]**

Тип месторождений	Ряды зональности основных элементов-индикаторов
Медно-никелевые Кольского района Норильского района	Co-Ni-Cu-Zn-Pb-(Ag, Ba) Co-Ni-Cu-(Ag, Mo)-Ba-Pb-(Ti, Sn, Zr)
Редкометалльные пегматиты	W-Nb-Ta-Sn-Cs-Rb-Li-As
Вольфрамовые скарново-шеелитовые грейзеновые кварц-гюбнеритовые кварц-шеелитовые	W-Ba-Sn-(Bi, Mo)-Zn-(Pb, Ag) Be-Sn-Bi-W-(Zn, Pb, Cu) Bi-(Sn, Be)-Co-W-Zn (W, Mo, Bi)-Be-Sn-Ag
Оловорудные кварц-касситеритовые сульфидно-касситеритовые	(As, Be, W)-B-Sn-Cu-(Zn, Ag, Pb) (W, Mo, As, Co)-(Sn, Cu)-(Zn, Ag, Pb)
Медноколчеданные	Mo-Co-As ² -Cu-Zn-Pb-Ag-As ¹ -Ba
Полиметаллические скарновые жильные	Sr-(W, Mo)-Co-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag-(Sb, As)-Ba-I W-As ² -Sn-Co-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag-As ¹ -Ba-I
Золоторудные высокотемпературные среднетемпературные низкотемпературные	(Be, W, Au, As ² , Ni, Co)-Cu-Zn-(Pb, Ag, As ¹ , Sb) (Co, W, Be)-Bi-(Sn, Mo)-Cu-Au-Zn-Pb-(Ag, As, Sb) (W, Bi, Sn)-Mo-(Cu, Zn)-Pb-Au-Ag-(As, Sb)-Ba-Hg
Меднопорфировые	(B, W, Co, Sn)-(Mo, Cu)-Bi-Au-(Zn, Pb, Ag)-Sb-As-Ba-I
Медные (жильные)	Ni-Co-Bi-Cu-(Sn, Ag)-Zn-Pb-Ag-Ba-I
Урановые (настуран-сульфидной формации)*	Mo-Cu-Zn-Pb-Ag
Стратиформные свинцово-цинковые	Be-Ni-Co-Zn-Pb-Ag-Cu-As-Ba
Ртутные	(Bi, Mo)-Cu-Zn-Pb-Ag-(Hg, As, Sb)
Сурьмяно-ртутные	(Ni, Co, W)-Mo-Cu-Zn-Pb-Sn-Ag-(Sb, As)-Hg
<i>Обобщенный ряд</i>	W ¹ -Be-As ¹ -Sn-U-Mo-Co-Ni-Bi-W ² -Cu ¹ -Au-Zn-Pb-Ag-Cd-Cu ² -Hg-As ² -Sb-Ba-I
Примечание. Элементы в рядах расположены в порядке от тыловых зон первичных ореолов к фронтальным, для субвертикальных рудных залежей и первичных ореолов – снизу вверх. Соотношения элементов, заключенных в скобки, в ряду не установлены. На месторождениях, отмеченных звездочкой, изучены ореолы ограниченного круга элементов-индикаторов.	

**Рекомендуемые методы геохимических съемок в зависимости
от ландшафтных условий проведения работ**

Тип территорий	Ландшафтные условия проведения работ	Тип ореолов	Методы геохимических поисков
Закрытые	1. Равнинные и слаборасчлененные площади с широким или сплошным развитием дальнеприносных рыхлых отложений различного генезиса (водно-ледниковых, прибрежно-морских, озерных, эоловых, пепловых и др.). 2. Равнинные участки элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных супераквальных ландшафтов с повышенной мощностью автохтонных и аллохтонных рыхлых отложений. 3. Специфические закрытые (полузакрытые) территории: области современного вулканизма, ландшафты с развитием эоловых отложений и т. п.	Остаточные вторичные ореолы и механические потоки рассеяния на поверхности не проявлены. Проявлены наложенные сорбционно-солевые ореолы и потоки рассеяния	Методы поисков по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам: метод анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) в комплексе с методом анализа подвижных форм (МАПФ), методы МММ и МЕФФА. Опробование производится по квадратной сети, соответствующей масштабу поисков: при ГХР-200 – 1×1 км, 2×2 км; при ГХР-50 (25) – 500×500 м (250×250 м). Методы глубинного опробования, в том числе в районах развития покровно-ледниковых отложений – тиллевая литохимическая съемка с опробованием нижних горизонтов моренных отложений (могут применяться при детализационных работах). Гидро-, био- и атмосферические методы могут применяться только на основе специального обоснования в качестве сопутствующего вспомогательного метода
Полузакрытые	1. Ландшафты слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий с повышенной мощностью автохтонных рыхлых образований¹. 2. Равнинные и слаборасчлененные площади с широким развитием локально-перемещенных отложений (основных морен, дефлюкционных и солифлюкционных отложений незначительной мощностью и т. п.) или с чередованием элювиально-делювиальных отложений и дальнеприносных рыхлых отложений незначительной мощностью	Остаточные ореолы и механические потоки рассеяния ослаблены. Проявлены наложенные сорбционно-солевые ореолы и потоки рассеяния	При ГХР-200 в ландшафтах слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий – методы по наложенным сорбционно-солевым потокам рассеяния, в частности, метод анализа сверхтонкой фракции по потокам рассеяния (МАСФ ПР) с опробованием донных осадков устьевых частей водотоков I порядка с бассейнами водосбора $2-8$ км ² . На участках с низкой плотностью речной сети дополнительно отбираются рыхлые пробы из эрозионных ложбин и из нижних частей пологих склонов. Для равнинных и слаборасчлененных площадей с низкой плотностью речной сети, перекрытых аллохтонными рыхлыми отложениями, как и на закрытых территориях – вышеперечисленные методы поисков по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам с опробованием по квадратной или близкой к ней сети, соответствующей масштабу работ: при ГХР-200 – 1×1 км, 2×2 км; при ГХР-50 (25) по сетям 500×250 м, 500×100 м, 250×250 , допускается сеть 500×500 м

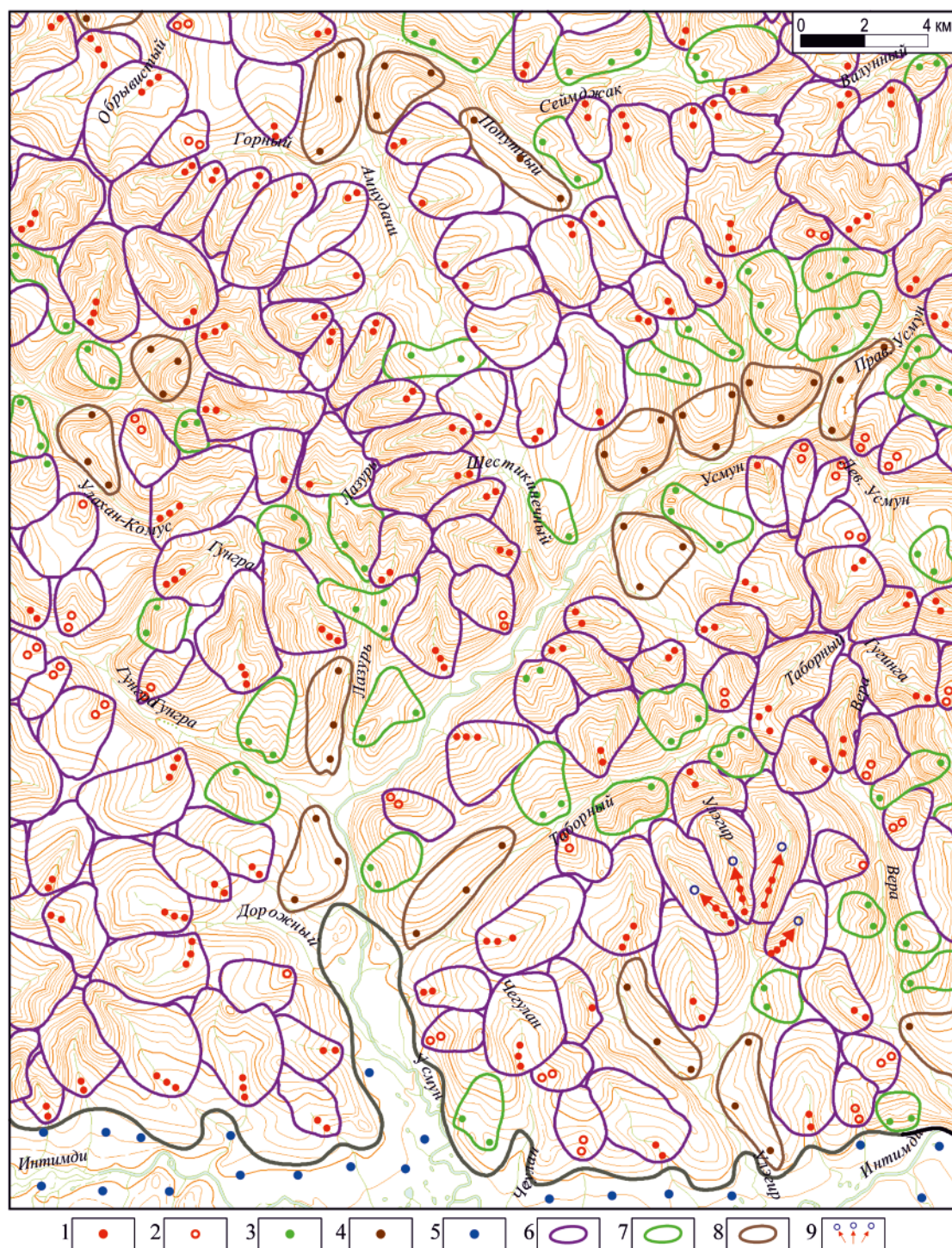
¹ Ландшафты слаборасчлененных низкогорий и плоскогорий выделены в категорию полузакрытых территорий по результатам оценки проявленности известных рудных объектов, в первую очередь золоторудных, в механических потоках рассеяния на территории Амурской, Магаданской областей и Чукотки.

Тип территорий	Ландшафтные условия проведения работ	Тип ореолов	Методы геохимических поисков
Открытые	Ландшафты расчлененных горно-складчатых областей с преимущественным развитием маломощных элювиально-делювиальных отложений	Хорошо проявлены остаточные вторичные ореолы и механические потоки рассеяния	При ГХР-200 – стандартный метод литохимических поисков по потокам рассеяния с анализом валовых содержаний элементов в пробах. Опробуются донные осадки устьевых частей водотоков I порядка с бассейнами водосбора 2–8 км ² . Дополнительно отбираются рыхлые пробы из эрозионных ложбин и из нижних частей пологих склонов. При ГХР-50 применение метода поисков по потокам рассеяния возможно только на площадях с сильно расчлененным рельефом и высокой плотностью речной сети, но в целом не рекомендуется ¹ . Применяется метод поисков по остаточным вторичным ореолам рассеяния, что совершенно необходимо на равнинных и слабо расчлененных площадях с низкой плотностью речной сети (например, в условиях холмисто-увалистого рельефа, характерного для многих участков на Анабарском щите). Опробование производится по квадратной или близкой к ней сети, соответствующей масштабу поисков: при ГХР-200 по сетям 1 × 1 км, 2 × 2 км; при ГХР-50 (25) по сетям 500 × 250 м, 500 × 100 м, 250 × 250 м, допускается сеть 500 × 500 м. При ГХР-200 и ГХР-50 возможно также применение метода анализа сверхтонкой фракции (МАСФ, МАСФ ПР) – универсального метода поисков как на закрытых, так и на открытых территориях

¹ По опыту работ, применение метода поисков по потокам рассеяния в масштабе 1 : 50 000 не несет существенную дополнительную прогнозную информацию в сравнении с результатами предшествующих геохимических работ масштаба 1 : 200 000. Поиски по вторичным ореолам в этом масштабе более информативны.

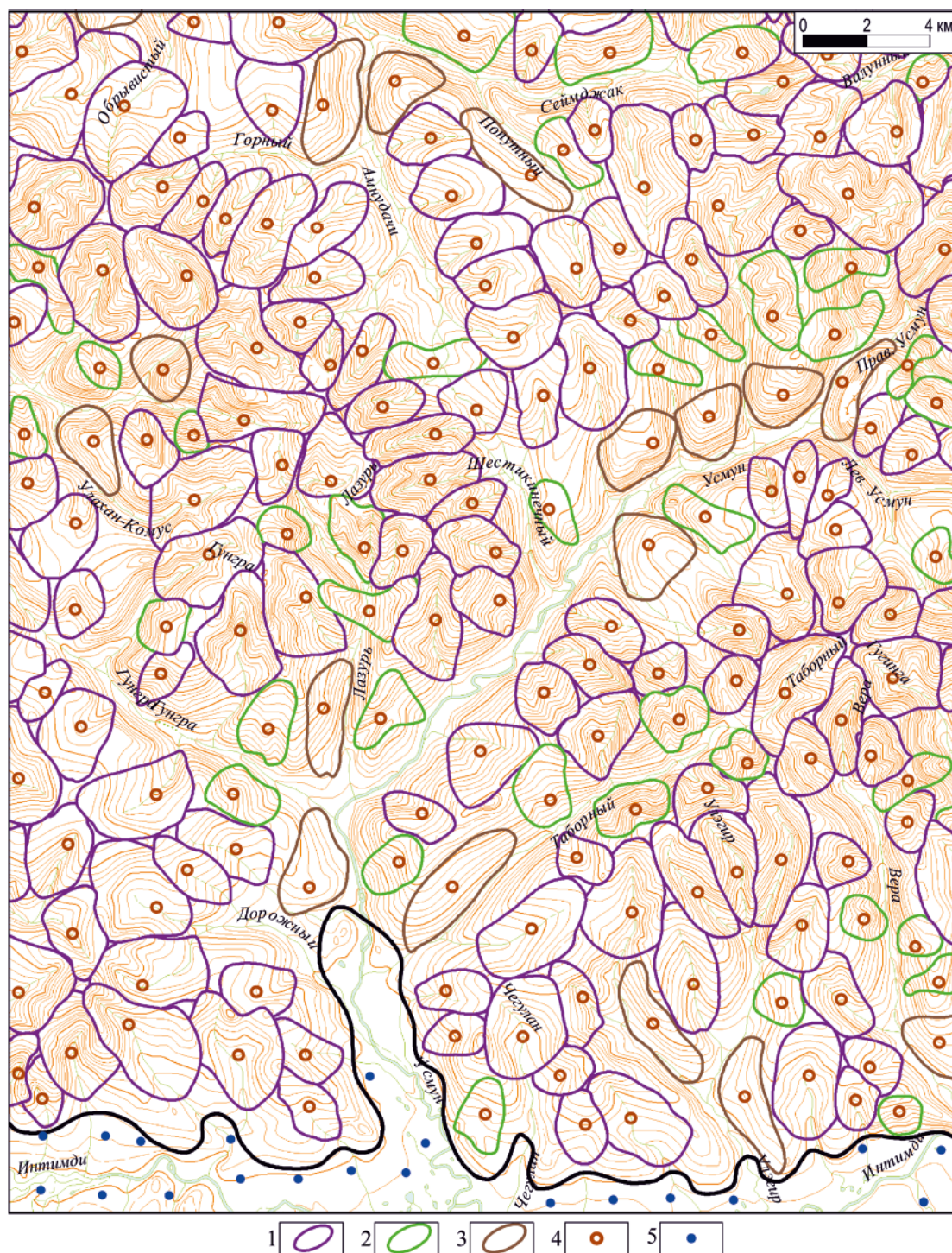
5. ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

**Фрагмент проектной карты опробования площади листа
О-52-XXVI (Южная Якутия)**



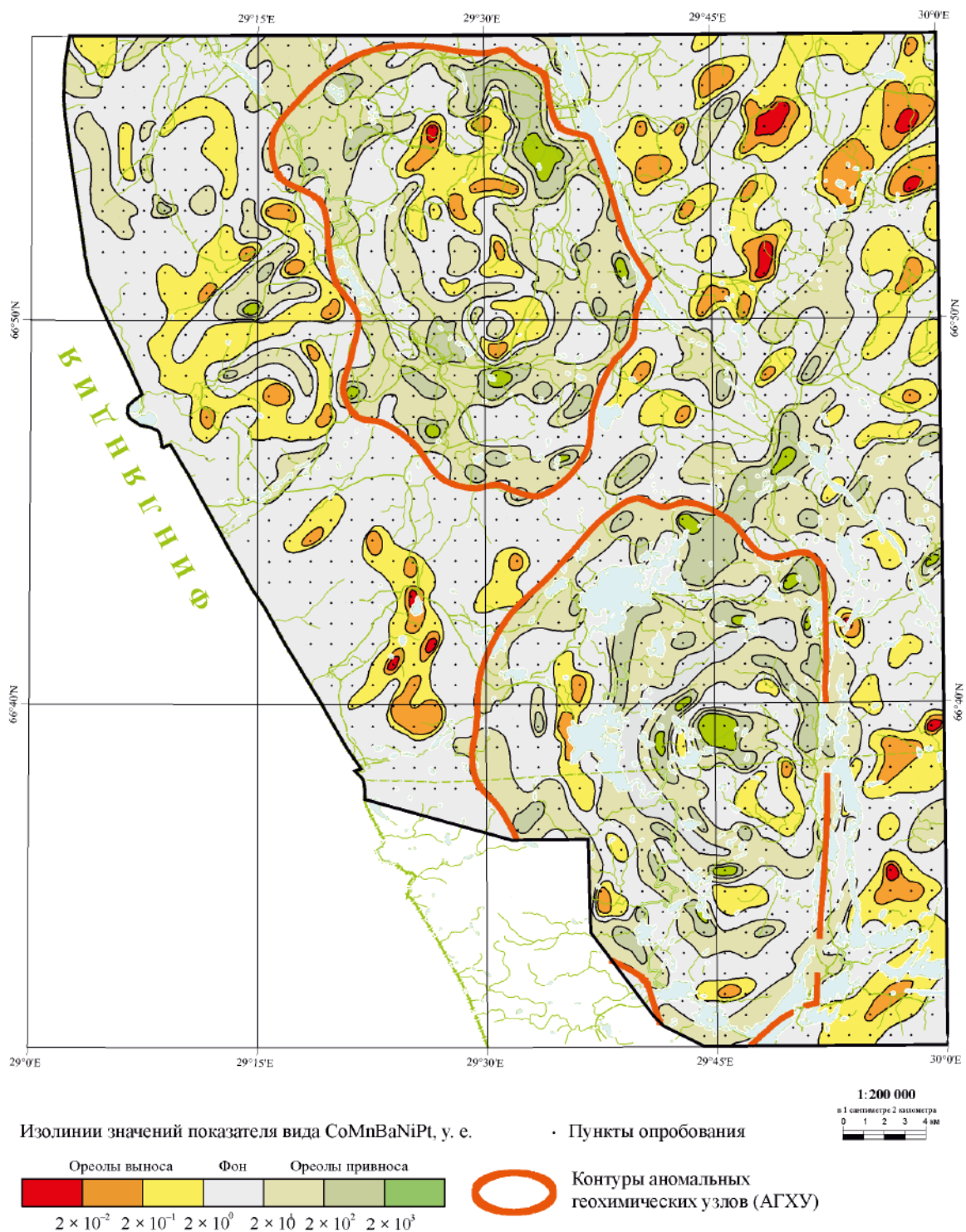
1–5 – точки опробования рыхлых отложений: 1 – аллювий постоянных водотоков I порядка ($S=2-8 \text{ км}^2$), 2 – пролювий временных водотоков и делювий или коллювий крупных эрозионных ложбин ($S \geq 2 \text{ км}^2$), 3 – делювий или коллювий мелких эрозионных ложбин ($S < 2 \text{ км}^2$), 4 – делювий или коллювий протяженных ровных склонов, 5 – точки опробования по вторичным ореолам на закрытых и полужакрытых территориях (прилегающие к долинам крупных водотоков пологие склоны); 6 – бассейны водосбора и сноса рыхлого материала постоянных и временных водотоков, эрозионных ложбин; 7 – суммарные бассейны сноса рыхлого материала мелких эрозионных ложбин; 8 – условные суммарные бассейны сноса рыхлого материала на протяженных ровных склонах; 9 – пример трансформации точек опробования в центры бассейнов водосбора

**Фрагмент карты центров бассейнов водосбора и сноса рыхлого материала
(делювия, коллювия или пролювия) на площади листа О-52-XXVI
(Южная Якутия)**

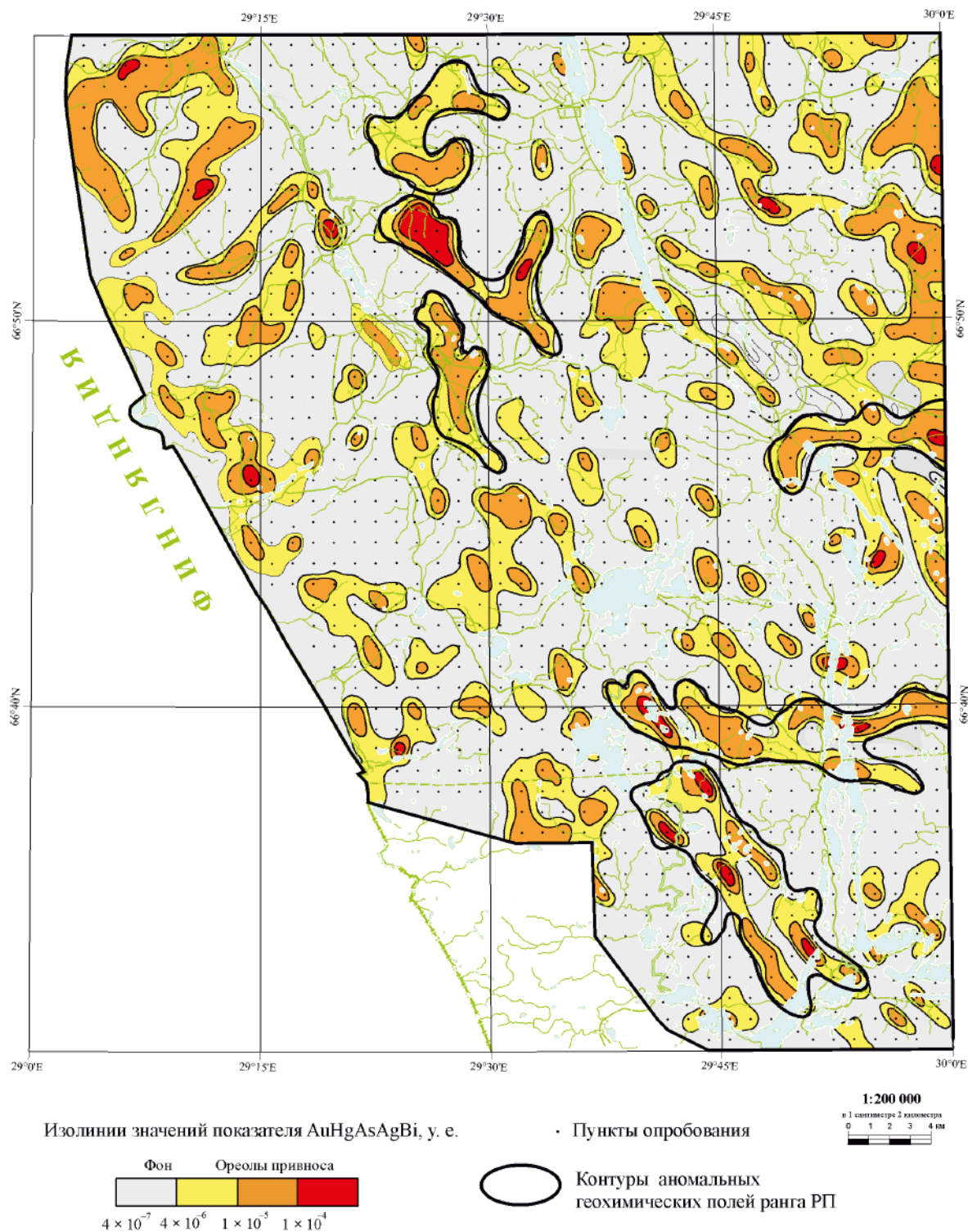


1–3 – бассейны водосбора: 1 – бассейны сноса аллювия постоянных, пролювия временных водотоков и делювия или коллювия эрозионных ложбин, 2 – суммарные бассейны сноса рыхлого материала сближенных мелких эрозионных ложбин, 3 – условные суммарные бассейны сноса рыхлого материала на протяженных ровных склонах; 4 – центры бассейнов; 5 – точки опробования по вторичным ореолам на закрытых и полужакрытых территориях (прилегающие к долинам крупных водотоков пологие склоны)

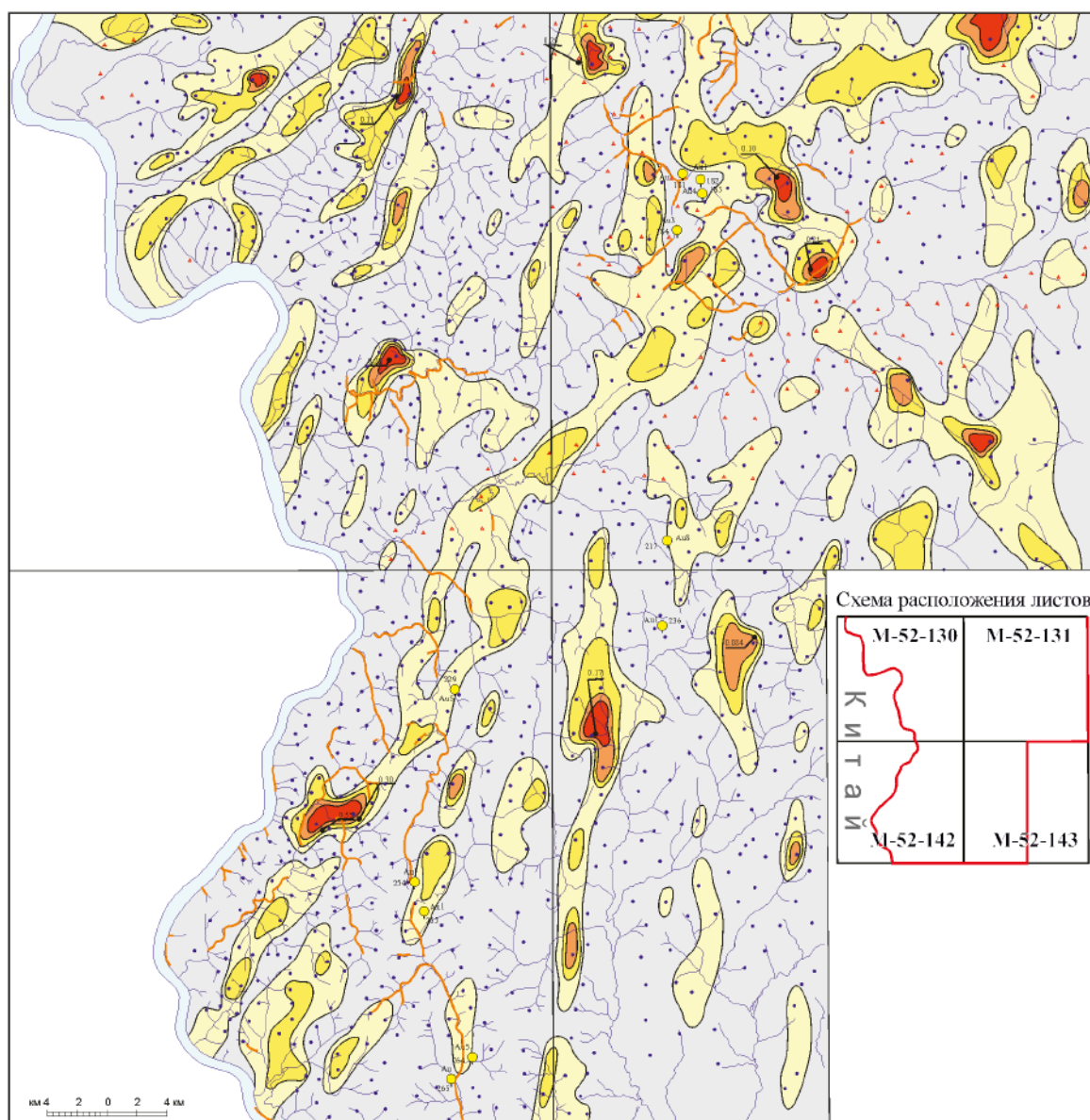
Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ЦБ
элементов вида $\text{Co} \times \text{Mn} \times \text{Ba} \times \text{Ni} \times \text{Pt}$ площади листов Q-35-XII, XVIII
(Карело-Кольский регион)



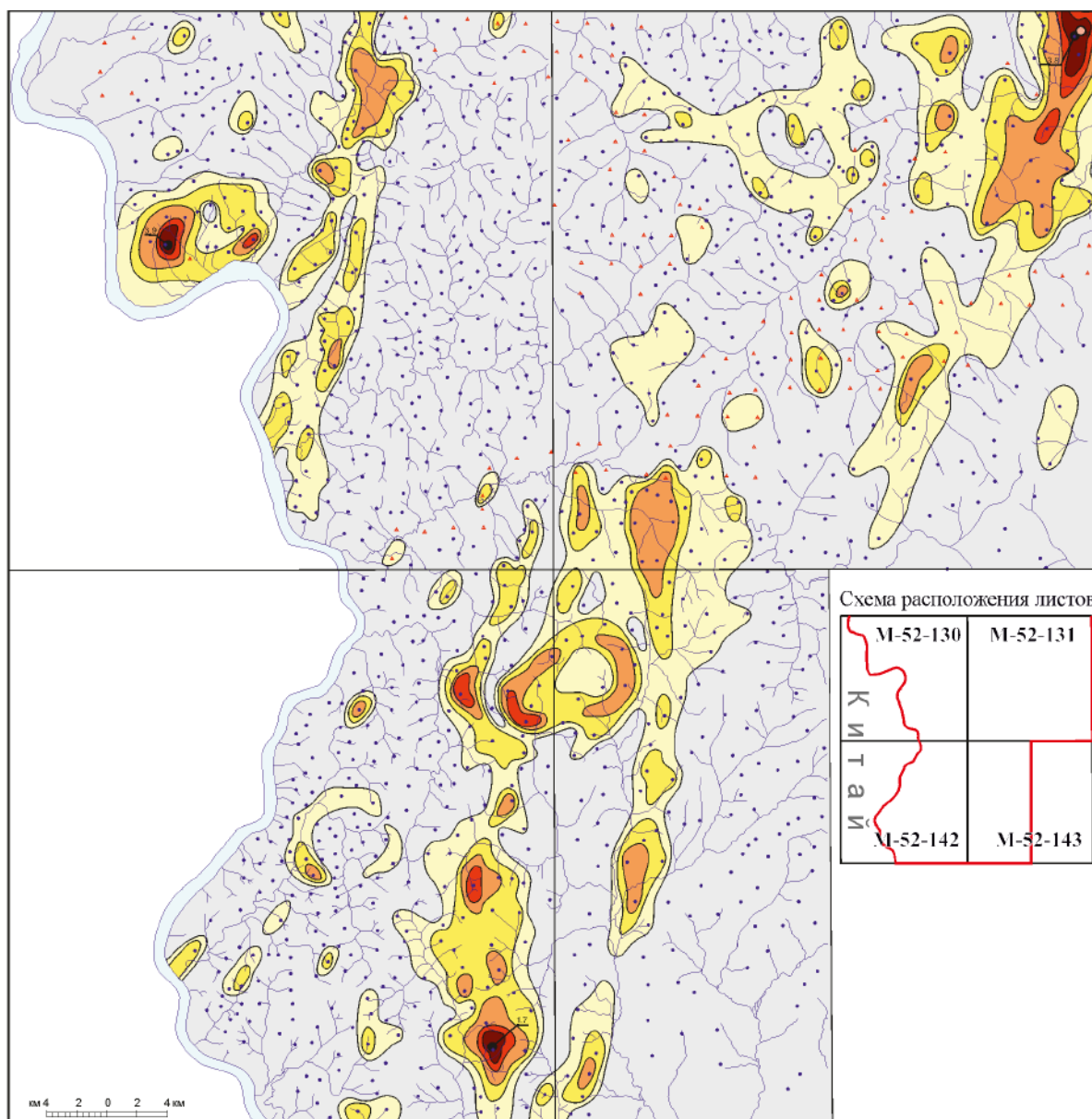
Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ПС элементов вида $Au \times Hg \times As \times Ag \times Bi$ площади листов Q-35-XII, XVIII (Карело-Кольский регион)



Фрагмент карты ореолов золота площади листов М-52-XXXV,XXXVI
(Еврейская АО)

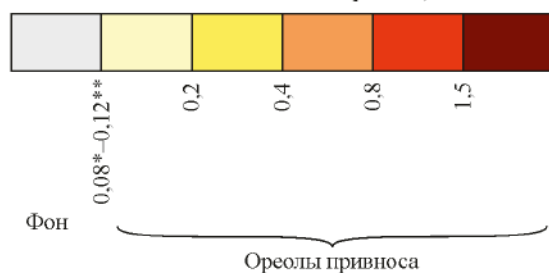


**Фрагмент карты ореолов сурьмы площади листов М-52-XXXV,XXXVI
(Еврейская АО)**



Sb

Шкала интенсивности ореолов, г/т



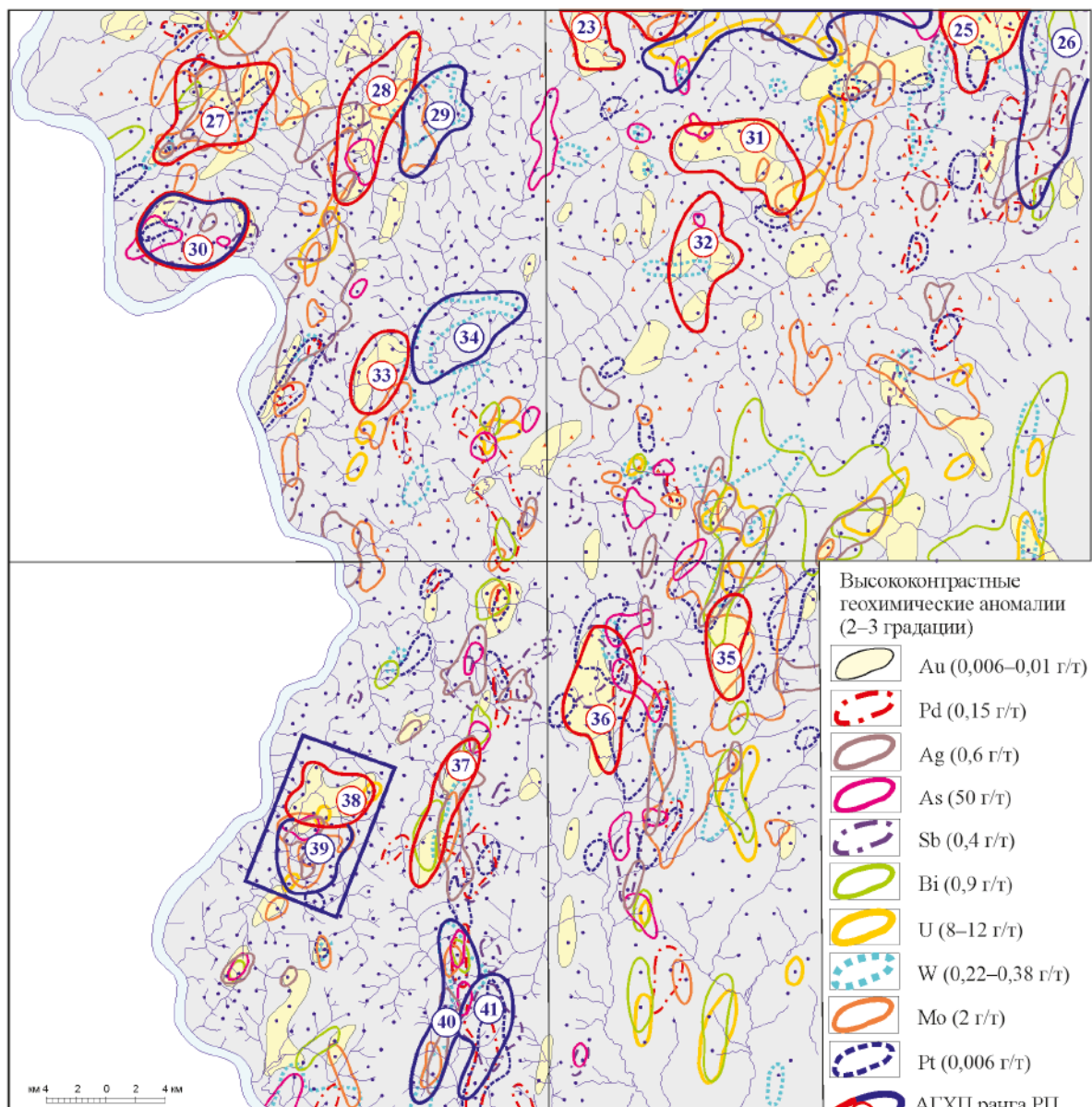
Примечание:

*минимальное аномальное содержание в горизонте В почв

**минимальное аномальное содержание в отложениях водотоков

- Центры бассейнов водосбора водотоков I порядка и сноса коллювия и делювия эрозионных ложбин
- ▲ Точки опробования рыхлых отложений на закрытых и полужакрытых территориях по сети приблизительно 2 × 2 км
- 3,9 Максимальные содержания сурьмы, г/т
- Малое свинец-висмут-олово-сурьмяное месторождение

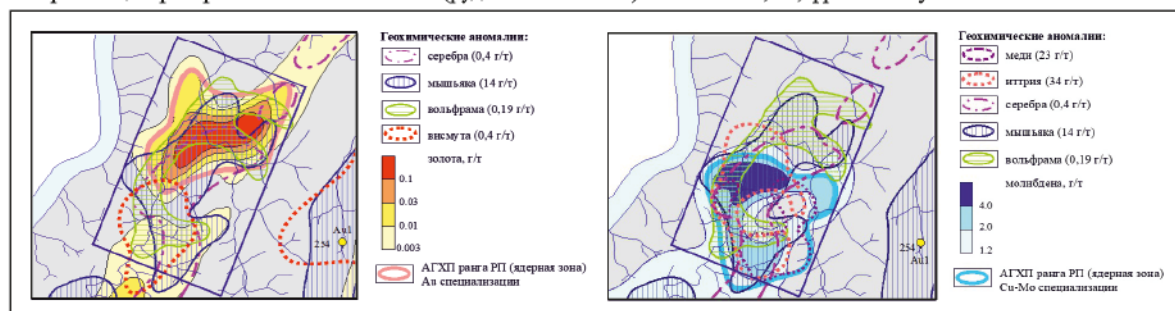
**Фрагмент карты ореолов элементов рудного комплекса (ЦС элементов)
ранга РП площади листов М-52-XXXV,XXXVI (Еврейская АО)**



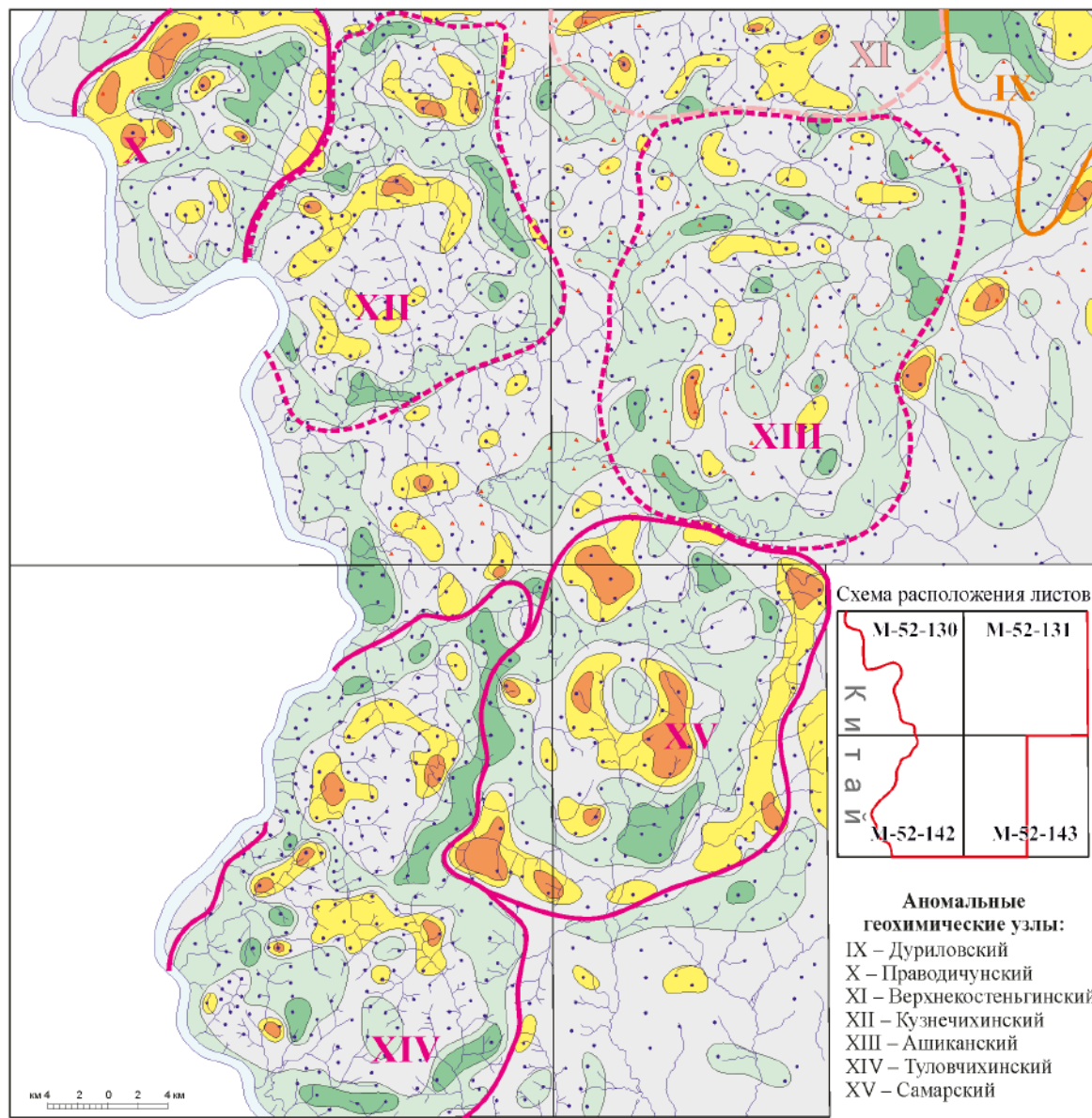
- Центры бассейнов водосбора водотоков I порядка и сноса коллювия и деловия эрозионных ложбин
- ▲ Точки опробования рыхлых отложений на закрытых и полузакрытых территориях по сети приблизительно 2 × 2 км

Участок Туловчихинский

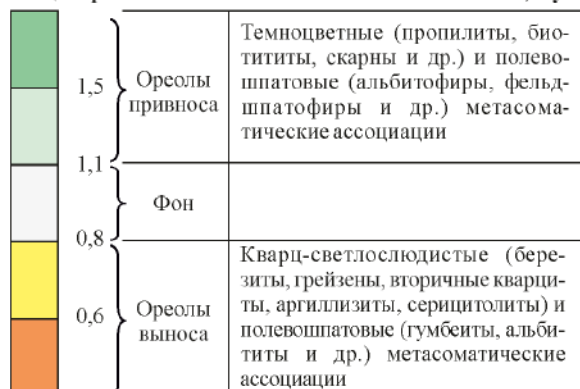
Ореолы центростремительных элементов (рудного комплекса) АГХП № 38, 39, фрагмент Туловчихинского АГХУ



Фрагмент карты мультипликативных вторичных ореолов ЦБ элементов вида $\text{Co} \times \text{Ni} \times \text{Cr} \times \text{V} \times \text{Zn}$ площади листов М-52-XXXV,XXXVI (Еврейская АО)



Шкала интенсивности ореолов центробежных элементов $\text{Co} \times \text{Ni} \times \text{Cr} \times \text{V} \times \text{Zn}$, в у.е.

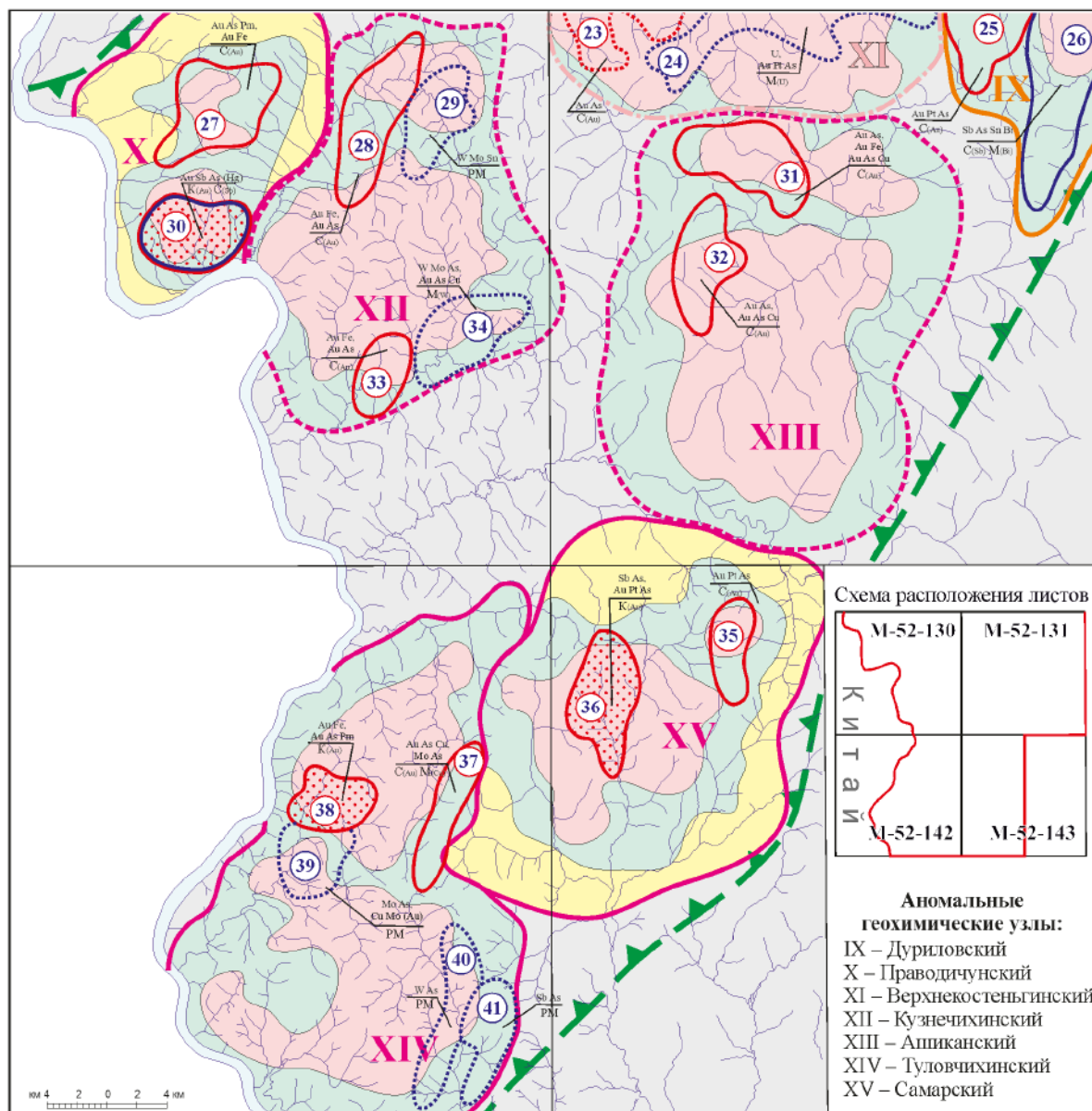


- Центры бассейнов водосбора водотоков I порядка и сноса коллювия и делювия эрозионных ложбин
- ▲ Точки опробования рыхлых отложений на закрытых и полужакрытых территориях по сети приблизительно 2×2 км

Аномальные геохимические узлы (АГХУ) и их номера, по структурно-концентрационным признакам соответствующие: 1 – высокопродуктивным, 2 – продуктивным, 3 – малопродуктивным рудным узлам

Оранжевым цветом оконтурены АГХУ, соответствующие известным рудным узлам, малиновым – прогнозируемым рудным узлам, розовым – площадям развития непромышленной и рассеянной минерализации

Фрагмент геохимической основы прогноза площади листов М-52-XXXV,XXXVI
(Еврейская АО)



Границы Малохинганской геохимической зоны

Аномальные геохимические узлы (АГХУ) и их номера, по структурно-концентрационным признакам соответствующие: 1 – высокопродуктивным, 2 – продуктивным, 3 – малопродуктивным рудным узлам

Оранжевым цветом оконтурены АГХУ, соответствующие известным рудным узлам, малиновым – прогнозируемым рудным узлам, розовым – площадям развития непромышленной и рассеянной минерализации

Строение аномальных геохимических узлов:

1 – ядерная зона, 2 – зона обмена (с фрагментами зоны обмена АГХII ранга РП), 3 – фланговая зона концентрации

Ядерные зоны аномальных геохимических полей ранга РП (их номера):

1 – высокопродуктивных, 2 – продуктивных, 3 – малопродуктивных

Красным цветом выделены АГХII, специализированные на Au, темно-синим – на Sb, W, U, Pt, Mo, Sn

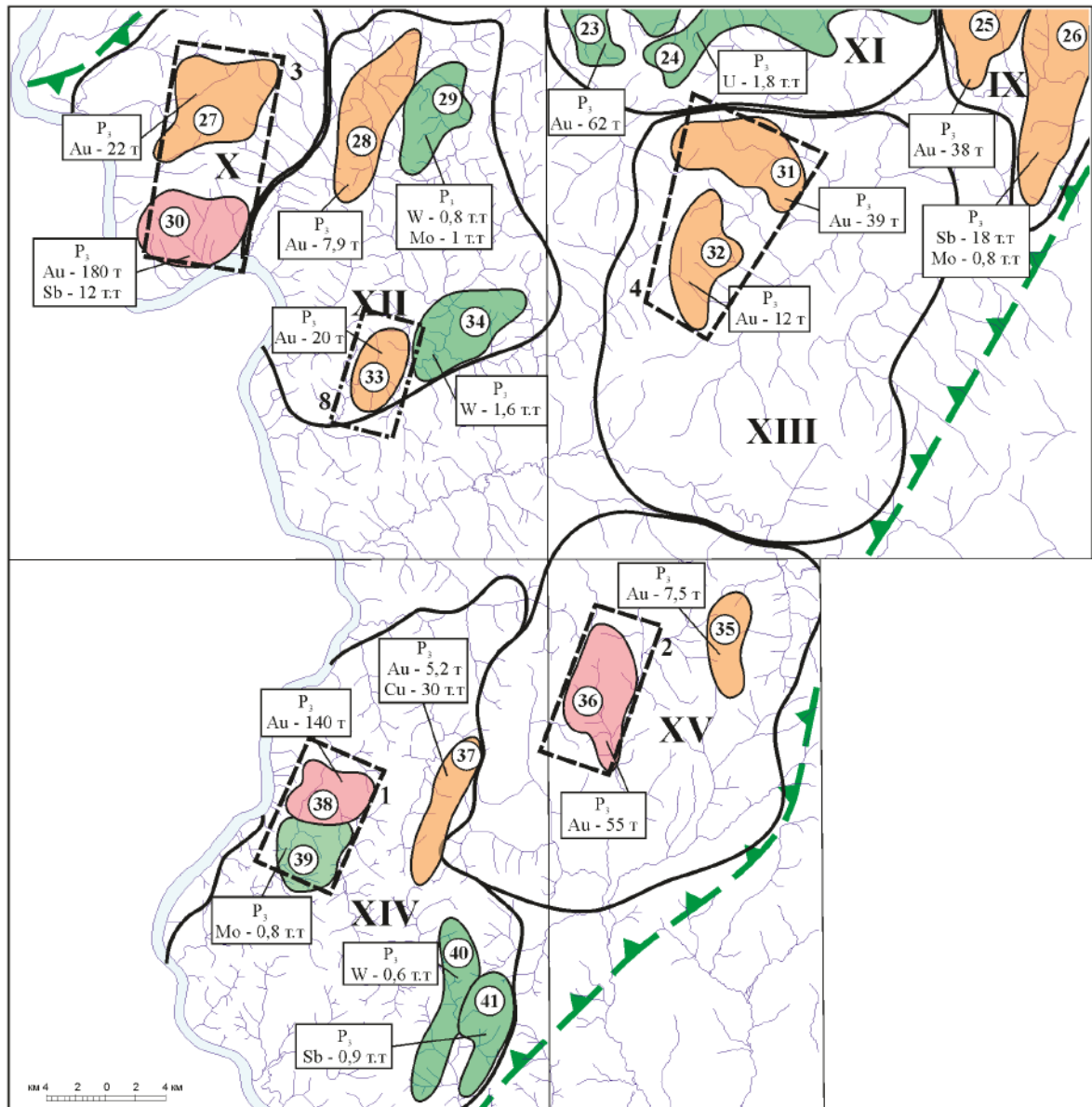
Au Fe,
Au As Pm
K(Au)

Прогнозируемый геохимический тип (числитель) и масштаб объекта (знаменатель).
К – крупное, С – среднее, М – мелкое месторождение, РМ – рассеянная минерализация

Фрагмент прогнозно-геохимической карты площади листов М-52-XXXV,XXXVI
(Еврейская АО). Авторский вариант



Схема прогноза полезных ископаемых



Потенциально рудоносные геологические образования

Номер на геол. карте	Индекс возраста	Знак на карте	Геологическое подразделение (формация)	Роль в процессах рудообразования	Пространственные связанные объекты ¹	Геохимическая специализация ²	Примечание
26	λK_{50b}		Обманский комплекс (дацит-риолитовая)	Физико-механический барьер; источник Cu, Sn, Ag, Zn	$Sn_{10}U_7Mo_5Zn_{10}As_{11}$	$[F_{53}]Cu_4Sn_{3.8}Ag_{0.5}Zn_2Zr_{1.7}Pb_{2.4}$	Магматический бассейн мезозойской эпохи, производными которого являются вулканы и субвулканические интрузии основного, среднего и кислого составов, занимал обширное пространство, генерировал высокотемпературные (до 1250 °C) расплавы и мог оказать существенное термическое воздействие на терригенно-карбонатные отложения хинганской серии, способствовавшее дополнительному распаду связей золота с углеродистым веществом
24	λK_{51}		Солонечный комплекс (дацит-риолитовая)	Физико-механический барьер; источник Sn, Mo, Zn	—	$[As_{11}Hf_7]Sn_{5.2}Mo_{0.7}Zr_{0.4}Zn_{2.0}Nb_{0.4}Be_{2.3}Pb_{1.9}Cu_{1.7}YTh_{1.6}$	
21	$\alpha\beta K_{51st}$		Станолірський комплекс (андезитовый)	Физико-механический и химический барьер; источник Nb, Mo, Zr, Pb, Au, (МПП)	(SnAu) ₁	$[As_{11}Sn_{8.4}]Pb_{2.5}Zr_{2.7}Nb_{2.4}Zn_{0.8}Mo_{0.8}B_{1.9}(RbY)_{1.8}(BeLiTi)_{1.6}$	
20	K _{51st}		Станолірська свита (андезитбазальтовая)				
18	$e\gamma_1P_2-T_1h$		Харинский комплекс (лейкогранитовая)	Гидротермальные изменения вмещающих пород (кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты, боросиликатные скарны, грейзены, пропилиты); контактовый метаморфизм; привнос Sn, W, Be, V, Ta, Nb, Rb, Cs, U, Th; физико-механический барьер	$U_5(AsSnTR)_1$	$[Bi_{12}As_{8.7}W_{7.0}Be_{5.7}Si_{15.0}]Pb_{3.7}Th_{3.2}B_{2.8}(ZnU)_{2.0}Mo_{1.8}(RbLa)_{1.7}(ZrNb)_{1.5}$	Термическое воздействие на углеродистые породы хинганской серии с ослаблением связей золота с органическим веществом и повышением его миграционной способности. Проявление потенциально золоторудных березитов, парагенетически связанных с графитами харинского комплекса в слабо эродированных (опущенных) блоках
17	$\gamma_1P_2-T_1h$					$[Bi_{12}As_{9.4}Be_{7.1}Zr_{3.5}Ti_{1.0}Pb_{2.4}Mo_{2.0}Mn_{1.9}Cr_{1.8}Th_{1.5}]$	
16	$\gamma_1C_{2-3}^{\dagger}$		Тярмо-бурейнский комплекс (габбро-гранодиорит-гранитовая)	Гидротермальные изменения вмещающих пород (кварц-альбит-известково-известковые метасоматиты, известково-известковые скарны); контактовый метаморфизм; привнос U, Th, TR, Be, Zr, Rb; физико-механический барьер	(AuTh) ₁	$[Se_{33}Bi_{16.1}As_{8.0}]Sn_{4.5}Be_{2.3}Pb_{2.1}Rb_{1.7}Ti_{1.8}Mo_{1.5}$	Петролого-геохимические (в том числе изотопные) данные свидетельствуют о неправомерности выделения тырмо-бурейского комплекса в качестве самостоятельного. Его породные составляющие следует относить частично к харинскому комплексу (лейкограниты и все гидротермально-метасоматические образования), частично к биробиджанскому комплексу (габбро, гранодиориты)
14	$\gamma_1C_{2-3}^{\dagger}$		Биробиджанский комплекс (габбро-гранитовая)	Физико-механический и химический барьер; источник МПП (?), Au (?)	Zn_2As_1	$[Be_{14}(SnSe)_{12}Hf_{6.8}]La_{3.5}Th_{3.0}Ce_{3.2}Ba_{2.9}U_{2.5}Pb_{2.2}Li_{2.0}Zr_{1.9}Rb_{1.7}$	Интрузивы биробиджанского комплекса имеют плагино- или дололитовую форму, занимают межформационное положение и проявлены более локально, чем это отражено на геологической карте. Расширение контуров интрузивных тел является следствием десерпционно-делювиальных процессов, способствующих разному элювиального материала по склонам возвышенностей на значительные (до 3–5 км) расстояния с перекрытием и, соответственно, сужением площадей выходов геохимически специализированных и матплетогенически значимых отложений хинганской серии, прежде всего углеродистых пород кимканской толщи
12	γ_1Ob			Гидротермальные изменения вмещающих пород (кварц-плагиоклаз-ортоклазовые метасоматиты, магнетизованные скарны); контактовый метаморфизм; привнос U, Th, TR; физико-механический барьер	$U_7(BeAu)_4Zr_3(RbTh)_1(AsMoSnTR)_1$ россыпи Au	$[Se_{23}As_{8.2}(BiTh)_{4.6}Pb_{2.4}Cu_{2.2}Rb_{2.1}U_{1.8}Zn_2Zn_{1.5}]$	
10	γ_1Ob			Физико-механический и химический барьер; источник МПП (?), Au (?)	(BeTR) ₁	$[Se_{14}Sn_{11}As_{11}Hf_{6.7}U_{3.3}Th_{1.0}Mo_{3.0}Cr_{2.5}Zr_{2.2}Sn_{1.0}(CoPb)_{1.5}]$	

¹ Подстрочный символ – частота встречаемости рудных объектов.² В квадратные скобки заключены эпигенетические элементы группы накопления.

Потенциально рудоносные геологические образования (окончание)

№ на геол. карте	Индекс возраста	Знак на карте	Геологическое подразделение (формация)	Роль в процессах рудообразования		Пространственно связанные рудные объекты ¹	Геохимическая специализация ²	Примечание
9	C ₁ km		Хинганская серия	Кимканская толща нерасчлененная (карбонатно-кремнисто-углеродисто-сланцевая)	Физико-механический и химический барьер; источник Au, МПГ, Fe, Mn, V, Co, Ni, P, U, Mo, Ag	Fe ₉₀ U ₁₈ Au ₈ Sn ₅ Mn ₁ Bes ₃ (VNB) ₂ (ZnAsZrPb), россыпи Au	[Bi ₄₀ Se ₂₇ U ₁₂₀ Zr ₇ Mo _{5.7} Sn _{5.2} V _{4.7} Au _{3.3} Li _{2.5} (CrZn) _{2.4} (YPb) _{1.9} Rb _{1.8} Mn _{1.6}]	Контурные выходов терригенно-карбонатных пород (особенно обогащенных углеродистым веществом) хинганской серии необоснованно уменьшены в результате их перекрытия делением разновозрастных гранитоидов, тем самым снижена их металлогеническая роль как источника металлов (Au, U, ЭПГ), вовлеченных в процессы эпигенетического перераспределения и рудообразования
8	C ₁ ln			Лондоковская свита (карбонатная)			[Ag ₉₀ Bi ₂₆₀ Sn ₃ U ₁₁ As _{8.5} Sc _{7.6} Si _{6.7} Mo _{6.4} Ba ₃ P _{3.0} Be _{2.2} Zr _{2.1} Cu _{2.0} Mn _{1.5}]	
7	Vmr			Мурандавская свита нерасчлененная (кремнисто-терригенно-карбонатная)			[Bi ₄₄ Mo ₃₁ Sb ₁₇ Cd ₄ As ₁₃ Sc _{7.0} Si _{6.7} Mo _{6.4} Co _{4.2} Ba ₃ P _{3.0} Be _{2.2} Zr _{2.1} Cu _{2.0} Mn _{1.5}]	
5	vAR ₂ a		Амурский комплекс (перидотит-пироксенит-габбровый)	Физико-механический и химический барьер; источник Cu, Ni, МПГ (?)		-	[Sn ₁₀ Bes ₀ As _{3.3} Pb _{1.7}]	По Sm-Nd изотопно-геохимическим данным (Котов и др., 2009), возраст габброидов амурского комплекса составляет 486 млн лет и сопоставим с возрастом биробиджанского комплекса, а возраст метаморфических образований амурской серии находится в интервале 0,5–1,2 млрд лет, что отвечает временному рубежу рифей–венд. Такого же мнения придерживаются китайские геологи. То есть, седиментогенез и метаморфизм отложенный амурской (прежде всего уральской свиты) и хинганской серий могли иметь место в единую эпоху. Среди сланцевых толщ уральской свиты картируются линзы серпентинитов, обогащенных Au и Ni, которые имеют много общих черт с коматитами
4	vAR ₂ s		Салоканский комплекс (перидотит-пироксенит-габбровый)				[As ₄ Th ₃₇ Pb ₁₅ Be ₁₀ Rb _{1.3} Ni _{1.6}]	
3	AR ₂ ur		Амурская серия	Уральская свита (гнейсово-сланцевая)	Физико-механический и химический барьер; источник Cu, V, Mn, Pb, Mo	Sb ₁ , россыпи Au	[Bi ₄₀ Se ₂₇ Sm ₈ As _{6.7} Sc _{2.5} Cu ₂ V _{1.9} Mn _{1.8} Pb _{1.7} Mo _{1.6} Ti _{1.5}]	

Прогностно-геохимическая оценка территории

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Рудные объекты

Шлиховые ореолы киновари

Россыпи золота

Рудные объекты
Масштаб рудных объектов

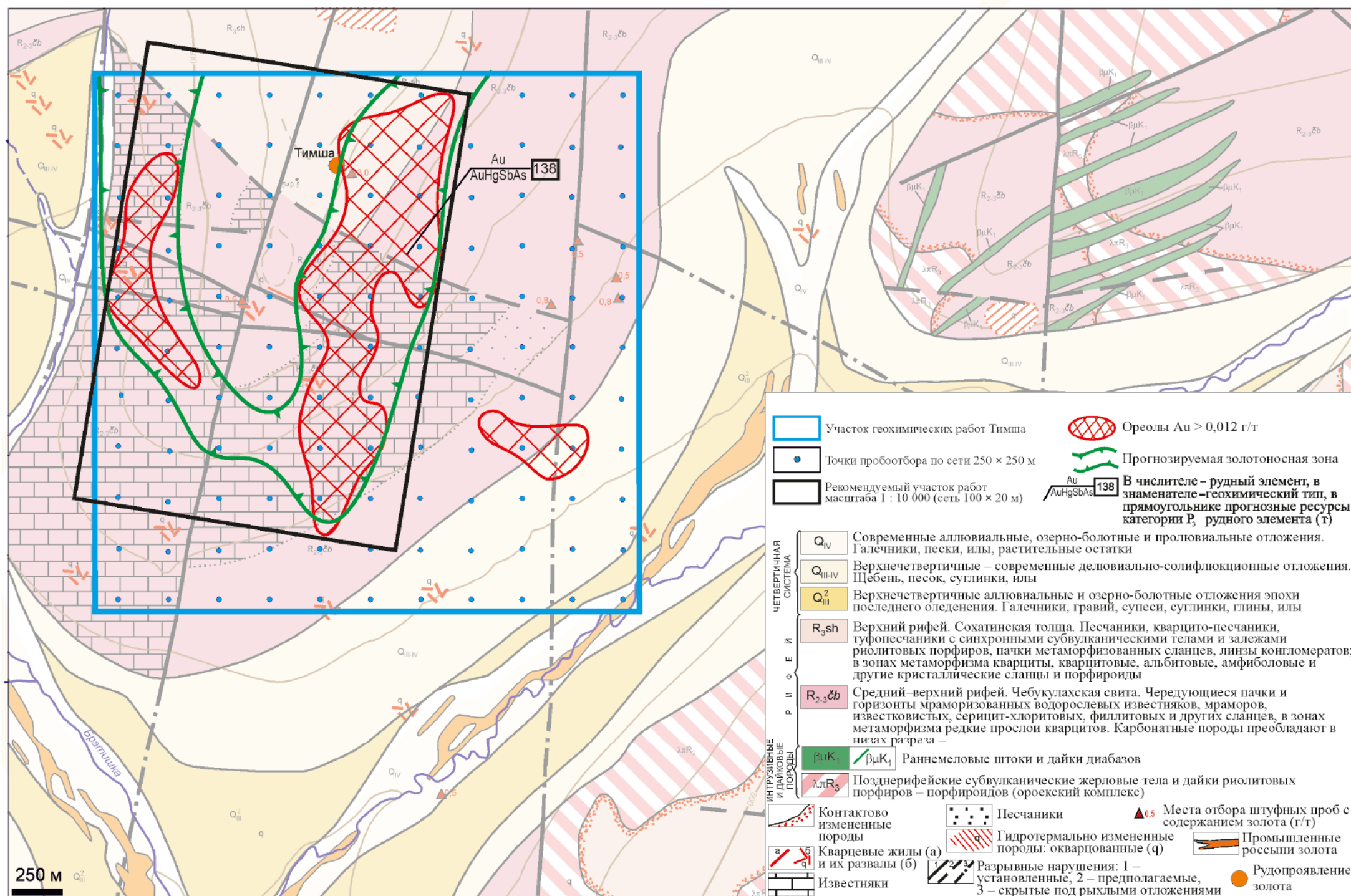
Границы Малохинганской геохимической зоны

Потенциально золотоносные аномалии геохимические узлы (АГХУ) и их номера

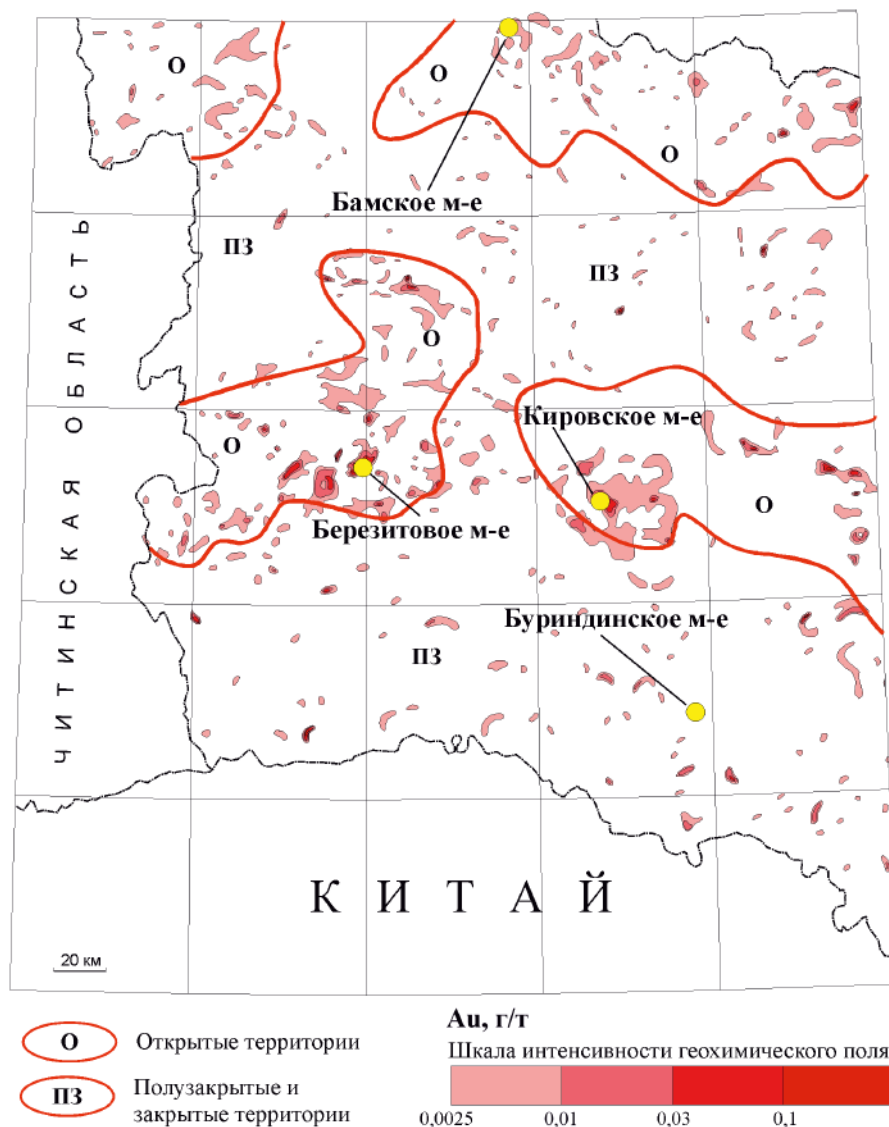
Прогнозируемые золоторудные поля в пределах ядерных зон геохимических полей: высокопродуктивных (а), продуктивных (б)



Прогнозно-геохимическая карта. Шаманихо-Столбовская площадь. Участок Тимша.
Масштаб 1 : 25 000 (Магаданская область)



Потоки рассеяния золота по результатам ГХР-200
(западная часть Амурской области)



Разграфка приводится в полистном варианте масштаба 1 : 200 000. Ореолы золота построены по данным опробования масштаба 1 : 200 000 и отражены на карте без генерализации

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ РЕГИОНАЛЬНЫХ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ**

Редактор *О. Н. Алексеева*

Корректор *Е. А. Зотова*

Техническое редактирование и верстка *А. М. Жерлицина*

Подписано в печать 18.07.2025. Формат 60 × 90/8.
Печать офсетная. Печ. л. 21,5. + 5 вкл. Уч.-изд. л. 22,1.
Тираж 100 экз. Заказ 80001000

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского»
(ФГБУ «Институт Карпинского»)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
Тел. 328-90-90 (доб. 23-23). E-mail: izdatel@karpinskyinstitute.ru

Отпечатано на Санкт-Петербургской картографической фабрике Института Карпинского
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72
Тел. 328-91-90, 321-81-53. E-mail: karta@karpinskyinstitute.ru

ISBN 978-5-93761-882-5



9 785937 618825

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК
