

УДК 550.832+550.849

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГИС И ЭКСПРЕСС-ГЕОХИМИИ ДЛЯ ПОИСКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Глушкова Т.А., Лефтон О.Л., Талалай А.Г., Шинкарьук И.Е.

ООО Концерн «НЕДРА», Екатеринбург, e-mail: groupnedra@mail.ru

Основной задачей поисков и прогнозирования месторождений является выделение на изучаемой площади аномального по комплексу свойств (геологических, геохимических, геофизических) объекта. Прогнозная оценка на перспективность оруденения осуществляется по методу аналогии путем сравнения с эталоном. В основу технологии положен анализ современного состояния геолого-геофизических работ, в том числе: физико-геологических моделей объектов поисков, эффективности применяемых геолого-геофизических критериев поисков и прогноза, эффективности применения комплексов геофизических и аналитических методов. По результатам проведенных исследований разработана технология совместного применения ГИС и экспресс-геохимии для прогнозирования медноколчеданного оруденения. Применение разработанной технологии, включающей методы ГИС (каротаж) и экспресс-геохимические исследования, позволяет осуществлять прогноз скрытого медноколчеданного оруденения с расстояния 250–300 м от рудного тела. Отличительной особенностью предлагаемой технологии является экспрессность получения заключения о перспективности разреза и возможность оперативного управления геологоразведочным процессом.

Ключевые слова: месторождение, технология, экспресс-геохимия, медное оруденение, комплексный анализ, каротаж

JOINT TECHNOLOGY OF GIS AND EXPRESS GEOCHEMISTRY TO SEARCH FOR AND COPPER MINERALIZATION PREDICTION

Glushkova T.A., Lefton O.L., Talalay A.G., Shinkaryuk I.E.

Co Ltd «Nedra», Ekaterinburg, e-mail: groupnedra@mail.ru

The main objective of the search fields and forecasting is to identify in the study area on the complex anomalous properties (geological, geochemical, geophysical) object. The forecast of a promising mineralization is carried out by the method of analogy, by comparison with the standard. The basis of the technology on the analysis of the current state of geological and geophysical work, including physical and geological models of objects of searching, the efficiency of applied geological and geophysical criteria searches and forecast the effectiveness of complex geophysical and analytical methods. The results of the research developed by the joint application of GIS technology and the rapid geochemistry to predict massive sulfide mineralization. Application of the technology, including GIS methods (logging) and express geochemical studies, allows hidden forecast chalcopyrite mineralization at a distance of 250–300 meters from the ore body. A distinctive feature of the proposed technology is the rapidity of obtaining the opinion of the cut prospects and the possibility of operational management of exploration process.

Keywords: deposit, technology, rapid geochemistry, copper mineralization, complex analysis, logging

С целью повышения эффективности поисков работ для ряда месторождений рудных полезных ископаемых разработаны прогнозно-поисковые комплексы, включающие наземные геофизические и геохимические исследования, а также методы скважинной геофизики.

Разработка новой технологии проводилась с целью определения возможности использования методов геофизических исследований скважин (ГИС) (каротажа) в комплексе с экспресс-геохимическими исследованиями для прогнозирования скрытого оруденения в околоскважинном пространстве.

В основу технологии положен анализ современного состояния геолого-геофизических работ, в том числе: физико-геологических моделей объектов поисков; эффективности применяемых геолого-геофизических критериев поисков и про-

гноза; эффективности применения комплексов геофизических и аналитических методов [1–4, 8].

По результатам проведенных исследований разработана технология совместного применения ГИС и экспресс-геохимии для прогнозирования медноколчеданного оруденения.

Основной задачей поисков и прогнозирования месторождений является выделение на изучаемой площади аномального по комплексу свойств (геологических, геохимических, геофизических) объекта. Прогнозная оценка на перспективность оруденения осуществляется по методу аналогии путем сравнения с эталоном. Для разработки технологии поисков и прогноза медноколчеданного оруденения за эталонные объекты приняты Западно-Озерное, Ново-Учалинское и Камаганское месторождения, по которым проведено изучение

пространственного распределения концентраций породообразующих окислов, рудных и радиоактивных элементов, магнитных свойств и плотности, кажущегося сопротивления, естественной радиоактивности и ядернофизических параметров горных пород, а также анализ графиков высокочастотных составляющих физических полей и автокорреляционных функций. На основании этого установлены критерии локального прогноза оруденения по дан-

ным ГИС (каротаж) и экспресс-геохимии по скважинам (табл. 1).

Основными из них являются:

– Петрохимические, проявляющиеся в преимущественном образовании в надрудной толще пород зон выноса легких петрогенных окислов SiO_2 , K_2O , зон привноса Na_2O , Al_2O_3 и тяжелых окислов (CaO , FeO), а также в закономерном изменении с глубиной коэффициентов корреляции в парах $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2-Z_{\text{эф}}$.

Таблица 1

Основные критерии локального прогноза оруденения по данным ГИС и экспресс-геохимии

Критерии	Закономерности изменения петрохимических, геохимических, физических параметров в надрудной толще пород	Количественная характеристика изменений относительно нормального фона
Петрохимические	Вынос породообразующих окислов с расстояния 250–600 м от рудного тела: SiO_2 K_2O	-10–15% -50–100%
	Привнос породообразующих окислов с расстояния 250–600 м от рудного тела: Na_2O Al_2O_3	+20–30% +10%
	Закономерное уменьшение значений коэффициентов корреляции с расстояния 350–500 м от рудного тела в парах: $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ $\text{SiO}_2-Z_{\text{эф}}$	0,4480–0,8858 0,1666–0,3130 0,5762–0,9668
Геохимические	Первичные ореолы повышенных концентраций элементов-индикаторов на расстоянии 350–700 м от рудного тела Cu Zn Pb As	в 2–6 раз в 2–6 раз в 3–10 раз в 2–4 раза
	Первичные ореолы пониженных концентраций элементов-индикаторов на расстоянии 350–700 м от рудного тела: Ba	в 5 раз до полного выноса
Петрофизические	Интервалы аномально низких значений магнитной восприимчивости пород с включением локальных зон с аномально высокими значениями α на расстоянии до 300–700 м от рудного тела	в 5–10 раз и более
	Интервалы пониженной плотности горных пород	-3–10%
	Интервалы низких значений кажущегося сопротивления	в 3–5 раз ниже измененных пород
	Высокие значения параметра δZ^* на диаграммах локальных неоднородностей поля КС	в 3–5 раз выше фоновых значений
	Сглаженная (низкоамплитудная) форма графиков автокорреляционной функции поля КС	
Ядернофизические	Закономерное уменьшение нейтронных параметров с расстояния 250–500 м L_s L_d t	на 10–15% на 15–25% на 50–60%

Примечание. * δZ – параметр, определяемый в результате статистической обработки диаграмм КС и ГК.

– Геохимические, связанные с образованием первичных геохимических ореолов рудных элементов (Cu, Zn, Pb, As, Ba) в породах надрудной толщи.

– Петрофизические, обусловленные преобразованиями материнских пород под воздействием процессов рудообразования и характеризующихся аномально низкой магнитной восприимчивостью, небольшим снижением плотности по глубине скважин, низкими значениями кажущегося сопротивления.

– Ядернофизические, характеризующиеся снижением диффузионных и замедляющих характеристик (L_s , L_d , τ) пород и повышением Z_{ϕ} по мере приближения к рудному телу.

Технологическая схема проведения работ базируется на комплексных геолого-геофизических исследованиях:

– выполнение комплекса ГИС с последующей обработкой и интерпретацией материалов;

– отбор геохимических проб из керна или шлама скважин, их обработка и экспресс-анализ на элементы-индикаторы;

– комплексный анализ данных ГИС и экспресс-геохимии, получение заключения о возможном наличии оруденения в околоськважинном или подзабойном пространстве.

Комплекс геофизических исследований скважин включает методы каротажа, реализуемые в непрерывных режимах со скоростью 100–800 м/ч – КС, ГК, КМВ, ГГК-П, ГГК-С, ННК, НАК (Al, O), а также дискретные модификации методов НАК-Na и ГК-С.

Последовательность выполнения методов ГИС определяется экономичностью, производительностью и эффективностью выявления поисковых признаков объектов.

Технология выполнения комплексных геолого-геофизических исследований реализуется в 3 этапа. На I этапе предусматривается выполнение методов стандартного каротажа (КС, ГК) и экспресс-геохимии. При неопределенности заключения о наличии оруденения по результатам первого этапа производятся исследования скважин II этапа – КМВ, ГГК-П, ГГК-С, ННК. Каротажные работы III этапа – НАК и ГК-С – наиболее трудоемкие и выполняются при неоднозначности информации, полученной на первых двух этапах. Методы НАК и ГК-С заменены экспресс-петрохимическими определениями содержаний Al, Si, Na и K на экспрессном рентгенфлуоресцентном анализаторе. Для анализа могут

быть использованы пробы, отобранные для экспресс-геохимических исследований.

Комплексный анализ результатов исследований производится в соответствии с этапами проведения работ. В первую очередь анализируются результаты стандартного каротажа (КС, ГК) и экспресс-геохимии. Результаты последующих исследований (КМВ, ГГК-П, ГК-С, ННК, НАК и ГК-С) анализируются совместно с данными, полученными на первом этапе.

В настоящей работе технология применения ГИС и экспресс-геохимии реализована в два этапа: ГИС (КС, ГК) + рентгено-спектральный флуоресцентный анализ (РСФА).

Рассмотрим примеры выделения рудных тел вышеназванными методами.

Метод кажущегося сопротивления (КС)

В качестве индикаторных признаков наличия оруденения в подзабойном или околоськважинном пространстве используются абсолютные значения ρ_k , а также диаграммы локальных неоднородностей, характеризующие локальные изменения кажущегося сопротивления по разрезу скважины.

Результаты измерений ρ_k представляются в виде диаграмм по разрезам отдельных скважин или в виде планов изоом в вертикальной плоскости бурового профиля.

О потенциальной продуктивности разреза и возможном наличии оруденения в околоськважинном пространстве свидетельствуют следующие особенности поля ρ_k :

– преобладание в надрудном геоэлектрическом разрезе низкоомных образований, характеризующихся общим снижением сопротивления горных пород в 2–3 раза;

– резко дифференцированная до сплошной изрезанности форма диаграмм локальных неоднородностей с аномальными значениями параметра δZ ;

– низкоамплитудная, сглаженная форма графиков автокорреляционной функции (рис. 1).

Метод гамма-каротажа (ГК)

Результаты ГК по отдельным скважинам представляются в виде диаграмм или карт изолиний γ -активности пород в плоскости разведочного профиля. Наиболее удаленные от рудного тела измененные породы, характеризующиеся выносом окиси калия, выделяются снижением радиоактивности в 1,5–2 раза – до 5 мкР/ч. Породы внутренней зоны метасоматоза, граничащие с рудным телом и характеризующиеся

привнесом K_2O и небольшими мощностями, отмечаются на диаграммах повышениями гамма-активности до 10 мкР/ч. Аналогичными или близкими значениями естественной радиоактивности характеризуются и неизменные породы при выклинивании рудного тела.

О возможном наличии промышленного оруденения свидетельствуют концентрации элементов, превышающие фоновые в 2 раза и более.

Распределение аномальных концентраций по глубине скважины может быть относительно равномерным или преобладать в нижней части разреза. Достоверность прогнозирования оруденения повышается при совпадении интервалов аномальных содержаний рудных элементов и интервалов максимальных значений параметра δZ на диаграммах локальных неоднородностей поля КС (рис. 2) вследствие приуроченности ореолов к зонам гидротермально измененных пород.

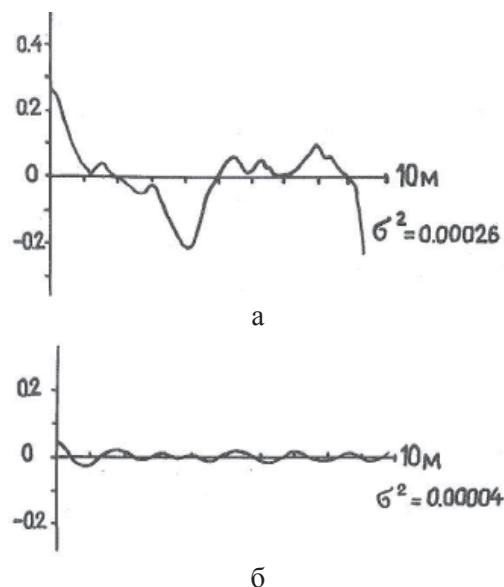


Рис. 1. Форма графиков автокорреляционной функции:
а – неизменные породы;
б – измененные породы

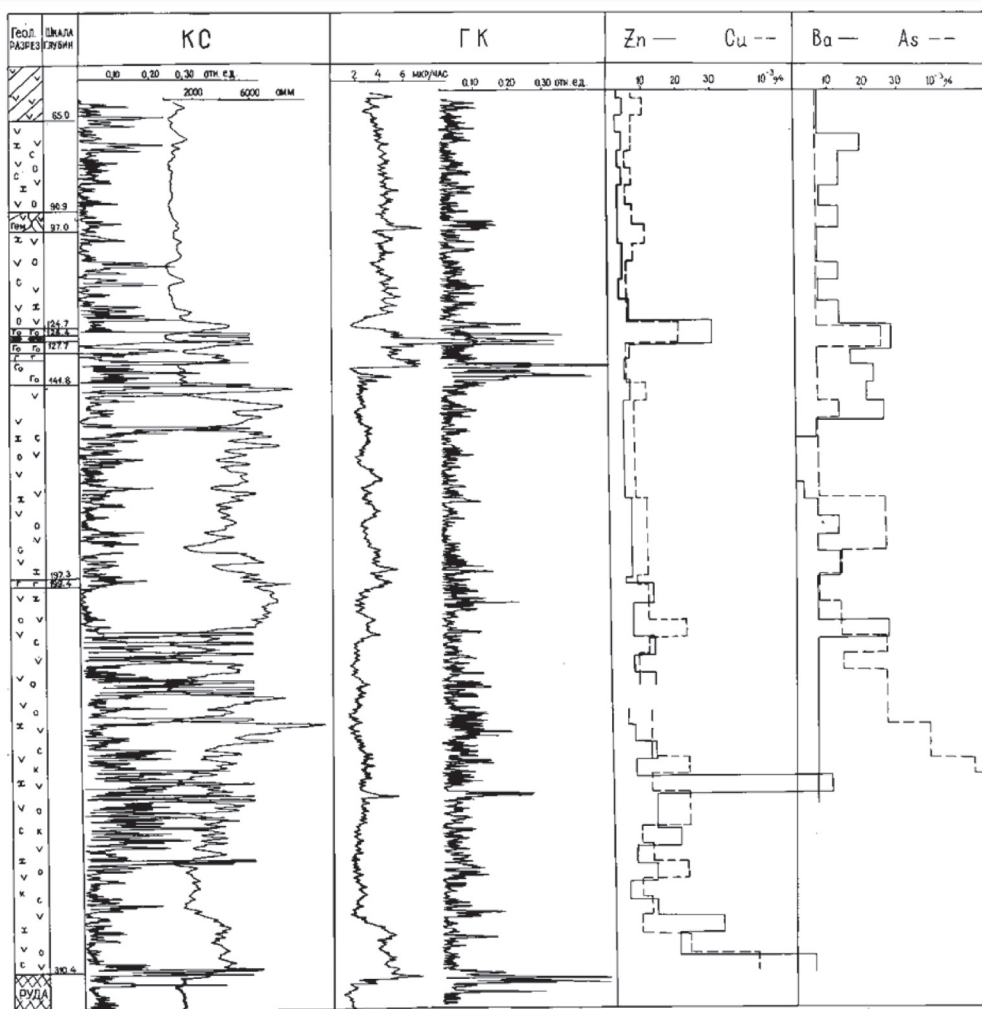


Рис. 2. Прогнозирование оруденения по данным ГК, КС и экспресс-геохимии

При геохимических исследованиях, как правило, изучают распределение рассеянных и рудных элементов в горных породах различного состава. В этом случае задача сводится к определению достаточно широкого круга тяжелых элементов ($Z > 26$) в легком наполнителе (породообразующие окислы), содержание определяемых элементов находится на уровне $< 0,1\%$. Возможности рентгеноспектрального анализа определяются соотношением пределов обнаружения различных элементов и их кларков. Многолетний опыт использования рентгеноспектрального анализа в геологии свидетельствует, что в большинстве геохимических проб уверенно определяются до 30–35 элементов, кларки и средние содержания которых выше или близки к пределам обнаружения: Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, W, Pb. Задача анализа геохимических проб близка к задачам экологических исследований, когда требуется определение тяжелых и токсичных элементов на уровне ПДК.

При анализе руд задача сводится к определению рудных и ряда сопутствующих компонент. Анализ руд является задачей различной степени сложности:

1) руда имеет постоянный по составу наполнитель и небольшой диапазон изменения полезного компонента;

2) руда является многокомпонентной, и содержания полезного компонента и наполнителя меняются в значительных пределах.

В данной работе вместо рентгеноспектрального метода авторами применен более эффективный метод количественного анализа – РСФА [5–7, 9].

Предлагаемая методика выполнения измерений содержания элементов в горных породах, рудах и отходах их переработки использует традиционные для РСФА методические приемы и способы учета фона, влияния матрицы и мешающих элементов. Методика предназначена для определения содержаний Cr, Mg, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Wo, Rb, Sr, It, Zr, No, Mb в порошковых пробах горных пород, руд и отходов их переработки в диапазонах, указанных в табл. 2.

Методика реализована на сканирующем рентгеновском кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан».

Применение разработанной технологии, включающей методы ГИС (каротаж) и экспресс-геохимические исследования, позволяет осуществлять прогноз скрытого медноколчеданного оруденения с расстояния

250–300 м от рудного тела. Отличительной особенностью предлагаемой технологии является экспрессность получения заключения о перспективности разреза и возможность оперативного управления геологоразведочным процессом.

Таблица 2

Элементы и диапазоны определяемых содержаний для горных пород, руд и отходов их переработки

Элемент	Диапазон, %	Элемент	Диапазон, %
Хром	0,005–20	Свинец	0,005–1
Марганец	0,01–20	Вольфрам	0,005–1
Железо	0,01–20	Рубидий	0,005–0,5
Кобальт	0,005–5	Стронций	0,005–0,5
Никель	0,005–1	Иттрий	0,005–0,5
Медь	0,010–5	Цирконий	0,005–0,5
Цинк	0,005–1	Ниобий	0,005–0,5
Мышьяк	0,005–1	Молибден	0,010–1,0

Использование данной технологии при поисках месторождений других типов возможно при создании соответствующей информационно-поисковой базы и поисковых геолого-геофизических моделей.

Список литературы

1. А.с. 1609320. Радиометрический способ определения содержания элементов в горных породах / В.Ю. Давыдов, Ю.Б. Давыдов, А.Г. Талалай // Бюл. изобр. от 22.07.1990.
2. А.с. 1800425. Способ обнаружения скрытых рудных тел / А.Р. Кучурина, Г.С. Возжеников, Е.С. Кучурин // Бюл. изобр. от 09.09.1992.
3. А.с. 1596949. Способ определения содержания меди и цинка в медных рудах переменного химического состава / В.Ю. Давыдов, Ю.Б. Давыдов, А.Г. Талалай // Бюл. изобр. от 01.06.1990.
4. Глушкова Т.А., Давыдов Ю.Б., Лефтон О.Л., Талалай А.Г. Ядернофизическое опробование керна буровых и шлака буровзрывных скважин в условиях открытого рудника // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 156–163.
5. Глушкова Т.А., Талалай А.Г. Применение ядернофизических методов анализа при исследовании природно-техногенных процессов в геологической среде // Горный вестник. – 1995. – № 4. – С. 66–70.
6. МВИ № 6-94. Методика определения содержаний элементов в порошковых пробах руд, горных пород и продуктах их переработки методом рентгенофлуоресцентного анализа. – Екатеринбург: Испытательный центр, 1994. – 20 с.
7. Определение основных петрогенных элементов в силикатных горных породах, бокситах, карбонатах и железистых кварцитах флуоресцентным рентгеноспектральным методом. НСАМ № 313-РС. – 1990. – 35 с.
8. Разработка технологии совместного применения скважинных геофизических и экспресс-геохимических методов для поисков и прогнозирования медного оруденения: Отчет о НИР (заключительный). – Октябрьский: ВНИИГИС, 1990. – 130 с.
9. Рентгеноспектральное флуоресцентное определение меди, цинка и свинца способом внутреннего стандарта. НСАМ № 310-РС. – 1989. – 28 с.