

УДК 550.8:553.3/9:553.3/4.078

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПОИСКОВЫХ КРИТЕРИЕВ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ И ГОРНОЙ ШОРИИ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,  
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные об информативности поисковых критериев регионального и локального уровня для различных геолого-промышленных типов золотого оруденения Горного Алтая и Горной Шории. Оценка информативностей проведена на большом статистическом материале по различным факторам и признакам золотого оруденения с помощью информационной меры Шеннона. Геологические, петрологические, геохимические и геофизические факторы и признаки золотого оруденения получили количественную оценку информативностей по типам оруденения: золото-сульфидно-кварцевое, золото-черносланцевое, золото-ртутное, золото-медно-скарное, медно-молибден-золото-порфировое, медно-золото-порфировое, эпitherмальное золото-серебряное.

**Ключевые слова:** золотое оруденение, геолого-промышленные типы оруденения, информационная мера Шеннона, геохимические, петрологические, геофизические факторы и признаки

## QUANTITATIVE VALUATION INFORMATION OF INDICATORS CRITERIONS OF GOLD MINERALIZATION OF MOUNTAIN ALTAI AND MOUNTAIN SHORIA

Gusev A.I.

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data about informations indicator criterions of region and local levels for different geology-commercial types gold ore mineralization of Mountain Altai and Mountain Shoria lead. Valuation of informations conducted on large statistic material on different factor and signs gold mineralization with information measure Shannon. Geologic, petrologic, geochemical and geophysics factors and signs of gold mineralization received quantitative valuation informations on the type ore mineralization: gold-sulfide-quartz, gold-black-shale, gold-mercury, gold-copper-skarms, copper-molibdenium-gold-porphyre, epithermal gold-silver.

**Keywords:** gold ore mineralization, geology-commercial types ore mineralization, information measure Shannon, geochemical, petrological, geophysical factors and signs

Построение прогнозных карт обычно проводится на основе предварительного анализа выяснения информативности поисковых критериев на качественной основе. Такой подход вносит элемент субъективизма в оценку важности и ранжирования поисковых критериев. Однако для хорошо изученных регионов возможно проводить количественную оценку информативности поисковых критериев с помощью вероятностно-статистических методов. К числу таких методов можно отнести алгоритм Байеса [1], информационную меру Шеннона [2] и другие. Актуальность таких исследований очевидна, так как позволяет проводить металлогенический анализ и построение прогнозных карт на объективной основе. Цель исследований – оценка информативности поисковых критериев с использованием информационной меры Шеннона.

**Результаты исследований.** В пределах Горного Алтая и Горной Шории распространены многочисленные типы золотого оруденения: золото-сульфидно-кварцевое жильное, золото-черносланцевое, золо-

то-ртутное, золото-медно-скарное, медно-молибден-золото-порфировое, медно-золото-порфировое, эпitherмальное золото-серебряное. Каждый из перечисленных типов имеет свой специфический набор ведущих поисковых критериев, количественная оценка которых определена с помощью информационной меры Шеннона [2]. Для некоторых типов золотого оруденения количественные оценки информационной меры сведена в табл. 1 и 2. Методология количественных расчётов базируется на определении вероятностной оценки информативности критериев, исходя из соотношений числа золоторудных объектов относительно конкретных критериев с учётом площадей, занимаемых этими критериями. Все исходные данные «снимаются» с карт закономерностей размещения полезных ископаемых и специализированных карт поисковых критериев.

$$I_{A_j \rightarrow B_i} = \log P(B_i / A_j) / P(B_i),$$

где  $P(B_i / A_j)$  – вероятность осуществления события  $B_i$  после принятия сообщения  $A_j$

(апостериорная вероятность);  $P(B_i)$  – вероятность осуществления события  $B_i$  до принятия сообщения  $A_j$  (априорная вероятность).

Численные величины информативностей весьма дифференцированы для разных критериев и типов золотого оруденения [7] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Информативность некоторых поисковых критериев и признаков различных типов золотого оруденения Горного Алтая и Горной Шории

| Критерии и признаки   | Au-Cu-скарновый                               | Au-сульфидно-кварцевый жильный                  | Кварцево-штокверковый Au-сульфидный           | Au-черносланцевый                             | Au-теллуридно-скарновый                        |
|---|---|---|---|---|--|
| 1. Пространственная и парагенетическая связь с дайковыми комплексами:<br>а – долерит-диорит-гранодиорит-гранитовыми;<br>б – долерит-лампрофировыми  | 0,95<br>0,23                                  | 0,39<br>-0,18                                   | 0,81<br>-0,15                                 | 0,55<br>0,76                                  | 0,45<br>0,89                                   |
| 2. Связь с участками развития:<br>а – аномальных параметров флюидного режима рудогенерирующих магматитов;<br>б – проявления трансмагматических высоковосстановленных флюидов, открытых по F, Cl, CO <sub>2</sub>  | 0,97<br>0,99                                  | 0,96<br>0,98                                    | 0,95<br>0,97                                  | 0,98<br>0,99                                  | 0,98<br>0,99                                   |
| 3. Структурный контроль оруденения:<br>а – расстояние от разломов сбросо-сдвигового типа субмеридиональной и С-З ориентировки:<br>0-0,5 км<br>0,5-1 км<br>1-,15 км<br>б – зоны повышенной трещиноватости;<br>в – участки антиклинальных перегибов;<br>г – флексурные изгибы             | 0,85<br>0,43<br>-0,13<br>0,90<br>0,55<br>0,73 | 0,87<br>0,32<br>-0,04<br>0,18<br>-0,17<br>-0,12 | 0,88<br>0,41<br>-0,21<br>0,93<br>0,23<br>0,34 | 0,92<br>0,69<br>-0,22<br>0,90<br>0,72<br>0,58 | 0,91<br>0,66<br>-0,018<br>0,90<br>0,71<br>0,56 |
| 4. Метасоматиты:<br>а – скарны<br>б – зональные метасоматиты (эйситы-гумбеиты)<br>в – окварцевание в скарнах<br>г – зональные ореолы минералов-спутников (борнит, пирит, халькопирит, халькозин и др.)  | 0,95<br>0,80<br>0,91<br>0,83                  | -0,27<br>0,56<br>-0,29<br>0,82                  | 0,11<br>0,77<br>0,12<br>0,81                  | -0,06<br>-0,12<br>-0,23<br>-0,23              | 0,87<br>0,82<br>0,83<br>0,93                   |
| 5. Аномальные структуры геохимических полей (АСГП):<br>а – не линейные, близкие к изометричным с Au, Cu, Bi, Ag в зоне ядерного концентрирования;<br>б – линейные АСГП с Au, Bi, Cu, Ag в зоне ядерного концентрирования  | 0,93<br>0,17                                  | 0,23<br>0,83                                    | 0,81<br>0,43                                  | 0,79<br>0,31                                  | 0,78<br>0,33                                   |
| 6. Особенности геофизических полей: а – отрицательные значения и перегибы изолиний магнитного поля, маркирующие сдвиговые разломы;<br>б – сочетания низких значений магнитного спектра шкалы (от -300 до +700 нТл);<br>в – Аномалии ВП<br>г – Аномалии N Fe и N Cu на кривых РРК по ГИС | 0,22<br>0,92<br>0,17<br>0,83                  | 0,87<br>-0,26<br>0,64<br>0,76                   | 0,36<br>0,38<br>0,18<br>0,68                  | 0,39<br>0,11<br>-0,27<br>-                    | 0,19<br>0,92<br>-0,29<br>0,34                  |

Региональные критерии. Анализ таблиц показывает, что главенствующее значение из региональных критериев для контроля золотого оруденения имеют магматические в разных выражениях (массивы, дайки рудогенерирующих магматитов, особенности их флюидного режима – окисленность, восстановленность флюидов, фугитивности и парциальные давления летучих компонентов), которые «сняты» со специализированных металлогенических карт и карт закономерностей размещения золотого оруденения региона. Для перечисленных типов оруденения в таблицах наиболее высокие значения информативности (0,95-0,99) получены для участков развития аномальных параметров флюидного режима рудогенерирующих магматитов (повышенные значения фугитивностей и парциальных давлений хлора, бора, углекислоты, воды), а также для областей проявления трансмагматических флюидов в рудогенерирующих магматитах. Оба критерия обусловлены особенностями проявления дериватов мантийно-корового взаимодействия в верхней литосфере, являющихся продуктами распада магмо-флюидодинамических систем, генерированных плюмтектоникой в нижней мантии, в процессе поднятия к поверхности Земли [3-5].

Важнейшее значение для золото-сульфидно-черносланцевого типа оруденения имеет фемический тип субстрата земной коры, где выделяются дериваты офиолитового дунит-гарцбургитового сеглебирского комплекса ( $C_1$ ) и низкотитанистых метабазальтов манжерокской свиты ( $C_2$ ), характерных для обстановок океанического спрединга и надсубдукционной обстановки (Сиинско-Коуринский рудный узел). Аналогичная ассоциация черносланцевых разрезов, вмещающих золотое оруденение, с офиолитами наблюдается в Сокпанды-Чичкитерекском золоторудном узле.

Для эпитермального золото-серебряного оруденения важное поисковое значение имеет фемо-сиалический тип субстрата. При этом оптимальный поисковый признак для Сурича и Майско-Семёновского участка имеют вулканические аппараты центрального типа и наличие флюидо-эксплозивных брекчий [5].

Геофизические предпосылки локализации различных типов оруденения имеют свои специфические особенности. В целом Синюхинское, Чойское, Ульменское, Ишинское рудные поля располагаются между локальными аномалиями  $\Delta g$ . При этом более высокое гравитационное поле напряженностью 6-8 мГал на участках рудных полей об-

условлено: а) наличием диоритов, габброидов имеющих самые высокие значения плотности (2,93-2,95 г/см<sup>3</sup>); б) существованием в некоторых рудных полях магмоподводящих каналов, в области которых породы характеризуются повышенными значениями гравитационного и магнитного полей. Здесь же проявлены и насыщенные рои даек пестрого петрографического состава, среди которых значительный «удельный вес» составляют основные по кислотности породы – долериты и диориты. В других частях рудных полей гравитационное поле понижено до 3,5-4 мГал. Для золото-колчеданного барит-полиметаллического оруденения, отражённого в табл. 2, благоприятны высокоградиентные магнитные аномалии интенсивностью 1000-2500 гамм.

Локальные критерии. Золото-сульфидное оруденение в углеродисто-карбонатно-терригенных разрезах контролируется зонами трещиноватости и разломами, оперяющими крупные дизъюнктивы глубокого заложения. Наиболее благоприятные обстановки локализации оруденения сосредоточены в узлах сопряжения таких зон трещиноватости с благоприятными литологическими предпосылками (повышенные углеродистость и карбонатность пород). Зоны повышенной трещиноватости сопровождаются комплексами даек, претерпевшими интенсивный метасоматоз (пропилитизация, лиственитизация, березитизация). Минералогические признаки включают наличие мышьяковистого пирита и игольчатого арсенопирита, а также большое количество и многообразие генераций сульфидов. Наиболее информативные геофизические предпосылки – наличие достаточно интенсивных аномалий ВП и ЕП (табл. 1 и 2).

Метасоматиты, сопровождающие рудные тела, весьма различны для разных типов оруденения. Эпитермальное золото-серебряное оруденения субвулканического типа характеризуется мощно проявленной аргиллизацией, накладывающейся на пропилиты. Для скарновых типов оруденения наиболее информативны, помимо самих скарнов, окорудные метасоматиты эйсит-гумбеитового типа и наложенное окварцевание.

Структурный контроль для различных типов оруденения проявляется по-разному и дифференцируется по своей значимости. Для золото-медно-скарнового оруденения важнейшую роль играют участки антиклинальных перегибов, сопровождающихся структурами отслоения, и, в меньшей мере, – флексурных изгибов пластов известняков. К сопряжению этих структур с зонами повышенной трещиноватости и дизъюнктивами

северо-западного и субмеридионального простирания приурочены рудные столбы и линзы концентрированного оруденения. Для многих типов золотого оруденения рудоконтролирующая роль разломов сдвиговой кинематики

ограничивается расстоянием до 1 км (с максимумом информативности для интервала 0,5-1 км). Свыше указанного интервала (более 1 км) информативность значимости структурного фактора становится отрицательной.

Таблица 2

Информативность некоторых поисковых критериев и признаков различных типов золотого оруденения Горного Алтая и Горной Шории

| Критерии и признаки   | Au-Ag эпitherмальный                         | Au- колчеданный барит-полиметаллический        | Скарновый Au-железородный                     | Au-порфировый                                 | Au-Hg тип  |
|---|--|--|---|---|--|
| 1. Тип субстрата земной коры:<br>а – фемический<br>б – фемо-сиалический   | -0,28<br>0,86                                | 0,91<br>-0,38                                  | 0,75<br>-0,29                                 | -0,42<br>0,77                                 | 0,25<br>-0,11                                    |
| 2. Рудовмещающие породы:<br>а – терригенные<br>б – вулканогенные<br>в – интрузивные   | -0,89<br>0,91<br>-0,66                       | -0,55<br>0,76<br>-0,75                         | 0,24<br>0,54<br>0,08                          | -0,44<br>0,28<br>0,27                         | 0,67<br>0,01<br>-0,54                            |
| 3. Пространственная связь с массивами гранитоидов:<br>а – I- типа<br>б – А-типа   | 0,49<br>0,58                                 | -0,54<br>-0,94                                 | 0,68<br>-0,21                                 | 0,08<br>0,90                                  | -0,04<br>-0,01                                   |
| 4. Пространственная и парагенетическая связь с дайковыми комплексами:<br>а – габбро-пироксенитовыми<br>б – долерит-диорит-гранодиорит-гранитовыми;<br>в – монзонит-сиенитовыми<br>г – долерит-лампрофировыми                | -0,71<br>0,07<br>0,56<br>-0,44               | 0,87<br>0,21<br>-0,13<br>-0,18                 | -0,28<br>0,36<br>0,64<br>-0,22                | -0,51<br>0,29<br>0,73<br>-0,09                | 0,12<br>0,76<br>-0,13                            |
| 5. Связь с участками развития:<br>а – аномальных параметров флюидного режима рудогенерирующих магматитов;<br>б – проявления трансмагматических высоковосстановленных флюидов, открытых по фтору, хлору, углекислоте         | 0,94<br>0,95                                 | 0,96<br>0,97                                   | 0,98<br>0,98                                  | 0,97<br>0,99                                  | 0,34<br>0,88                                     |
| 6. Структурный контроль оруденения:<br>а – зоны вязких разломов<br>б – зоны повышенной трещиноватости;  | 0,69<br>0,75                                 | 0,71<br>0,63                                   | -0,25<br>0,49                                 | -0,47<br>0,68                                 | 0,15<br>0,66                                     |
| 7. Наличие флюидо-эксплозивных брекчий  | 0,90   | -0,81  | 0,33  | 0,95  | 0,33   |
| 8. Околурные метасоматиты:<br>а – скарны<br>б – пропициты<br>в – березиты<br>г – листовиты<br>д – фельдшпатолиты<br>е – аргиллизиты   | 0,13<br>0,45<br>0,58<br>0,29<br>0,21<br>0,95 | -0,24<br>0,66<br>0,72<br>0,24<br>0,19<br>-0,21 | 0,71<br>0,58<br>0,69<br>0,25<br>0,21<br>-0,16 | -0,16<br>0,42<br>0,67<br>0,22<br>0,89<br>0,55 | -0,87<br>-0,12<br>-0,23<br>0,56<br>-0,65<br>0,88 |
| 9. Зональные аномальные структуры геохимических полей (АСГП)  | 0,97   | 0,52   | 0,77  | 0,83  | 0,88   |
| 10. Особенности геофизических полей: а-высокоградиентные положительные магнитные аномалии интенсивностью 1000-2500 гамм;<br>б – отрицательные аномалии магнитного поля 1000-2500 гамм<br>в – Аномалии ВП<br>г – Аномалии ЕП | -0,48<br>0,79<br>0,55<br>0,47                | 0,93<br>0,90<br>0,53<br>0,41                   | 0,18<br>0,53<br>0,21<br>0,06                  | -0,42<br>0,71<br>-0,03<br>-0,02               | 0,55<br>0,11<br>0,56<br>0,66                     |

Для жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения ведущую рудоподводящую и рудо локализирующую роль играли сбросы, сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги субмеридиональной и сопряженной с ней СЗ ориентировки. Узлы сопряжения разломов выше обозначенной ориентировки были флюидоподводящими каналами для золото-медно-скарнового оруденения и рудо локализирующими – для жильного золото-сульфидно-кварцевого геолого-промышленного типа.

Геохимические признаки имеют важнейшее значение при поисках различных типов оруденения. Так для золото-медно-скарнового оруденения характерны нелинейные (близкие к изометричным) АСПП с золотом, медью, висмутом, серебром в зонах ядерного концентрирования [8]. Для жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения такие АСПП менее характерны, а ведущими для них являются линейные АСПП с таким же элементным составом зон ядерного концентрирования и четкой приуроченностью к зонам сдвиговых нарушений (табл. 1). Аномальные структуры геохимических полей для разных типов оруденения имеют свои специфические наборы химических элементов в зонах ядерного концентрирования: в золото-медно-скарновом – золото-медь-висмут, в золото-теллуридно-скарновом – золото-теллур-висмут, эпитеpmальном золото-серебряном – золото-серебро-свинец-цинк.

Промышленное золото-медно-скарновое оруденение приурочено к участкам с пониженным намагничением – от 500 до  $3000 \times 10^{-6}$  ед. СГС. Такие значения спектромагнитной шкалы характерны для ареалов гидротермально измененных пород, претерпевших разуплотнение с понижением характеристик намагниченности. Скарновые залежи создают значения магнитного спектра шкалы от  $-300$  нТл до  $+700$  нТл.

**Интерпретация результатов.** Информативности поисковых критериев и признаков различных типов оруденения весьма значительно отличаются по значениям и набору признаков, что затрудняет объективность использования их без учёта вероятностно-статистической оценки их значимости в каждом конкретном случае.

Количественные значения информативностей критериев оруденения, вынесенные на карту, позволяют построить карту информативностей поисковых критериев и признаков в аддитивном варианте. Суммарные величины информативностей отражают кооперативный облик золоторудных объектов по проанализированным критериям ранга рудных полей и узлов. Карты информативности поисковых критериев золотого оруденения в числовых значениях информативностей позволяют более объективно подходить к прогнозной оценке минерагенических таксонов ранга рудных полей и узлов и выделению перспективных площадей за пределами известных месторождений и рудопроявлений.

### Заключение

Различные геолого-промышленные типы оруденения золота характеризуются своим набором значимых признаков и факторов оруденения и выражены в численном выражении.

Важное значение имеют сочетания факторов и признаков оруденения для каждого геолого-промышленного типа, что следует учитывать при прогнозных построениях и выделении перспективных участков.

### Список литературы

1. Бугаец А.Н., Дуденко Л.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1976. – 270 с.
2. Вальд А. Статистические решающие функции / Позиционные игры. – М. Наука, 1967. – С. 300-522.
3. Гусев А.И. Аномальные структуры геохимических полей эпитеpmального золото-серебряного оруденения Горного Алтая и юга Горной Шории // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. – Томск, 2003. – С. 151-153.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидодинамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения, 2005. – № 23. – С. 119-129.
5. Гусев А.И. Эпитеpmальное оруденение благородных металлов Горного Алтая и Горной Шории // Известия Томского политехнического университета. Томск. – 2005. – Том 308. – №3. – С. 32-35.
6. Гусев А.И. Инновационные технологии прогнозирования эндогенного оруденения // Современные наукоёмкие технологии, 2010. – № 4. – С.50-52.
7. Гусев А.И. Об объективности оценки факторов и прогнозных критериев золотого оруденения // Руды и металлы, 2011. – №3-4. – С 52-53.
8. Гусев А.И. Аномальные структуры геохимических полей эпитеpmального золото-серебряного оруденения Горного Алтая и Горной Шории // Успехи современного естествознания, 2012. – № 1. – С. 12-16.