ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕНОЛОГИЙ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ ЗОЛОТООРУДЕНЕНИЯ.

А.В. Покусаев
Карагандинская ГРЭ, Республика Казахстан

Геологи и геохимики советских времен хорошо помнят, насколько рутинной была обработка геохимической информации «вручную». Это построение основы для разносок, вынос содержаний химических элементов в эти разноски. Поскольку определяемое количество элементов в последние годы советской власти достигало 41, это был очень тяжелый и кропотливый труд. Поэтому появились различные способы упрощения обработки геохимической информации: выявление только аномалий. Построение только ореолов представляющих поисковый интерес химических элементов или металлов. В редких случаях элементов спутников различных типов оруденения. Изучать и анализировать геохимические поля распределения, выявленных в процессе поисков и сьемки, не было никакой возможности. Основной интерес представляли только яркие геохимические аномалии. При этом много слабых и неконтрастных аномалий остались за бортом исследований.

В данный момент времени появились программы для компьютерной обработки любой геохимической или геофизической информации. Аппаратура позволяет получать физические или геохимические характеристики непосредственно на точке наблюдений с привязкой к координатам. Для геохимических поисков уже применяются полевые анализаторы коренных пород и рыхлых отложений до 60 химических элементов с высокой чувствительностью и точностью наблюдений. Существуют как зарубежные, так и отечественные образцы этих приборов от полевых переносных до стационарных лабораторных. Обзор этой аппаратуры не является целью статьи. Рассмотрим лишь наиболее приемлемые программы обработки.

Для визуализации данных площадных геохимических исследований с успехом может применяться программное обеспечение SURFER компании GOLD SOFT. В данный момент уже вышла 15 версия. Стоимость программы менее 500 долларов, что вполне приемлемо. Программа позволяет построить карты не только аномалий, но и геохимического поля распределения каждого химического элемента в кратчайший срок в любом масштабе.

Для визуализации 3D с успехом можно применять программу Voxel 4. Эта программа позволяет получить объёмные модели распределения химических элементов по результатам бурения поисковых скважин.

Статистическая обработка геохимической информации также сейчас возможна в программе STATISTICA 8-10.

Рассмотрим пример конкретного анализа геохимических поисков золотого оруденения по первичным ореолам на поисковой площади ХНХН с применением картировочного бурения КГК и опробованием рыхлых отложений и керна коренных пород. Сеть скважин составила 100х100м с детализацией до сети 50х50м. Методика обработки геохимической информации состояла в:

- формировании базы первичной геохимической информации;
- статистической обработке геохимических данных;
- построении многоэлементных геохимических карт;
- исследовании геохимической зональности оруденения;
- оценке перспектив геохимических аномалий.

База первичной геохимической информации. В основу компьютерных методов обработки геохимических данных положены классические статистические и геоинформационные технологии.

Созданная база геохимических данных состоит из реляционных таблиц Excel:

а) (Collars) координаты X, Y, Z , Length - общая глубина скважины и ключевое поле BH_ID - номер скважины;

б) (Survey) трасса скважины. Ключевое поле BH_ID, Dip - угол падения и Azimuth – угол азимута простирания горной выработки;

в) (Assay) результаты анализов проб в г/т. Ключевые поля BH_ID-номер скважины и Sample-ID – номер пробы; From , To - интервал опробования; Interval - длина интервала опробования; Химические элементы; Rock type - тип породы и Alteration - гидротермальные изменения. Таблицы объединены в единую базу данных, которая использована для получения статистик и визуализации геохимической информации.

Статистическая обработка геохимических данных. Обработка результатов анализов включала оценку параметров местного геохимического фона, минимально-аномальных содержаний химических элементов, выделения геохимических аномалий, кластерный анализ для выделения геохимических ассоциаций и корреляционный анализа. Эти методы основаны на изучении внутренней структуры геохимического поля и статистических свойств корреляционной матрицы исследуемой выборки.

Описательные статистики. Параметры геохимического фона изучались по выборкам различных типов горных пород, на удалении от минерализованных участков. Из выборок исключены пробы с высоким содержанием элемента и «пустые». Пробам с содержаниями ниже порога обнаружения присваивались значения половины этого порога.

Распределение результатов высококачественного лабораторного анализа подчиняется в большей части нормальному закону распределения, который характеризуется такими параметрами:

- среднеарифметическое (C_{mean});
- среднеквадратическое отклонение (standart deviation) S;
- фоновое значение $C_ф = C_{mean} \pm$ корень квадратный из S;

- минимальное аномальное значение $C_а = C_ф \pm 3$ корень квадратный из S.

Многомерный статистический анализ применялся для изучения структуры геохимических полей и выявления геохимических ассоциаций химических элементов методами кластерного анализа, корреляции и К-средних.

Корреляционный анализ Пирсона. Этот способ позволил изучить степень линейной зависимости между парами химических элементов, получить достоверную оценку зональности строения геохимических ореолов и выделить отдельные совокупности в сложных ореолах. Исследования выполнены в программе STATISTICA-10.

Кластерный анализ. Этот анализ позволил по совокупности многомерных признаков разделить выборку из проб так, чтобы была достигнута максимальная однородность внутри групп и минимальная между группами. Анализ позволил объединить объекты в кластеры с использованием меры сходства или расстояния между объектами. Компактное расположение отдельных групп элементов служит доказательством их «сходства». Вертикальные оси представляют расстояние объединения. В каждом узле графа (где формируется новый кластер) можно видеть величину расстояния, для которого соответствующие элементы связываются в новый единственный кластер. Сходные кластеры отражаются в иерархическом дереве различными ветвями.

Метод К-средних. Метод позволил статистически оценить принадлежность каждой пробы в выборке к тому или иному кластеру. Установить элементный состав каждого кластера по расстоянию между элементами.

Построение многоэлементных геохимических карт. Для построения многоэлементных карт использовались программы автоматического построения изолиний Surfer-16. Интервалы значений в сечениях аномалий выбирались исходя из установленного размаха содержаний конкретного химического элемента.

Анализ геохимической зональности первичных ореолов. Зональность оруденения изучалась в разрезах поисковых скважин, в которых имелись рудные пересечения. Для вычисления рядов геохимической зональности первичных ореолов применен метод С.В. Григоряна. При расчетах на разных гипсометрических уровнях использовались средние содер-

жания элементов при равномерном шаге опробования оруденения. Средние содержания нормированы на среднефоновые или минимальные содержания.

В случае положения максимальных значений показателя зональности ряда элементов на одних и тех же уровнях создаёт неопределенность их положения по вертикали. Для дальнейшего уточнения их положения в ряду зональности рассчитан градиент изменчивости показателя зональности по вертикали.

При получения ряда максимальных значений коэффициента зональности на верхнем или в нижнем горизонтах градиент изменчивости, рассчитан по формуле:

$G = \sum_{i}^{n} \frac{Dmax}{Di}$, где G – показатель изменчивости;

D_{max} – максимальное значение показателя зональности данного элемента;

D_i – значение показателя зональности на i горизонте;

n – количество горизонтов (не считая горизонта максимального накопления).

Максимальное значение градиента изменчивости элемента позволяет расположить его выше элемента с меньшим показателем.

Когда относительное накопление нескольких элементов наблюдается на уровне средних горизонтов, применяется разность градиентов изменчивости: G_1-G_2, где

G_1 – градиент вверх от уровня максимального накопления;

G_2 – градиент вниз от уровня максимального накопления.

В ряду вертикальной зональности химические элементы располагаются по мере удаления друг от друга в по вертикали. Соотношения пар элементов, характеризующихся значительным градиентом по вертикали рудного тела, используются для оценки уровня эрозионного среза оруденения и геохимических аномалий в метрике эталона.

Оценка прогнозных ресурсов и перспектив геохимических аномалий. Оценка прогнозных геохимических ресурсов золота проведена по категории P_2, в соответствии с требованиями «Инструкции по геохимическим поискам месторождений, 1983» и «Методических рекомендаций, 1992, 1993». Для подсчета прогнозных ресурсов использовался метод оценки А.П. Соловова. Схема оценки включает в себя подсчет площадей выделенных полигонов и в них средних содержаний золота.

Формула подсчета прогнозных ресурсов до заданной глубины, с учетом фоновых содержаний и поправочных коэффициентов, представлена ниже:

$Q = k^* (C_{ср.} - C_{ф.}) *S * H *d$, где

$C_{ср.}$ – среднее содержание элемента в геохимической аномалии (г/т);

$C_{ф.}$ – фоновое содержание элемента (г/т);

S – площадь аномалии оцениваемого полезного ископаемого ($м^2$);

H – глубина распространения оруденения (м);

d – плотность горных пород (2,5 $т/м^3$);

k-1 – коэффициент остаточной продуктивности.

Визуализация трехмерной морфологии зон золоторудной минерализации выполнена в программе Voxler-4. С помощью этой программы были оценены запасы выделенных зон с бортами золота в 0,3 г/т, 0,5 г/т и 1,0 г/т.

Перспективы выявленных аномалий оценивались по величине показателя эрозионного среза в пределах выявленного ореола золота.

Результаты статистического анализа распределения геохимических данных

На поисковом участке пробурены 858 скважин картировочного бурения и отобраны 2743 геохимические пробы, которые проанализированы на 25 химических элементов:

Au, P, Sb, Mn, Pb, Ti, Zr, As, Cr, Ni, Bi, Ba ,Be, Nb, Mo, Sn, V, Cu, Y, Zn, Ag, Co ,Sr, B. Параметры геохимического фона вычислены в программе STATISTICA-10. Геохимический фон таких элементов как: Au, P, Sb, As, W, Bi, Zn, Ag, Mo, Cu, Co, B выше Кларка концентраций Кк =1,45-73. Это свидетельствует об участии этих элементов в процессе гидротермального изменения пород. Они формируют геохимические поля центробежного типа, т.е.

1. Средне фоновые значения (г/т) химических элементов в коренных породах.

Variable	Valid N	Mean	Min	Max	Std.Dev.	Klark	Kk
Au	438	0,03	0.003	6,0	0,3	0,003	**9,4**
P	467	1069,8	500,00	9000,0	589,3	1000,00	**1,1**
Sb	467	17,0	14,00	60,0	8,2	2,00	**8,5**
Mn	467	964,4	80,00	15000,0	1217,2	900,00	**1,1**
Pb	467	13,0	2,00	500,0	33,2	12,00	**1,1**
Ti	467	4255,9	1000,00	10000,0	1478,5	4900,00	0,9
Zr	467	112,9	60,00	500,0	39,8	160,00	0,7
As	467	132,2	90,00	5100,0	345,2	1,80	**73,4**
W	467	6,6	4,00	200,0	12,3	1,40	**4,7**
Cr	467	70,2	8,00	250,0	32,0	93,00	0,8
Ni	467	47,8	8,00	150,0	19,9	56,00	0,9
Bi	467	1,7	1,50	60,0	2,7	0,20	**8,5**
Ba	467	395,9	100,00	1500,0	153,9	470,00	0,8
Be	467	1,9	0,80	3,0	0,4	2,00	0,9
Nb	467	8,5	4,00	20,0	2,1	16,00	0,5
Mo	467	2,3	1,00	15,0	1,1	1,20	**1,9**
Sn	467	1,8	0,90	8,0	0,6	2,30	0,8
V	467	161,9	50,00	400,0	71,8	190,00	0,9
Cu	467	83,8	10,00	500,0	55,4	53,00	**1,6**
Y	467	21,1	10,00	50,0	5,6	32,00	0,7
Zn	467	86,3	30,00	1500,0	99,6	68,00	**1,3**
Ag	467	0,1	0,04	9,0	0,5	0,07	**1,9**
Co	467	30,4	5,00	120,0	13,6	23,00	**1,3**
Sr	467	231,2	80,00	1000,0	99,2	370,00	0,6
B	467	404,8	290,00	6000,0	468,9	12,00	**33,7**

ореолы концентраций. Химические элементы с геохимическим фоном близким к Кларку или ниже его, с кларком концентрации менее 1, образуют ореолы «выноса» или рассеяния. Фоновые содержания химических элементов в породах участков представлены в таблице 1.

Многомерный статистический анализ

Метод корреляции Пирсона. Этим методом были изучены корреляционные связи между элементами. Результаты этих исследований приведены на рисунке 1.

На основе корреляционного анализа выделены 4 ассоциации химических элементов:

- халькофильная золотосеребряная: Au-Ag-Pb-Zn;
- лито-халькофильная: As-Bi-Sb-Sr-W-Ba;
- халькофильная: Zr-Sn-Be-Nb;

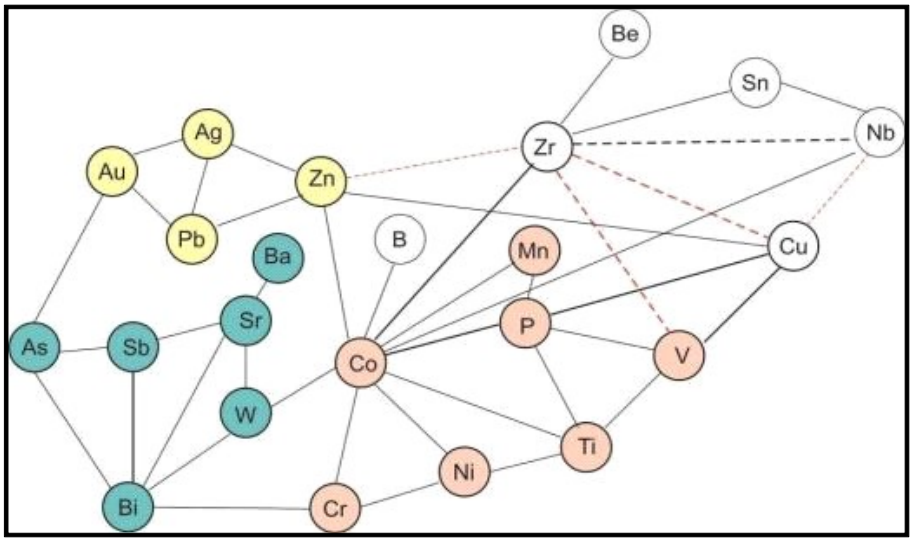

Рис. 1. Схема корреляционных связей химических элементов.

- сидерофильная: Cr-Co-Ni-V-Mn-P-Ti.

Первая ассоциация характерна для внутреннего ядра рудной зоны, вторая характеризует околорудную внутреннюю область, третья оконтуривает вторую и четвертая ассоциация элементов характерна для внешней зоны оруденения. В целом ассоциации элементов, выделяемые по результатам корреляционного анализа, отображают горизонтальную зональность золоторудной минерализации.

Кластерный анализ и метод К-среднего. Вычисления выполнены в программе STATISTICA 10. В результате были выявлены 6 ассоциаций химических элементов. Они в большинстве подтверждаются и результатами корреляционного анализа. С золотом тесно ассоциируют серебро, свинец и барий.

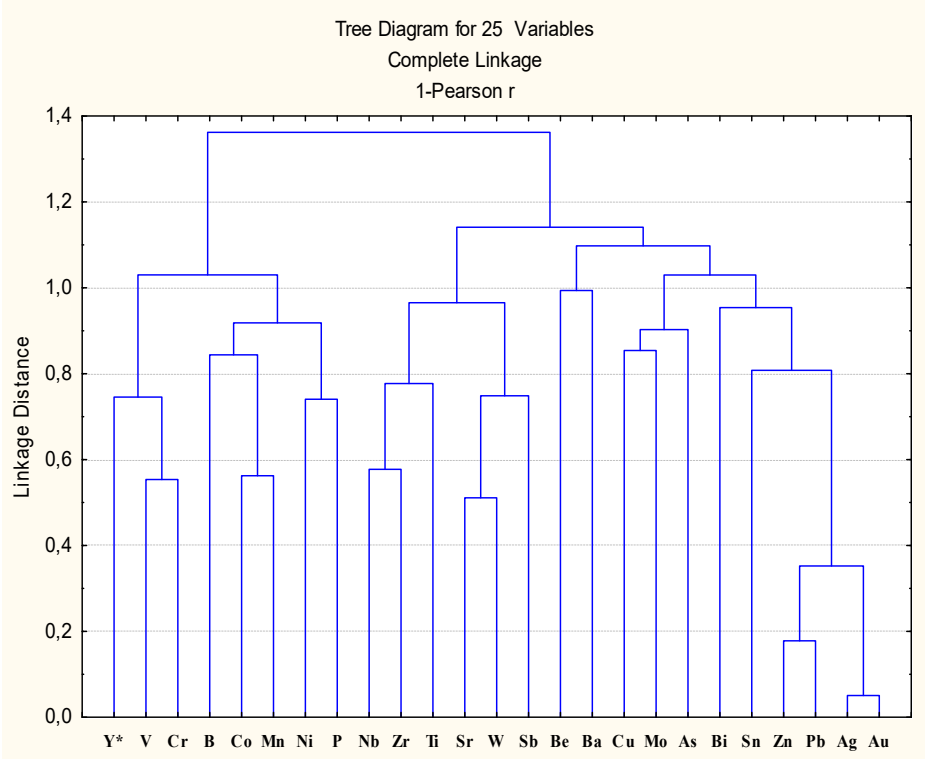

Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа.

Ассоциация химических элементов Co, Cr ,Mn, Ni, P, B, Y ,V преимущественно характеризует гибридные породы габбродиоритового состава и ороговикованные песчаники. Кислые разности пород второй фазы позднеордовикского интрузивного комплекса характеризуются зонами выноса этих элементов

Ассоциация элементов Au, Ag, Pb, Zn, Sn тесно связана с золотой минерализацией пород в зонах гидротермального изменения в надинтрузивных и приконтактовых частях интрузий. Ореолы этих элементов фиксируют рудные тела и верхнерудные зоны золотого оруденения.

Ассоциация элементов Cu, Mo, As образуют ореолы в бортах интрузий диоритового состава и частично в бортах гранитоидной интрузии. В юго-восточном углу участка они картируют надинтрузивную зону невскрытой эрозией интрузии гранитоидов.

Ассоциация элементов Sb, Bi, Sr, W, B. Ореолы этих элементов приурочены к приконтактовой зоне интрузии гранитоидов вмещающую золотую минерализацию. Наиболее контрастные ореолы фиксируют слабоэродированные зоны золоторудной минерализации.

Ассоциация элементов Mn, Mo. Комплексные ореолы марганца и молибдена приурочены к первой фазе интрузивного комплекса, представленной диоритами и монцодиоритами.

Ассоциация элементов Be, Sn, Nb, Zr. Ореолы этой группы картируют нижнерудные уровни оруденения, выходящие на эрозионный срез дневной поверхности. Совпадение первичных ореолов золота с этой группой элементов свидетельствуют об их малых перспективах на глубине.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПЛОЩАДИ

Площадь сложена песчаниками, алевролитами с порослями конгломератов, прорванных серией даек среднего состава. Эти породы секутся мелкими разломами северо-восточного и субширотного простирания. Кроме того, выявлены зоны трещиноватых и брекчированных, окварцованных и минерализованных сульфидами пород. Простирание этих зон северо-восточное, видимая мощность 10-25 м.

На площади наиболее распространены отложения среднего ордовика (O_2), и к ним приурочены известные в районе месторождения и рудопроявления золота. Они слагают северное и южное крыло антиклинали. Представлены отложения ритмичным чередованием песчаников и алевролитов серого, реже красноватого цветов с редкими прослоями и линзами конгломератов и гравелитов. Преобладают средне-грубозернистые песчаники и гравелиты с редкими прослоями алевролитов. Породы ороговикованы. С глубиной интенсивность ороговикования увеличивается и появляются многочисленные зоны с рассеянной пиритовой минерализацией и кварц-кальцитовые прожилки с пиритом, реже с арсенопиритом, пирротином, халькопиритом и молибденитом.

Площадь перекрыта верхнечетвертичными и современными осадками, которые представлены аллювиальными, озерно-элювиальными и озерными отложениями. Первые представлены песчаными и гравийно-галечными образованиями, супесями. Озерные отложения это илы и глинистые пески, слагают низкие террасы и пляжи, к современному и верхнему отделам относятся также маломощные делювиальные, пролювиальные в аллювиально-делювиальные щебенистые суглинки и супеси. Мощность рыхлых образований на площади достигает 100 м. (рис. 4).

Интрузивные породы в пределах площади представлены позднеордовикским степнякским интрузивным комплексом. По геологическим и петрографическим особенностям пород выделяются три интрузивные фазы и жильные породы I-II этапов.

Образования I этапа интрузивной фазы по условиям формирования и особенностям состава подразделяются на породы главной интрузивной фазы (амфибол-пироксеновые габбродиориты и редко порфировидные биотит-пироксеновые диориты). II интрузивная фаза сложена кварцевыми диоритами. Интрузивная III фаза представлена тоналитами и плагиог-

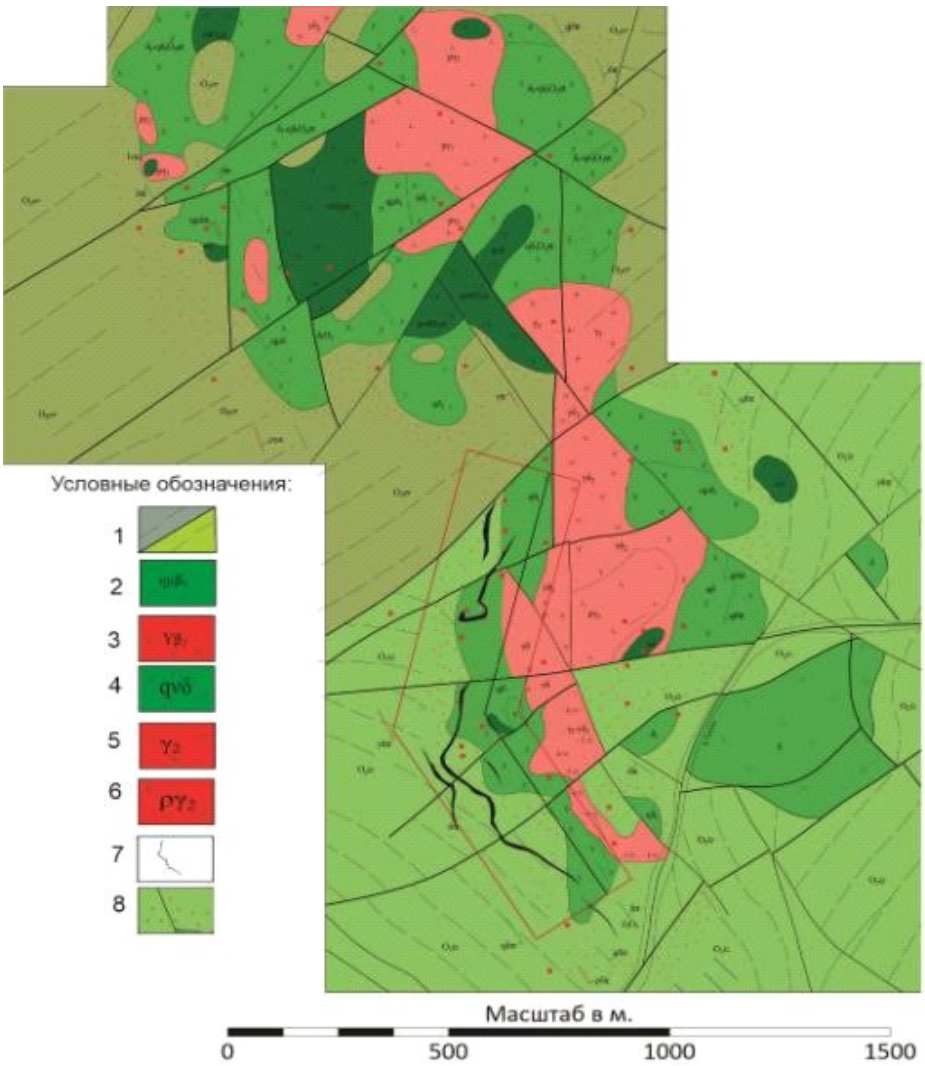

Рис. 3. Геологическое строение поисковой площади.

1 - Песчаники и алевролиты; 2 - габбро диориты, кварцевые диориты; 3 - биоттовые граниты; 4 - кварцевые диориты; 5 - граниты, плагиоклазовые граниты; 6 - плагиограниты; 7 - проекция рудных зон на поверхность; 8 - ороговикование.

ранитами. Жильные породы I этапа - гранитами и плагиогранитами, а II этапа - кварцевыми диоритовыми порфиритами и габбро-диабазами. Интрузии не выходят на дневную поверхность и откартированы по результатам геофизических исследований. 8 разобщенных интрузивных тел различного размера со сложной конфигурацией контактов вытянуты цепочкой в северо-западном направлении.

Контактово-метаморфические породы, генетически связанные с формированием интрузий и жильных пород, представлены разнообразными по составу роговиками. Они образуют вокруг интрузивов ореолы, ширина которых зависит в большинстве случаев от величины интрузивного тела, состава и характера окружающих его пород. Ширина ореолов вокруг интрузивов от 10 м до 200-300 м, а вокруг дайкообразных и жильных пород не превышает несколько метров. Под микроскопом выделяются роговики различных составов от кварц-биотит-пироксен-плагиоклазовых до гиперстен-кварц-биотит-пироксен-магнетит-плагиоклазовых.

Геохимические поля поискового участка. Карты геохимических полей были созданы автоматически в программе SURFER 16. Можно также создать карты цифровых разносок результатов анализа проб в реальных координатах. Интервалы значений в сечениях аномалий выбирались исходя из установленного размаха содержаний конкретного химического элемента.

Геохимические данные получены по результатам бурения картировочных, поисковых скважин и коренного опробования в геологических маршрутах до сети 35х50 м. Несмотря на достаточно густую сеть опробования, были выявлены слабые первичные ореолы золота от 0,001 до 0,3 г/т золота, лишь в одной пробе концентрация золота достигает 6 г/т. Мышьяк и серебро коррелируются с золотом в пробах с высокими концентрациями золота.

Геохимическое поле золота (рис. 5). Кларк золота земной коры равен 0,003 г/т. В пределах участка размах концентрации этого элемента в различных типах пород колеблется от 0,001 г/т до 17,5 г/т.

Средние содержания золота в осадочных породах изменяются от 0,001 г/т в гравелитах, конгломератах и песчаниках до 0,06-0,07 г/т в алевролитах (таблица 1, рис. 5). Обычно ореолы золота в плане имеют изометричную или линейно вытянутую форму. Они приурочены к осадочным породам вблизи контакта интрузии и самой интрузии. В кайнозойских отложениях, перекрывающих первичные ореолы, средние содержания золота не превышают 0,002-0,003 г/т. В коре выветривания содержания золота близки содержаниям материнских пород и в среднем составляют 0,04 г/т, достигая 3 г/т. Они связаны с первичными ореолами коренных пород.

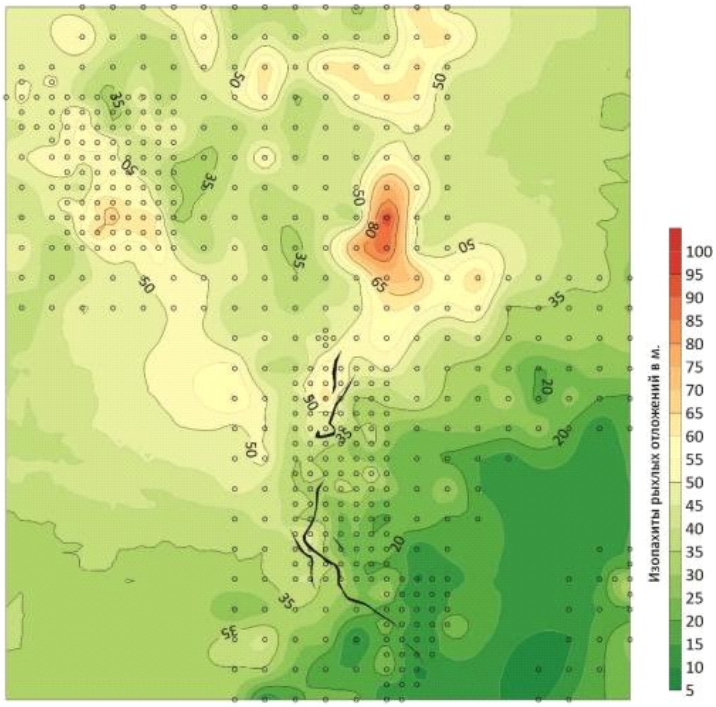

Рис. 4. План изопахит рыхлых отложений поисковой площади.

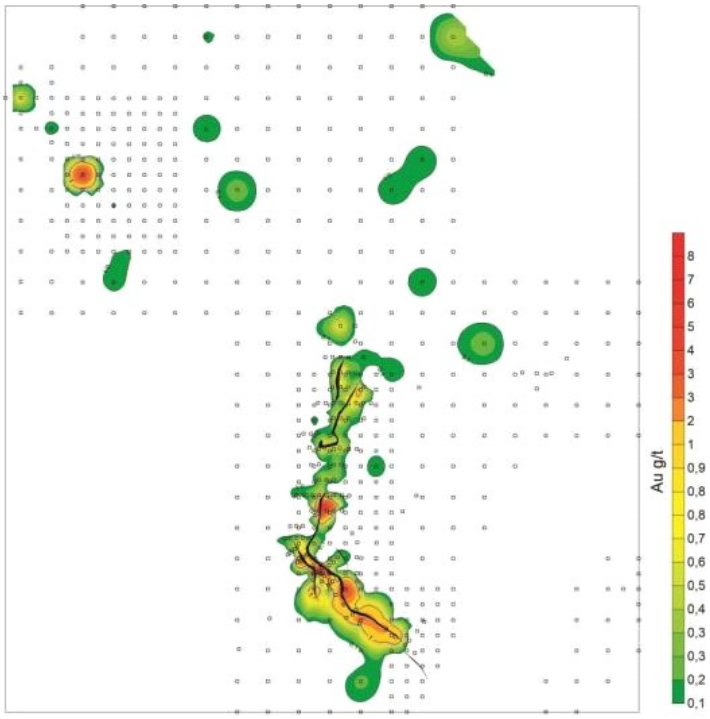

Рис. 5. Первичные ореолы золота.

Месторождение Южное. Месторождение расположено в пределах поисковой площади, описанной выше. Эта площадь подвергалась изучению с 1969 г. по 1987 г. Выявленные на стадии поисков комплексные вторичные ореолы золота, серебра, свинца, цинка, меди, молибдена, олова, вольфрама, кобальта, никеля, хрома, стронция и бария были оценены поисковыми скважинами. Скважины вскрыли маломощные зоны с золотой минерализацией.

Золоторудная минерализация фиксируется первичными ореолами золота, серебра, висмута, мышьяка, свинца, цинка, молибдена, олова, меди, хрома, кобальта и никеля. Эти элементы между собой или с золотом имеют устойчивую корреляционную связь. Кластерный анализ выделил 3 ассоциации элементов:

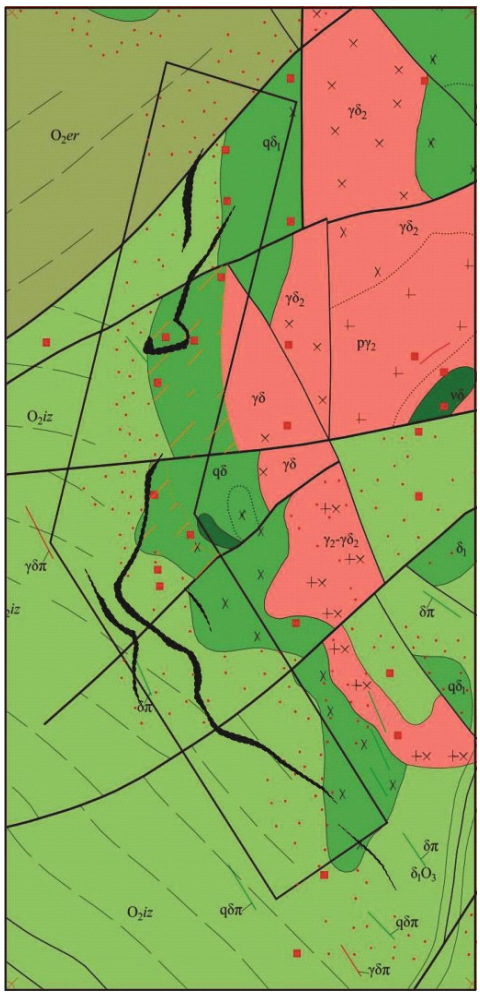

Рис. 6. Схема геологического строения месторождения Южное.

- рудную (Au, Ag, As, Bi, Pb, Zn),
- промежуточную (Cu, Mo, Sn, Sb),
- внешнюю (Cr, Co, Ni).

Эти ассоциации определяют слабо выраженную горизонтальную зональность первичных ореолов. Она проявляется в том, что никель, кобальт и хром образуют ореолы «относительного выноса». Выражено это резким обеднением этих элементов в рудной зоне и накоплением их в ближайших контактах.

Непосредственно рудную зону характеризуют ореолы золота, мышьяка, висмута, свинца и цинка. Ореолы меди, молибдена, олова и сурьмы расположены ближе к ореолам золота, чем описанные выше. Ореолы остальных элементов занимают периферийную область по отношению к ореолам золота.

Геохимические аномалии золота и серебра. А*номалии золота* пространственно тяготеют аномалии серебра, висмута, цинка и олова.

Аномалии этих элементов близко расположены друг к другу и отражают слабовыраженную горизонтальную зональность золотого оруденения, расположенной в зоне экзоконтакта интрузивного массива. Геохимический фон золота на участке составляет 0,004 г/т. Минимально аномальное значение для золота составляет 0,01 г/т. Площадь аномалии по изолинии 0,01 г/т составляет 8,5 кв^2, по изолинии 0,1 г/т - 2,92 кв^2, а по изолинии 1,0 г/т – 0,53 кв. км минерализацией, которая приурочена к мелким дайкам диоритовых порфиритов и зонам сульфидной минерализации в ороговикованных осадочных породах.

Геохимическая аномалия серебра в северной части аномалии совпадает с аномалиями золота. В юго-западной части корреляция с золотом слабее. Эпицентры аномалий более 1 г/т

2. Статистические параметры химических элементов (г/т)

	Количество наблюдений	среднее	минимальное	максимальное	Стандартное отклонение
Au	682	0,05	0,001	6,00	0,31
Sb	691	21,34	14,00	1200,00	52,91
Mn	691	677,71	80,00	15000,00	790,54
Pb	691	10,15	2,00	300,00	16,04
As	691	146,99	90,00	9000,00	483,31
Cr	691	68,20	8,00	500,00	34,45
Ni	691	45,00	6,00	1200,00	46,98
Bi	691	1,81	1,50	60,00	2,37
Mo	691	2,50	1,00	100,00	4,27
Sn	691	2,13	1,00	20,00	1,48
Cu	691	86,22	10,00	3000,00	127,40
Zn	691	78,34	30,00	1000,00	57,21
Ag	691	0,13	0,04	6,00	0,31
Co	691	27,25	3,00	120,00	14,34

совпадают только в самой южной части. Геохимический фон серебра по участку составляет 0,07 г/т. Минимальное аномальное значение его 0,2 г/т. Аномалия представляет собой цепочку линейно вытянутых ореолов в зоне экзоконтакта диоритов с осадочными породами и зоне эндоконтакта с гранитоидами. По отношению к золоту аномалии серебра располагаются ближе к контактам вмещающих пород. Они образуют внутреннее кольцо по отношению к ореолу золота. Аномалия простирается с севера на юг и в средней части своей меняет простирание на 115% на юго-запад. В северной части ширина аномалии не превышает 100 м, на юге её поперечная мощность по изолинии 0,1 г/т достигает 220 м.

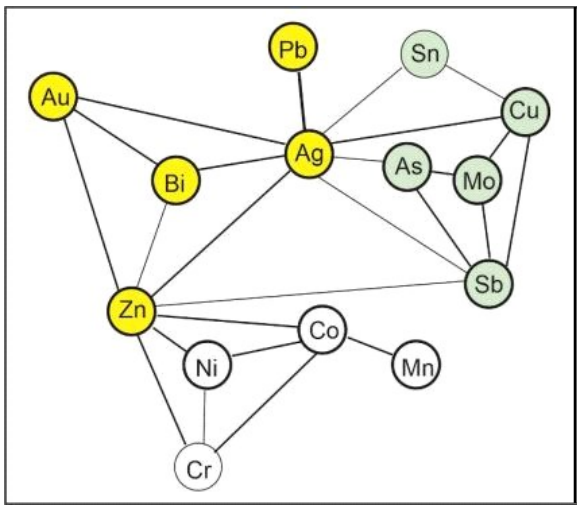

Рис. 7. Схема корреляционных связей химических элементов.

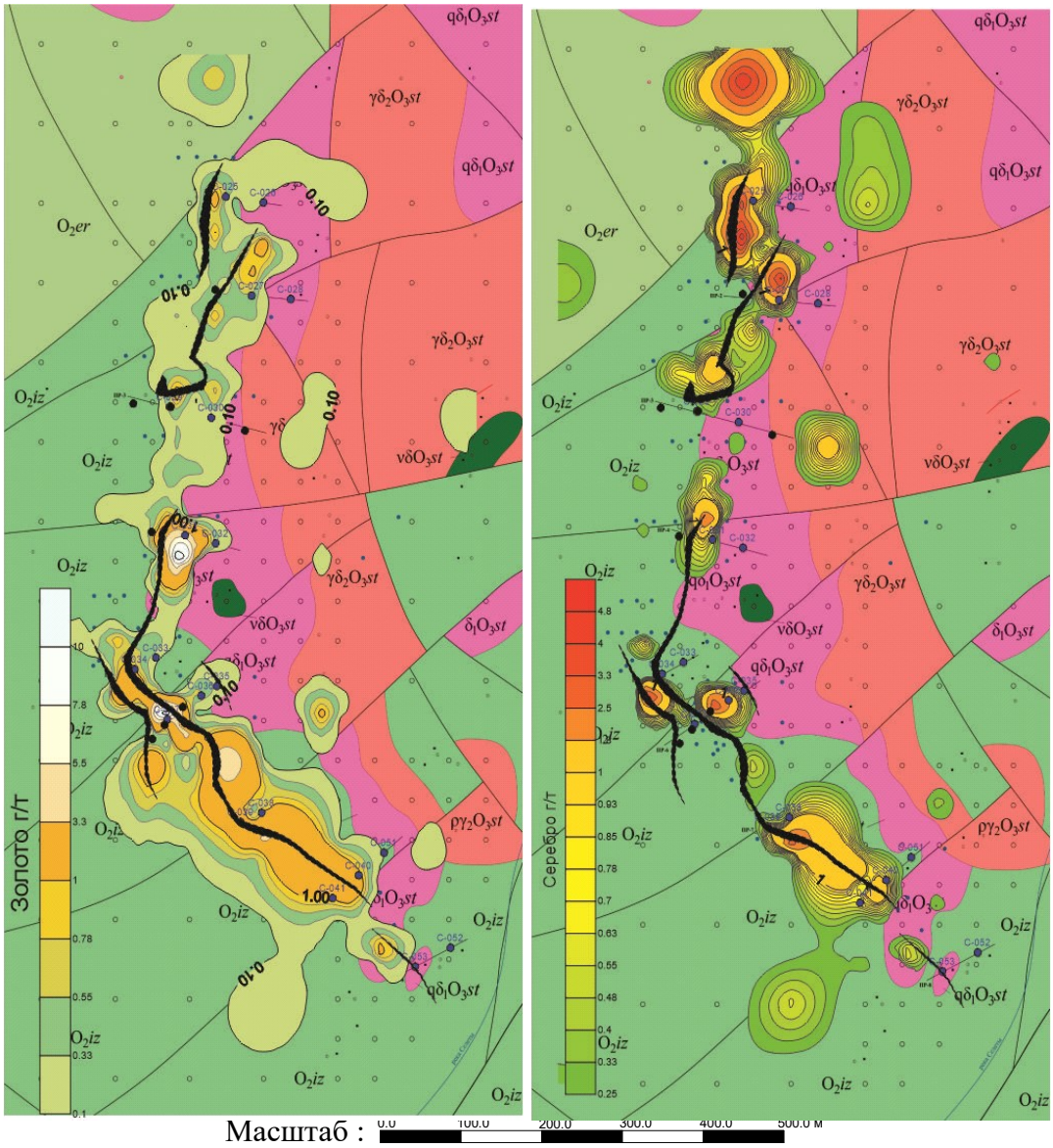

Рис. 8. Геохимические аномалии золота и серебра.

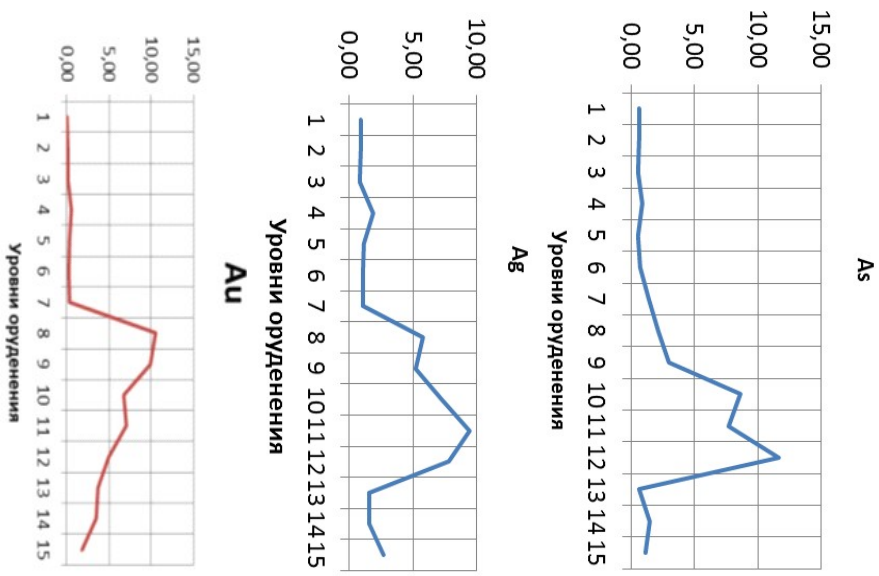

Рис. 9. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Ag, As, Bi модели зоны оруденения.

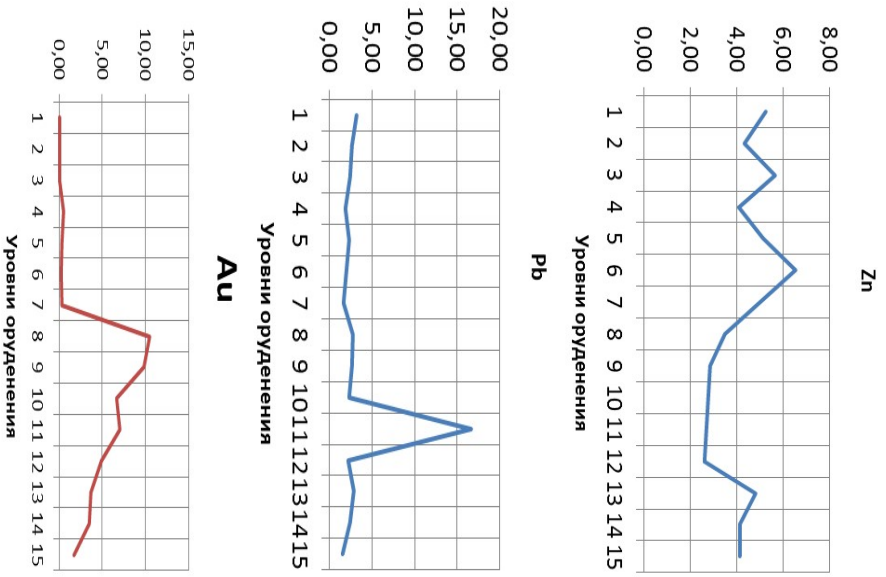

Рис. 10. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Pb, Zn, модели зоны оруденения.

На севере золото образует разобщённые линейно вытянутые аномалии от 0,3 до 1 г/т. В южной части аномалии золота боле интенсивны и выдержаны по площади. В картировочных скважинах содержания золота достигают до 17 г/т. Аномалии разбурены профилями поисковых скважин глубиной от 100 до 200 м. В эпицентрах были вскрыты маломощные рудные тела с бедной золотой аномалией.

В восточной части участка довольно протяженная в меридиональном направлении аномалия серебра, расположенная среди гранитоидов, совпадает в плане с небольшим ореолом золота интенсивностью 0,1 г/т.

Геохимическая зональность первичных ореолов. Для изучения зональности первичных ореолов, характеризующих оруденение, использованы скважины Изобильненского Южного участка.

Вертикальная зональность оруденения была исследована в скважине, которая вскрыла золотое оруденение. Стволовая мощность зоны минерализации составляет более 30 метров при среднем содержании золота более 2 г/т. На основании данных этой скважины была составлена модель оруденения.

Ряд вертикальной зональности приобретет вид (сверху вниз):

Ba-Sr-Zn-Sn-Mo-Au-Bi-Ag-Sb-Cu-Pb-As-B-Y

Таким образом анализ вертикальной зональности позволил выделить три ассоциации элементов :

- надрудная-верхнерудная: (**Ba-Sr-Zn-Sn-Mo**)
- рудная: (**Au-Bi-Ag**)
- нижнерудная-подрудная: (**Sb-Cu-Pb-As- B-Y**)

Кластерным анализом подтверждаются выбранные ассоциации элементов индикаторов золотого оруденения. Наиболее тесная ассоциация золота наблюдается с *висмутом*,

мышьяком и серебром. Немного слабее связь золота с такими элементами как *сурьма, молибден, олово, медь, вольфрам, бериллий и циркон*, видимо, эта ассоциация характеризует гранитоиды и связанную с ними минерализацию. Эти элементы накапливаются в рудных интервалах зоны оруденения. Элементы, представленные *стронцием, барием и титаном* характеризуют верхнерудные и надрудные области оруденения.

Хром, никель и свинец характерны для верхнерудных и подрудных частей оруденения. На рисунке 17 показаны показатели эрозионного среза оруденения, рассчитанные как отношение произведений содержаний элементов надрудной и верхнерудной частей оруденения к элементам подрудной части: *Ba*Sr/Pb*Ni и Ba*Sr*Ti/Pb²*Ni*. Этот показатели изменяются монотонно с глубиной и являются надежными для оценки уровня эрозионного среза оруденения.

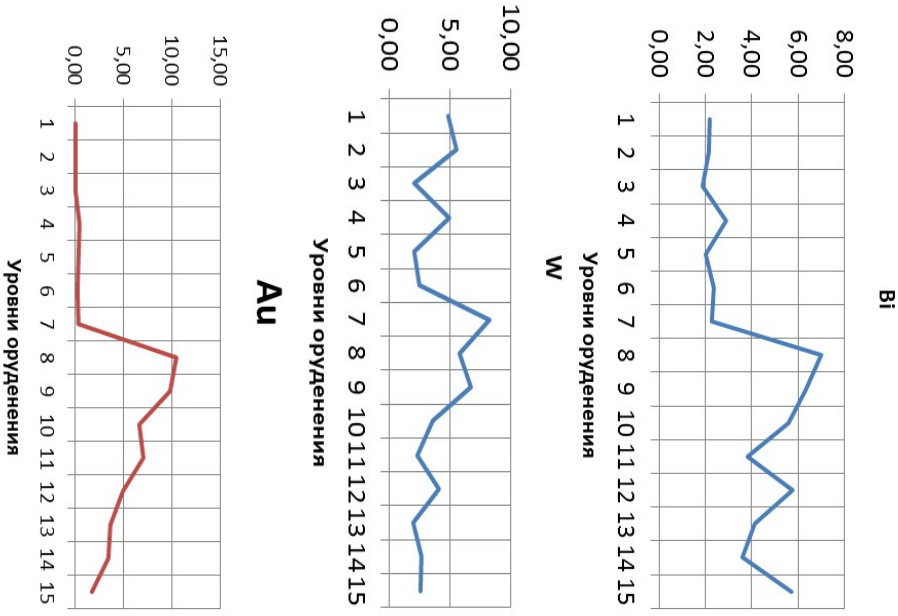

Рис. 11. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Bi, W модели зоны оруденения.

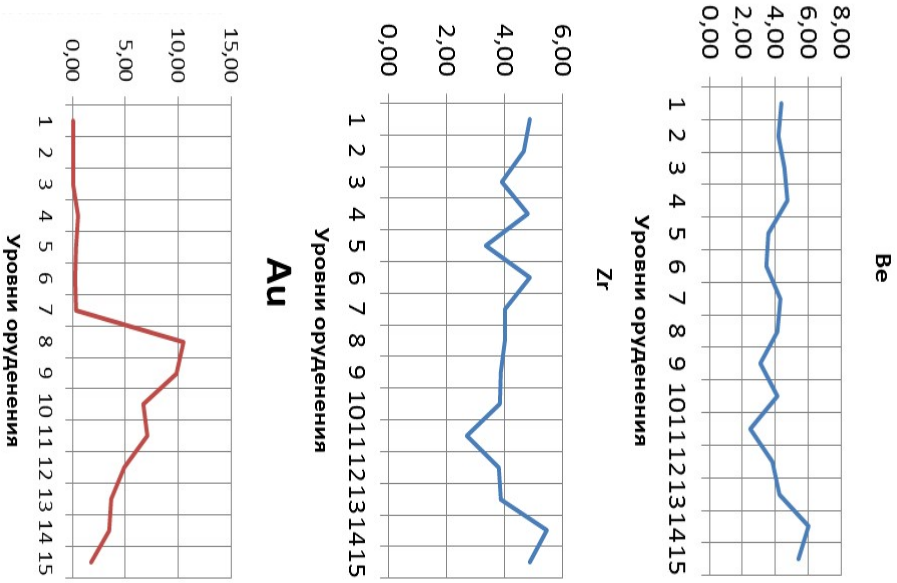

Рис. 12. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Zr, Be модели зоны оруденения.

При проверке таких аномалий, картировочные скважины вскрыли диориты с сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, арсенопиритом, висмутином с редкими прожилками кварца и золотом более 0,3 г/т. В контакте диоритов с ороговикованными песчаниками вскрыта зона оруденения с содержанием золота 17,8 г/т и 4,2 г/т мощностью до 2м. Породы представлены окварцованными березитизированными кварцевыми диоритами с пиритом, висмутином и арсенопиритом, ярозитом 40%, халькопиритом 0.1%, арсенопиритом 0.3%, висмутином 0.3% и золотом от 0.1%.

Данные спектрального анализа минералогических фракций позволяют предположить, что зоны оруденения могут быть связаны с различными типами минерализации. Скважина 592 вскрыла метасоматиты с золото-пирит-висмутовой минерализацией, где золото концен-

трируется в пирите первой генерации, сульфидной массе и висмутине, а в скважинах 603 и 654 вскрыт кварцевожильный тип золотой минерализации, золото в котором концентрируется в арсенопирите и пирите и кварце.

Оценка прогнозных ресурсов золота и перспектив геохимических аномалий. Прогнозные ресурсы геохимической аномалии золота на участке Изобильненский Южный были определены для бортового содержания золота 0,3 г/т и 1,0 г/т. Для подсчета использовался метод оценки прогнозных запасов А.П. Соловова (1985). Схема обработки включает в себя подсчет площадей выделенной аномалии – расчеты в ней средних содержаний золота и подсчет прогнозных ресурсов до глубины 100 м с учетом фоновых содержаний и поправочных коэффициентов: $Q = k^* (C_{ср} - C_ф) *S * H *d$, где $C_{ср}$ – среднее содержание золота в геохимической аномалии (г/т); $C_ф$ – фоновое содержание элемента (г/т); S – площадь аномалии оцениваемого полезного ископаемого (м^2); H=100м – глубина распространения оруденения (м); d – плотность горных пород (2,7 т/м^3); k=1 – коэффициент остаточной продуктивности поскольку оценивается первичный ореол. Геохимические запасы золота (Q Au) составят в площадях изолиний золота 0,1, 0,3, 0,5 и 1,0 г/т .

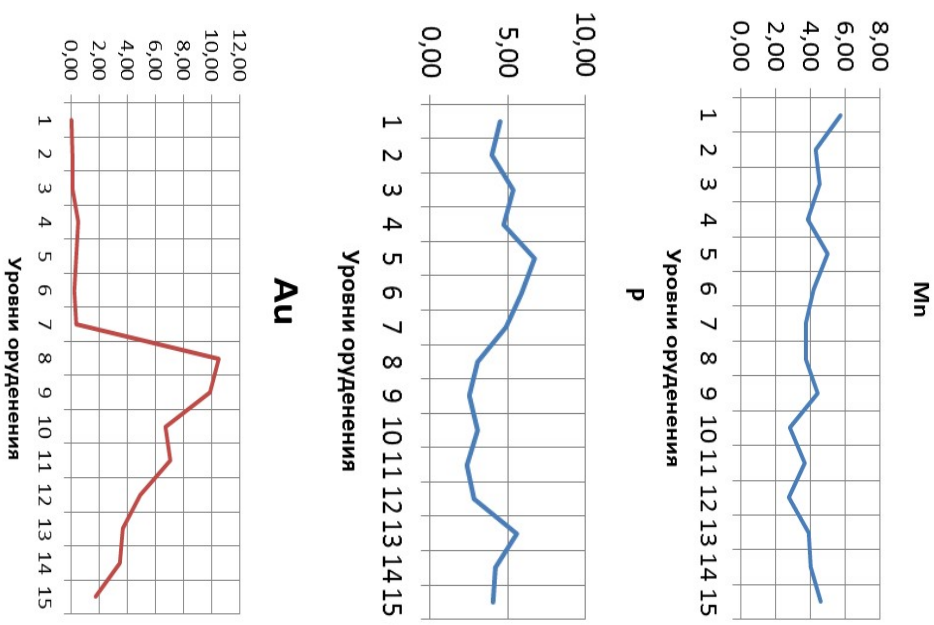

Рис. 13. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, P, Mn модели зоны оруденения.

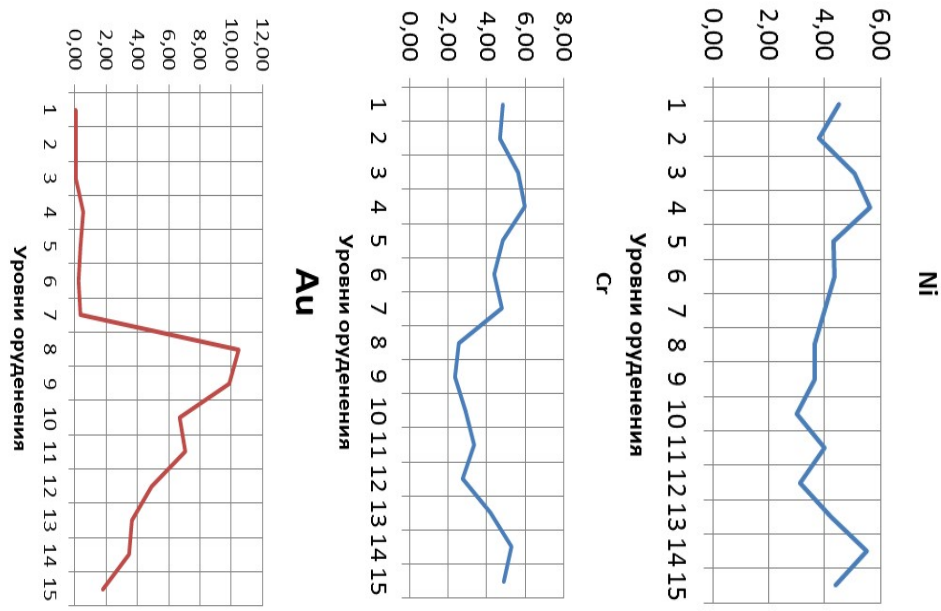

Рис. 14. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Cr, Ni модели зоны оруденения.

Визуализация 3D морфологии зон золоторудной минерализации выполнена в программе Voxler-4. С помощью этой программы были также оценены запасы выделенных зон с бортами золота в 0,3 г/т, 0,5 г/т и 1,0 г/т. Данные представлены в таблицах 3-4.

В программе Voxler-4 были получены 3D модели поверхностей первичного ореола зо-

лота по содержаниям более >0.3, 0.5 и 1.0 г/т.

Для оценки перспектив первичного ореола участка Изобильненский Южный применена попытка использования геохимической зональности выявленного оруденения.

На рисунке 17 показано как меняются с глубиной показатели эрозионного среза оруденения, рассчитанные как отношение произведений содержаний элементов надрудной и верхнерудной частей оруденения к элементам подрудной части: Ba*Sr/Pb*Ni è Ba*Sr*Ti/Pb²*Ni. Этот показатели изменяются монотонно с глубиной и, предполагается, что они будут надежными показателями оценки уровня эрозионного среза оруденения.

На рисунках 21-23 приведены изолинии показателей зональности различных ассоциаций химических элементов.

Изолиниями ассоциации Ba*Sr*Ti более 20 условных единиц оконтурены зоны предполагаемого малого эрозионного среза оруденения. Первичные ореолы золота интенсивностью более 0,03 г/т в западном борту первичного ореола золота совпадающие с этими зонами предположено, что они имеют малый эрозионный срез на уровне надрудных участков оруденения. Эти ореолы в пределах контакта диоритов с гранитоидами, видимо связанные с кварц-сульфидным типом золотой минерализации могут представлять поисковый интерес. Эти ореолы также совпадают в плане с мультипликативным ореолом интенсивности оруденения Ag*Bi*As.

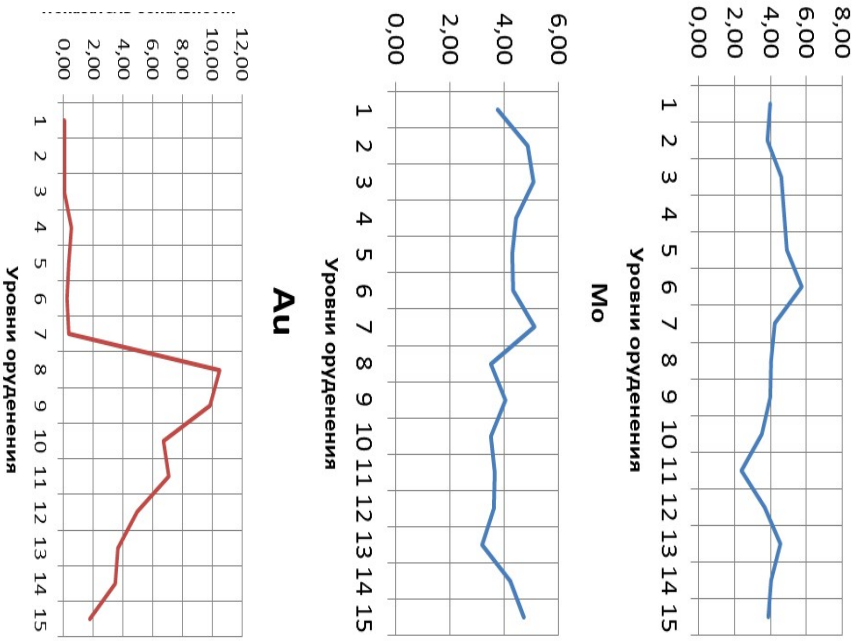

Рис. 15. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, Mo, Sn модели зоны оруденения.

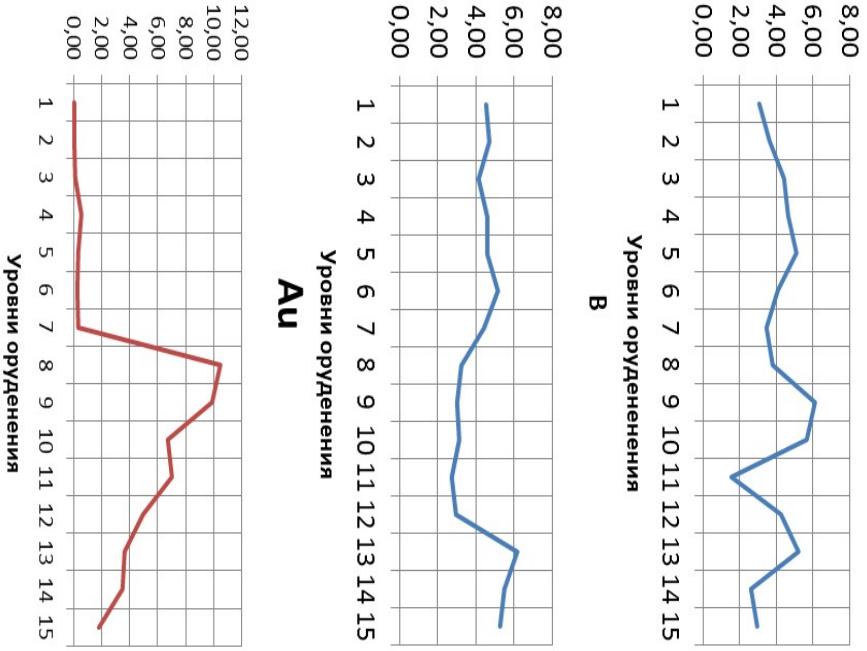

Рис. 16. Графики изменения показателя зональности с глубиной Au, B, Cu модели зоны оруденения.

Другие ассоциации мультипликативных ореолов в различной степени подтверждают это предположение.

В заключение следует отметить, оценка зональности оруденения сделана была лишь по одной скважине, которая вскрыла наиболее богатое оруденение. Здесь была проанализи-

3. Ресурсы золота первичного ореола (по методу А.П. Соловова)

Борт	Площадь ореола м^2	Au г/т Среднее	К	Фон Au г/т	Глубина	Объём м^3	Об. вес т/м^3	Ресурсы Au тонн
0,30	9401	1,37	1,00	0,004	100	940100	2,7	3,5
0,50	6546	1,98	1,00	0,004	100	654600	2,7	3,49
1,00	3122	2,93	1,00	0,004	100	312200	2,7	2,46

4. Ресурсы золота, полученные в программе Voxler 4

борт Au г/т	Объём м^3	Au ср г/т	об. Вес т/м^3	Ресурсы Au тонн
0,30	1467130	1,47	2,7	5,8
0,50	526570	1,67	2,7	2,38
1,00	467101	2,21	2,7	2,74

рована поперечная зональность этой зоны. Хотя она и отражает в какой то мере и вертикальную, использовать её нужно осторожно. К тому же зоны минерализации характеризуются часто эшелонированным расположением рудных зон с различной степенью эрозионного среза. Часто эродированное тело на глубине сменяется не эродированным рудным телом.

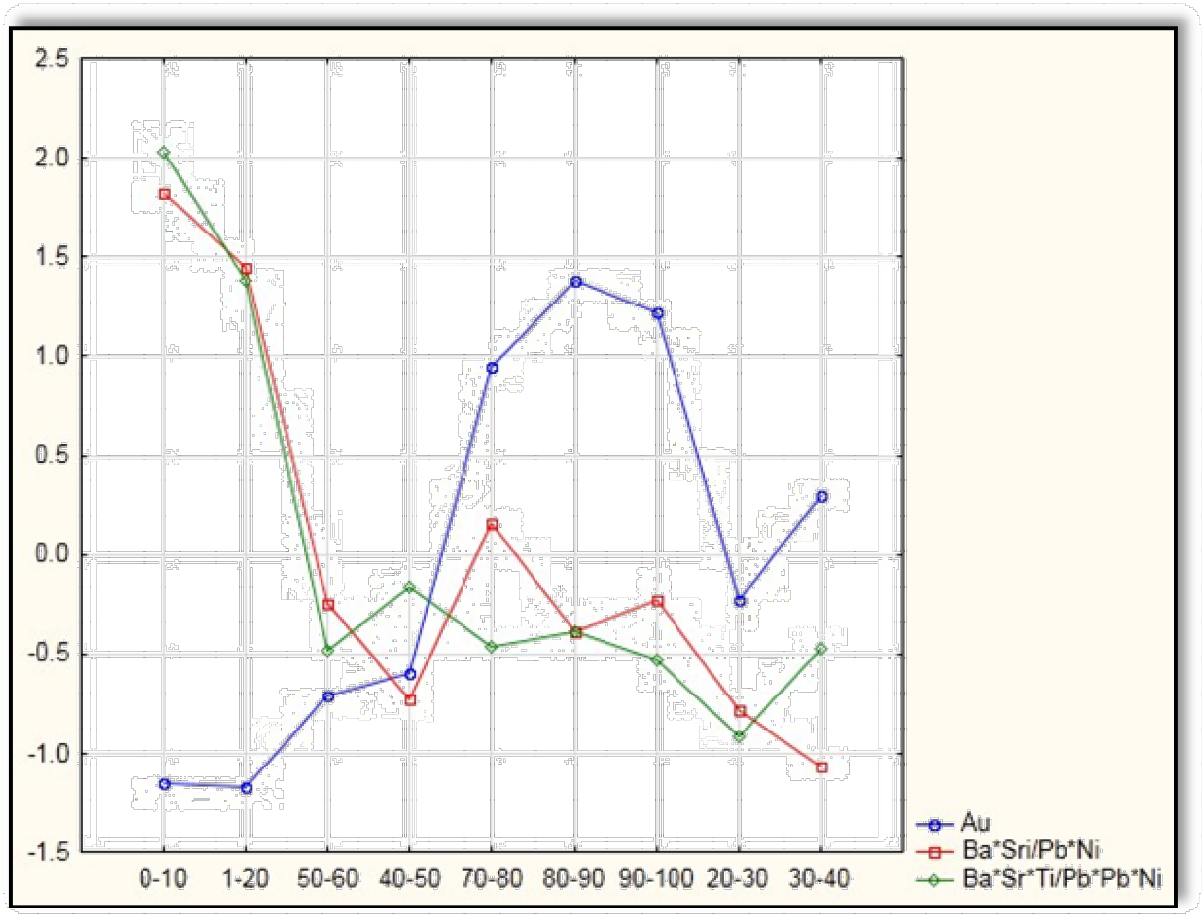

Рис. 17. Графики изменения показателей эрозионного среза и изменения содержаний золота в модели зоны оруденения.

Приведенная оценка эрозионного среза оруденения является приближенной и не претендует на 100 процентную оценку.

ВЫВОДЫ

Глубинные геохимические поиски проведены с применением картировочного бурения станками КГК с опробованием керна подошвы рыхлых отложений и коренных пород. При этом решались следующие задачи:

- анализ фоновых параметров распределения химических элементов;
- построение моноэлементных геохимических карт;
- анализ структуры геохимических полей;
- исследование геохимической зональности золотого оруденения;
- оценка перспектив геохимических аномалий.

Были пробурены 858 скважин картировочного бурения. Отобраны 2743 пробы, которые проанализированы на 25 химических элементов: Au, P, Sb, Mn, Pb, Ti, Zr, As, Cr, Ni, Bi, Ba, Be, Nb, Mo, Sn, V, Cu, Y, Zn, Ag, Co, Sr, B.

Параметры геохимического фона определены статистически в программе STATISTICA-10. Для расчетов были выбраны пробы на удалении от минерализованных участков со спокойным геохимическим фоном. Пробы с высоким содержанием из выборок исключены, также исключены пробы «пустые», пробам с содержаниями ниже порога обнаружения присваивались значения половины порога обнаружения.

Такие элементы как:

Au,P,Sb,As,W,Bi,Sn,Zn,Ag,Mo,Cu,Co,B имеют высокие кларки концентраций (Кк) от 1,45 до 57. Это свидетельствует о превышении средних фоновых содержаний элементов «пустых» пород в сравнении с кларком этих элементов в литосфере, Остальные химические элементы имеют геохимический фон близкий к кларку или ниже его.

Характеристика золотоносности пород участков показывает, что у алевролитов, габбродиоритов, гранитоидов, коры выветривания и у диоритов средние содержания золота превышают на порядок средние содержания в песчаниках песках и гравелитах. Это пока-

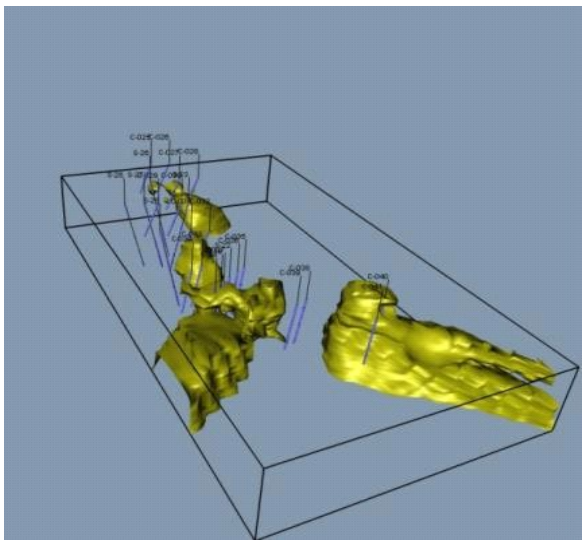

Рис. 18. Поверхность 3D первичного ореола с бортом 0,3 г/т золота.

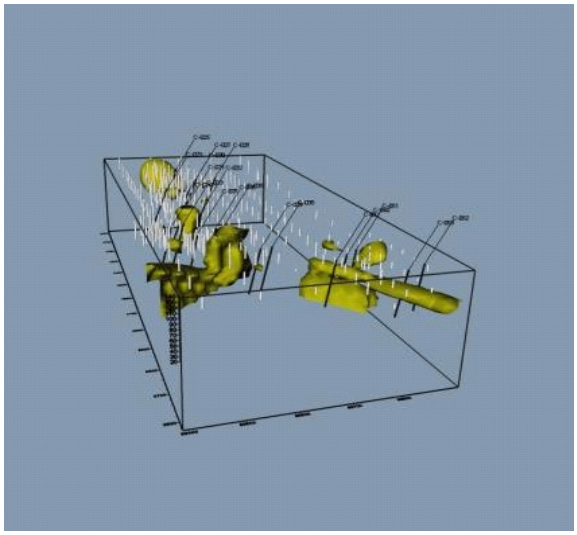

Рис. 19. Поверхность 3D первичного ореола золота с бортом >0,5 г/т.

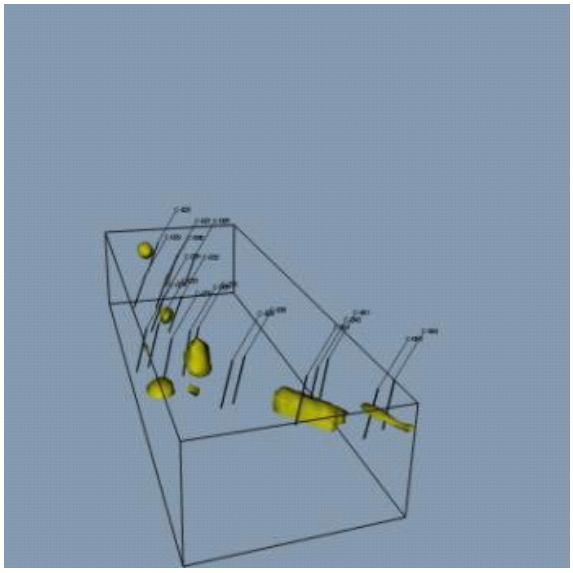

Рис. 20. Поверхность 3D первичного ореола золота с бортом >1,0 г/т.

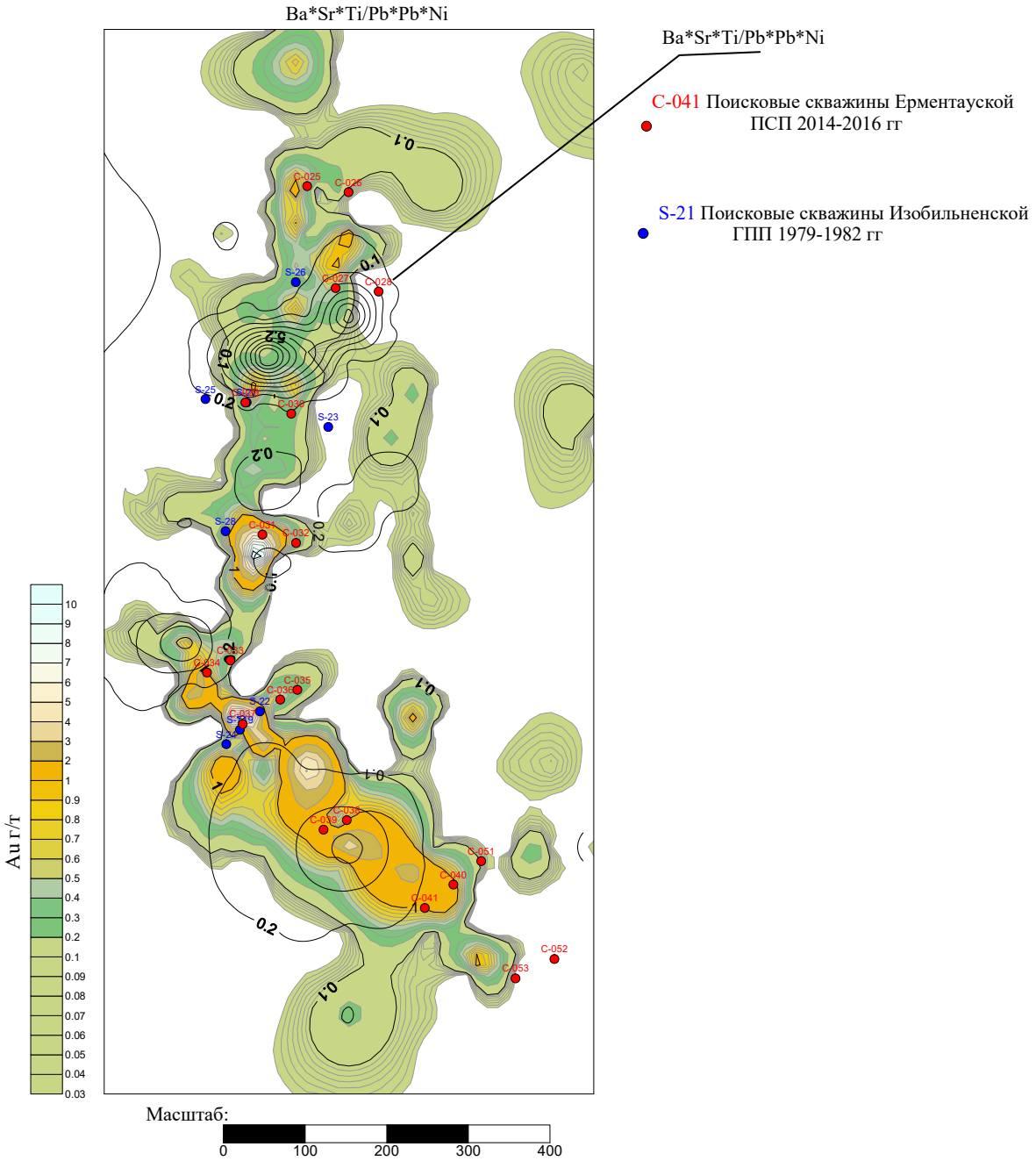

Рис. 21. Мультипликативный ореол (Ti*Ba*Sr/ Pb²*Ni)-показатель эрозионного среза оруденения и первичный ореол золота.

затель того, что в зоне экзоконтакта диоритов с осадочной толщей алевролитов и песчаников породы подвержены гидротермальным процессам с наложенной золоторудной минерализацией. Корреляционным анализом выделены 4 ассоциации химических элементов:

- халькофильная золотосеребряная: Au-As-Ag-Pb-Zn;
- лито-халькофильная: Bi-Sb-Sr-W-Ba;
- халькофильная: Cu-Zr-Sn-Be-Nb;
- сидерофильная : Cr-Co-Ni-V-Mn-P-Ti.

Первая ассоциация характерна для внутреннего ядра рудной зоны, вторая характеризует околорудную внутреннюю область, третья оконтуривает вторую, а четвертая ассоциация элементов характерна для внешней зоны оруденения.

В целом ассоциации элементов, выделяемые по результатам корреляционного анализа, отображают горизонтальную зональность золоторудной минерализации.

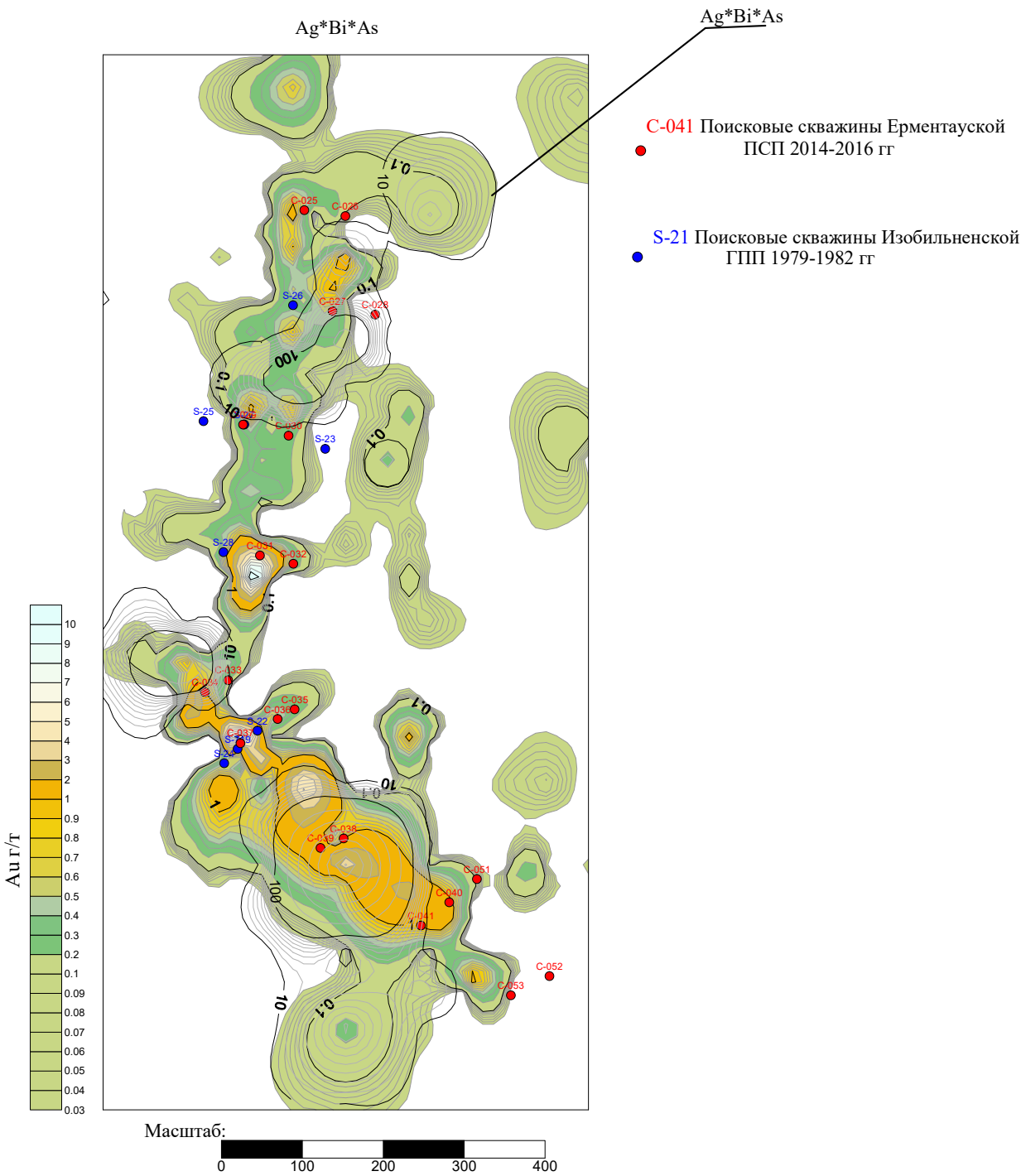

Рис. 22. Мультипликативный ореол (Ag*Bi*As) показатель интенсивности оруденения и первичный ореол золота.

Кластерный анализ и метод К-среднего выполнены в программе STATISTICA-10. В результате были выявлены ассоциации химических элементов. Они в большинстве подтверждают результаты корреляционного анализа. С золотой минерализацией тесно ассоциируются мышьяк, висмут, серебро, свинец и барий.

Месторождения Южное характеризуется ореолами золота, серебра, свинца, цинка, меди, молибдена, олова, вольфрама, кобальта, никеля, хрома, циркония, мышьяка, сурьмы, марганца, фосфора, ниобия, стронция и бария. Большинство из этих элементов между собой или с золотом имеют устойчивую корреляционную связь.

Кластерный анализ выделил 3 ассоциации элементов:

- рудную - (Au, Ag, As, Bi, Pb, Zn);

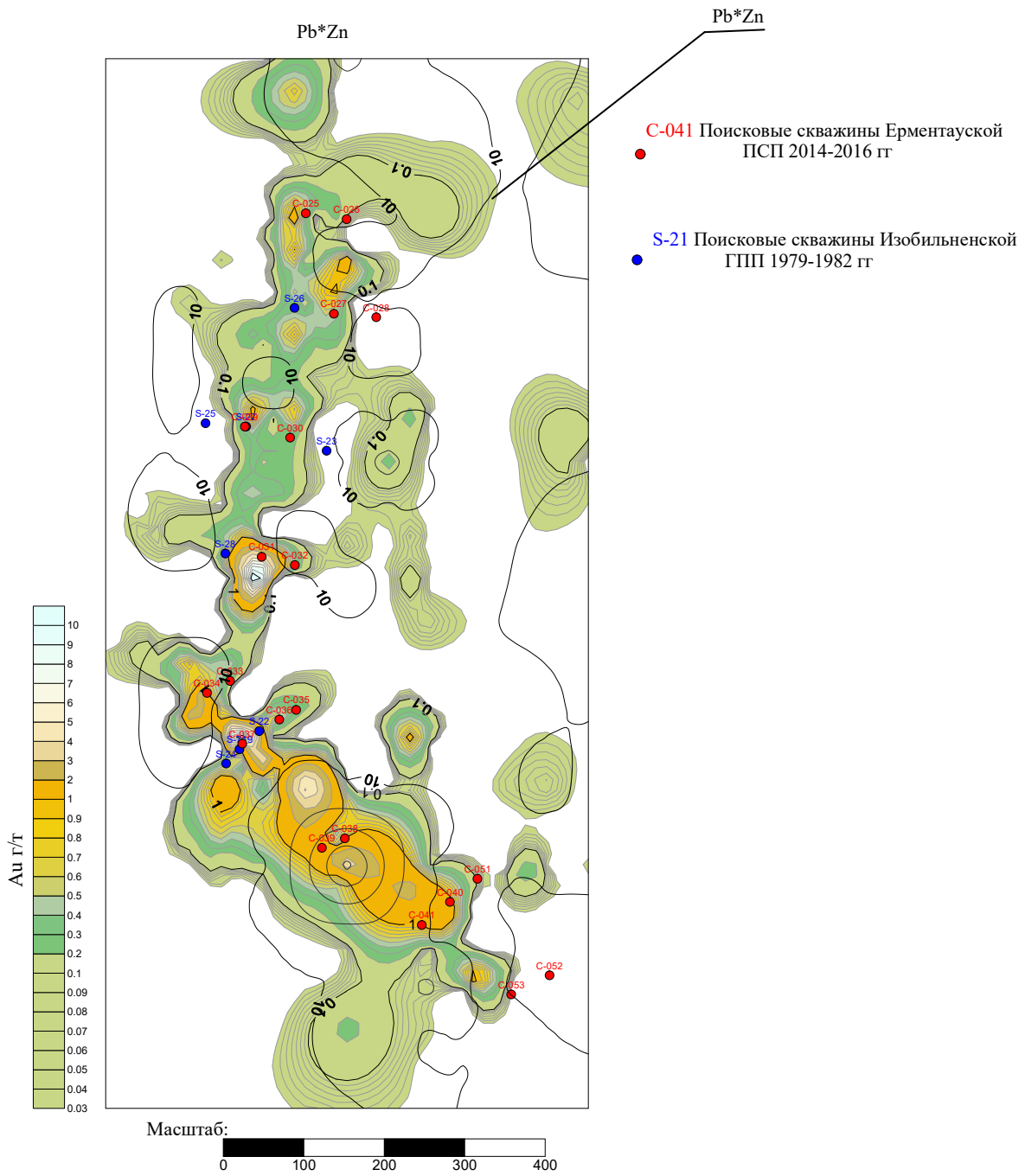

Рис. 23. Мультипликативный ореол (Pb*Zn) нижнерудных уровней оруденения и первичный ореол золота.

- промежуточную - (Cu, Mo, Sn, Sb);
- внешнюю - (Cr, Co, Ni).

Эти ассоциации определяют слабо выраженную горизонтальную зональность первичных ореолов. Она проявляется в том, что никель, кобальт, и хром образуют ореолы «относительного выноса». Выражено это резким обеднением этих элементов в рудной зоне, и накоплением их в ближайших контактах.

Непосредственно рудную зону характеризуют ореолы золота, мышьяка, висмута, свинца и цинка. Ореолы меди, молибдена, олова и сурьмы образуют ореолы ближайшего выноса из оруденения. Они ближе расположены ближе к ореолам золота, чем описанные выше. Ореолы остальных элементов занимают промежуточное положение по отношению к ореолам золота и ореолам «выноса». Оценить количественно поперечную и продольную зональность оруденения не представляется возможным.

Для изучения зональности первичных ореолов, характеризующих оруденение, использована зона золотого оруденения. Стволовая мощность зоны минерализации составляет более 30 метров при среднем содержании золота более 2 г/т. На основании данных этой скважины была построена геохимическая модель оруденения.

На основании этой модели был получен ряд вертикальной зональности оруденения (сверху вниз):

Ba-Sr-Ti-Ni-Cr-Co-Zn-Sn-Mo-Au-Bi-Ag-Sb-Cu-Pb-As-B-Y

Анализ вертикальной зональности позволяет выделить три ассоциации элементов:

- надрудная-верхнерудная: (Ti, Mn, Sr, Ba);
- рудная: (As, Sb, Ag, Bi, Zn, Pb);
- нижнерудная-подрудная: (B, Y, Be, Zr, Nb).

Ванадий, фосфор, хром, никель, кобальт являются элементами выноса из зоны оруденения, а молибден и олово занимают неустойчивое положение в ряду вертикальной зональности.

Кластерным анализом подтверждаются выбранные ассоциации элементов индикаторов золотого оруденения. Наиболее тесная ассоциация золота наблюдается с висмутом, мышьяком и серебром. Эти элементы накапливаются в рудных интервалах зоны оруденения. Немного слабее связь золота с такими элементами как: сурьма, молибден, олово, медь, вольфрам, бериллий и циркон, видимо эта ассоциация характеризует гранитоиды и связанную с ними минерализацию.

Ассоциация элементов, представленных стронцием, барием и титаном характеризует верхнерудные и надрудные области оруденения.

Ассоциация элементов, таких как: хром, никель и свинец характерны для верхнерудных и подрудных частей оруденения.

В пределах зоны золоторудной минерализации скважины вскрыли диориты с сульфидной минерализацией, представленной пиритом, арсенопиритом, висмутином с редкими прожилками кварца и золота более от 0,3 до 17,8 г/т. Кварцевые диориты окварцованные, березитизированные с пиритом, висмутином и арсенопиритом.

Минералогический анализ показал, что зона минерализации представлена пиритом до 54%, ярозитом 40%, халькопиритом 0,1%, арсенопиритом 0,3%, висмутином 0,3% и золотом от 0,1%. Данные спектрального анализа минералогических фракций показали, что золото связано в основном с пиритом и висмутином.

Прогнозные ресурсы геохимической аномалии золота на участке Изобильненский Южный были определены для бортовых содержаний золота 0,1, 0,3, 0,5 и 1,0 г/т. Для подсчета использовался метод оценки прогнозных запасов А.П. Соловова (1985). *Визуализация морфологии зон* золоторудной минерализации выполнена в программе Voxler-4. С помощью этой программы были также оценены запасы выделенных зон с бортами золота в 0,3 г/т, 0,5 г/т и 1,0 г/т.

Для оценки перспектив первичного ореола участка Изобильненский Южный применена попытка использования геохимической зональности выявленного оруденения.

Изолиниями ассоциации Ba*Sr*Ti более 20 условных единиц оконтурены зоны предполагаемого малого эрозионного среза оруденения. Первичные ореолы золота интенсивностью более 0,03 г/т в западном борту зоны золотой минерализации, совпадающие с этими зонами, предположительно, имеют малый эрозионный срез на уровне надрудных участков оруденения. Эти ореолы в пределах контакта диоритов с гранитоидами, видимо, связанные с кварцево-сульфидным типом золотой минерализации, могут представлять поисковый интерес. Эти ореолы также совпадают в плане с мультипликативным ореолом интенсивности оруденения Ag*Bi*As.

Другие ассоциации мультипликативных ореолов в различной степени подтверждают это предположение.

Следует отметить, что оценка зональности оруденения сделана была лишь по одной

скважине, которая вскрыла наиболее богатое оруденение. Здесь была проанализирована поперечная зональность этой зоны. Хотя она и отражает в какой-то мере и вертикальную, использовать её нужно осторожно. К тому же зоны минерализации характеризуются часто эшелонированным расположением рудных зон с различной степенью эрозионного среза. Приведенная оценка эрозионного среза оруденения является приближенной.

Литература

Покусаев А.В. Опыт применения геолого-геофизических и геохимических методов поисков медно-порфирового оруденения в Казахстане на примере месторождения Нурказ-ган (Самарское) // Бюлл. Природные ресурсы Горного Алтая, 2018, № 1-2, с. 53-64.