

УДК 550.845:553.3/4

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ЗОЛОТА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

В.А.КИРЮХИН, Н.Б.НИКИТИНА, С.М.СУДАРИКОВ

Уже доказана теоретическая и практическая возможность проведения поисков золоторудных проявлений на основе прямых гидрогеохимических показателей — непосредственного обнаружения золота в тех или иных количествах в водах. Назовем работы Г.К.Кропачева (1935), Л.В.Разина и И.С.Рожкова (1963), В.П.Борсвицкого и В.Н.Шемкина (1965), Г.А.Голевой (1968), Б.А.Воробьякова, Н.И.Николаева, А.В.Пирожкова (1973), Ф.П.Кренделева, Ю.Ф.Посребняка, В.В.Толочко (1980) и многих других. Указанные работы охватили различные районы Союза: Забайкалье, Приохотье, Енисейский край, Урал и другие территории.

Однако, использование золота в качестве прямого показателя при гидрогеохимических поисках затруднялось из-за низкой чувствительности его определения имевшимися аналитическими методами. Появление в арсенале геохимиков нейтронно-активационного метода с нижним порогом определения содержания элементов до 10^{-8} % позволило решить эту задачу. Использование этого метода в практике гидрогеохимических поисков поставило ряд новых методических и теоретических вопросов. Среди них следует отметить возможность использования в качестве поисковых показателей редкоземельных элементов, установление фоновых концентраций золота в водах, выявление корреляционных связей золота с ранее не известными в водах компонентами и др. Все эти и другие вопросы изучались нами при проведении гидрогеохимических исследований в четырех районах проявления золоторудной минерализации, расположенных в различных ландшафтно-геохимических обстановках юга Дальнего Востока и Юго-Восточной Якутии.

В структурно-гидрогеологическом отношении изучаемые районы представляют собой гидрогеологические массивы (ГМ): Западно-Сихотэалинский, Нижне-Амгунский, Гонжинский и Дыбинский. Каждый из них наиболее обводнен в верхней части разреза: до глубины от нескольких метров (Дыбинский ГМ) и до 40-100 м в других.

В табл. I показаны различия ландшафтно-геохимических обстановок, в которых происходит формирование гидрогеохимических ореолов рассеяния рудопроявлений золота.

Ландшафтно-геохимическая обстановка золоторудных районов

Район	Климат	Рельеф	Мерзота	Рудомещающие породы	Главные сульфидные минералы
Западный Сихотэ-Алинь	Муссонный	Низкогорный	Отсутствует	Андезиты K_2 , гранодиориты, диориты	Пирит, халькопирит, галенит, сфалерит
Нижнее Приамурье	То же	Среднегорный	Отсутствует	Терригенные породы J_3-K_1 , андезиты P_1 , гранодиориты, диориты	Пирит, арсенопирит, марказит, висмутит, блеклые руды, галенит, сфалерит
Среднее Приамурье	Континентальный	Равнинный	Долинного типа	Липариты, дациты K_1 , гранитоиды	Пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит
Юго-Восточная Якутия	То же	Среднегорный	Мощностью до 200-350 м	Песчаники P_1 , гранодиориты	Арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды

Важным вопросом гидрогеохимических поисков на золото является возможность его прямого определения в водах. Согласно данным такого определения в водах золоторудных месторождений, расположенных в различных ландшафтно-климатических зонах: гумидных горных и аридных горных (табл.2), фоновые концентрации золота в водах разных районов изменяются примерно в пределах двух порядков — от 0,003 до 0,25 мкг/л, причем в районах гумидных с высокой степенью промывности фоновые концентрации обычно меньше, чем в районах с засушливым климатом и худшими условиями водообмена.

Такой вывод подтверждается и данными статистической обработки результатов регионального опробования пресных вод на золото (более 1800 анализов), проведенной И.С. Ломоносовым и Ю.И. Кустовым [8]. Она показала, что фоновые концентрации золота равны на юге Дальнего Востока 0,0026 мкг/л, на Енисейском крае, в Забайкалье и Алтае — 0,004 мкг/л, на Чукотке — 0,063 мкг/л, в Южной Монголии и Центральном Казахстане — 0,084 мкг/л.

Максимальные концентрации золота в водах на участках золоторудных месторождений достигают 0,2-1,0 мкг/л, редко более. Коэффициенты концентраций золота достигают в наиболее благоприятных условиях 20-40, лишь в отдельных случаях превышают указанные значения.

Следует отметить, что растворенное золото составляет лишь часть от общего его количества [1,4,5,8]. Н.А. Росляков [6] относит его к элементам, накапливающимся в зоне окисления. Поскольку миграционная способность рудных элементов неодинакова, то возникают различные их ассоциации в разных типах ореолов и потоков рассеяния. Приведенный в табл.3 материал дает общее представление о характере перемещения металлов при выветривании золоторудных месторождений. Элементы расставлены в порядке убывания по коэффициентам концентрации. Как видно из табл.3, золото обычно занимает свою ведущую роль в составе различных типов ореолов и потоков рассеяния.

Характеристика состава вод некоторых золоторудных месторождений

Район опробования	Тип вод	Содержа- ние золо- та, мкг/л	Минерализа- ция вод, г/л	Основные макрокомпоненты		Рудные компоненты
				Катионы	Анионы	
Западный Сихот- линь	Трещинно-грунтовые и поверхностные	$\frac{0,003}{0,4}$	0,05-0,15	Ca, Na	HCO ₃	Ag, As, Mo, Sn
Нижнее Приамурье	То же	$\frac{0,01}{0,2}$	0,05-0,2	Ca, Na	HCO ₃ , SO ₄	Ag, Cu, Zn, Pb, Mo (As, Sb, W)
Среднее Приамурье	—	$\frac{0,003}{0,02}$	0,08-0,5	Ca, Mg	HCO ₃ , SO ₄	Ag, As, Cu, Zn, Pb, Sn
Юго-Восточная Якутия	Надмерзлотные и поверхностные	$\frac{0,01}{0,3}$	0,03-0,3	Ca, Mg	HCO ₃ , SO ₄	Ag, As, Cu, Zn, Mo, Co
Восточное Забайкалье (Куранах) [2]	Трещинно-грунтовые и поверхностные	$\frac{0,05}{0,2}$	0,05-0,15	Ca, Mg	HCO ₃ , Cl	Ag, Mo, Pb, Zn, Cu, Sn
Восточное Забай- калье (Баней)	Поверхностные	$\frac{0,05}{0,2}$	0,1-0,2	Ca, Mg	HCO ₃ , Cl	Ag, As, Zn, Mo, Cu
То же	Порово-пластовые	$\frac{0,05}{0,2}$	0,2-0,5	Ca, Mg	HCO ₃ , SO ₄	Ag, As, Zn, Mo, Cu
—	Трещинно-грунтовые	$\frac{0,07}{0,5}$	0,2-1,0	Na, Ca	HCO ₃ , SO ₄	Ag, As, Zn, Mo, Cu
—	Углекистые	$\frac{0,07}{0,4}$	3,0-6,0	Na, Mg	HCO ₃ , SO ₄	Ag, As, Zn, Mo, Cu
Чаткало-Курамин- ский район	Трещинно-грунтовые	$\frac{0,1-0,25}{0,6}$	0,2-3,3	Na	SO ₄ , Cl	Ag, As, W, Sb, Mo, Cr
Нератинго-Зерав- шанский район [7]	То же	$\frac{0,05-0,1}{0,2}$	0,6-2,7	Na	SO ₄ , Cl	Ag, As, W, Sb, Mo, Cu, Zn

Примечание. В числителе — фоновые, в знаменателе — максимальные.

Статистическая обработка полученных материалов позволила выявить ассоциации рудных элементов, характеризующихся наличием корреляционных связей во вторичных ореолах и потоках рассеяния. Так, например, для литохимических потоков на Западном Сихотэ-Алине установлены три ассоциации металлов: $Au, Ag, Pb, Zn(Cu)$; $Ni, Co, Cr, V, Ti, Mn(Mo)$; Bi, Sr, Sn . В природных водах Среднего Приамурья определены следующие ассоциации микрокомпонентов: три в поверхностных водотоках - As, V, Cr, Ni, Mo ; Co, Mn, Cr ; $Cu, Ni, (Ag, Pb)$; одна в болотных водах - Cr, Co, Ni, V, Mn ; две в водах мочажин - Cr, Co, Mn, Ni, V, Mo ; Cu, Ni ; три в трещинно-грунтовых водах - Ag, Cu, Ni, V ; Zn, Sn, Mn, Ni . Разные ассоциации металлов указывают, с одной стороны, на различные источники обогащения ими вод, а с другой - на различие в миграционных способностях металлов.

При гидрогеохимических поисках в золоторудных районах, очевидно, наиболее важным является выявление групп элементов наиболее тесно связанных с прямым поисковым показателем - золотом. По результатам корреляционного анализа ($r = 0,56+0,87$) можно выделить следующие ассоциации элементов - индикаторов золотого оруденения:

Район	Ассоциация элементов
Западный Сихотэ-Алинь	Au, Ag, As
Нижнее Приамурье	Au, Hg, Ce
Среднее Приамурье	Au, Pt, Tm, Sm, Hf, Ta

Т а б л и ц а 3

Состав первичных и вторичных ореолов и потоков рассеяния золоторудных месторождений юга Дальнего Востока и Юго-Восточной Якутии

Тип рассеяния	Западный Сихотэ-Алинь	Нижнее Приамурье	Среднее Приамурье	Юго-Восточная Якутия
Первичные литохимические ореолы	$Au, Ag, As, Sb, Pb, Cu, Bi$	$Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Sb, Sn, Mo$	$Au, Ag, As, Sb, Zn, Cu, Pb, W, Mo, Bi, Sn$	$Au, Ag, As, Sb, Pb, Zn, Bi, Cu, Cd, Zn, Bi$
Вторичные литохимические ореолы	$Au, Ag, Cu, Sn, Pb, Zn, Mo, V$	$Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Mo, Sn$	Au, Ag, As, Cu, Ni, Cr	$Au, Ag, As, Sb, Pb, Zn, W, Cu, Cd, Bi, Zn$
Вторичные литохимические потоки	$Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Sn, Mo, Ni$	$Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Mo, Co, Ni$	$Au, Ag, As, Pb, Cu, Bi, W, Cr, V$	Ag, Pb, Zn, As, Cu, Mo
Гидрогеохимические ореолы и потоки	$Ag, Cu, Au, Zn, Sn, Pb, Mo$	$Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Mo, Mn$	$Au, Ag, Cu, As, Pb, Ni, Zn, Sn(W, Sb, Cr)$	$As, Ag, Zn, Mo, Pb, Au (Be, Ab, W)$
Биохимические ореолы	-	-	-	$Zn, Ag, Cu, Pb, Ba, As (Ti, Cr, Pb, V)$

Таким образом, набор элементов - спутников золота в водах весьма различен. Если гидрогеохимическая ассоциация на месторождениях Западного Сихотэ-Алиня включает рудные элементы, характерные для минерализованных зон, и аналогична ассоциации элементов - основных поисковых показателей,

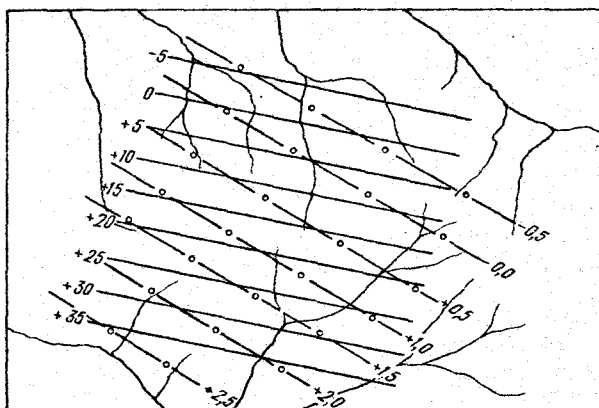
выделяемых по данным опробования вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния, то в Приамурье такой связи не выявлено. Об источнике поступления в подземные воды благородных, рассеянных и редкоземельных элементов, входящих во вторую и третью ассоциации, судить сложно, хотя бы потому, что эти элементы в водах золоторудных месторождений выделены впервые, а в самих рудопроявлениях ранее не были установлены. В связи с этим можно высказать следующие предварительные соображения.

Ртуть и церий пространственно, а возможно и генетически, связаны с глубинными разломами фундамента, которые контролируют и оруденение.

Наряду с ассоциацией элементов — индикаторов оруденения, приведенных для Нижнего Приамурья, в пределах данного рудного поля выявлена еще одна ассоциация элементов, не связанная с золотом, — Cr, Th, Hf, Se. Характерно, что элементы, входящие в "рудную" ассоциацию (Ag, Hg, Se) связаны с pH вод источников отрицательной корреляционной зависимостью, а элементы второй ассоциации — положительной. Это, очевидно, говорит о связи между содержаниями золота, ртути и церия в подземных водах и процессами окисления сульфидов, основная масса которых также сосредоточена в рудных зонах.

Присутствие платины в ассоциации с золотом в Среднем Приамурье, по-видимому, говорит о глубинных, возможно, мантийных, источниках рудного вещества и может свидетельствовать о несколько более древнем, чем это представлялось до сих пор, возрасте интрузивных образований.

Наличие редких элементов в ассоциации с золотом говорит о возможной связи рудоносных интрузий с древними метаморфическими породами Гонгинского массива.



Выявление влияния природных региональных и локальных факторов на формирование гидрогеохимических ореолов и потоков рассеяния имеет важное значение при поисковых исследованиях. Использование с этой целью тренд-анализа оказалось весьма эффективным. Построенные на основании большого фактического материала карты фактического тренда (полиномы первой степени) и отклика позволили выявить основные тенденции и интенсивность изменения содержаний металлов в подземных водах и донных отложениях изученных рудных районов [3].

Рис.1. Схема плоскостей тренда Zn и Pb для рудного поля. Нижнее Приамурье
1 - гидросеть; 2 и 3 - изолинии условных концентраций соответственно свинца и цинка

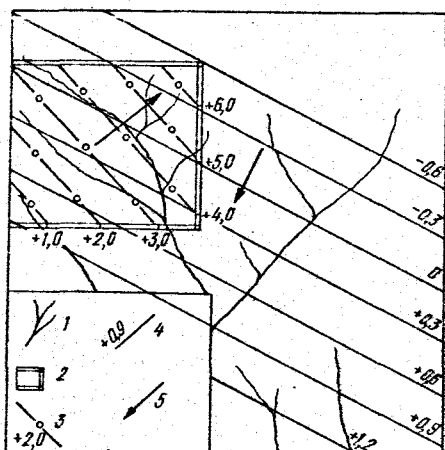


Рис.2. Схема плоскостей тренда Au для участка месторождения и рудного поля. Гонжинский пенепленизированный массив
1 - гидросеть; 2 - граница месторождения; 3 и 4 - изолинии условных концентраций Au на плоскости для месторождения и рудного поля соответственно; 5 - направление роста концентрации Au

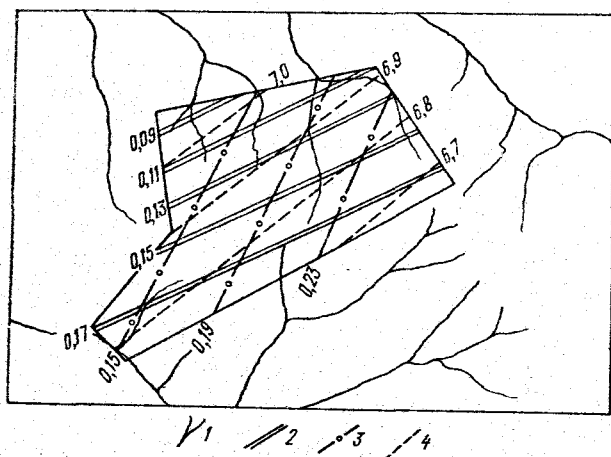


Рис.3. Схема плоскостей тренда Au, Hg и pH для участка рудной зоны. Нижнее Приамурье
1 - гидросеть; 2 и 3 - изолинии концентрации соответственно золота и ртути; 4 - изолинии pH

На основании таких карт для районов Западного Сихотэ-Алиня, Среднего и Нижнего Приамурья (рис.1-3) был сделан вывод, что основным региональным фактором, влияющим на систематические изменения содержаний большинства элементов в водах и донных отложениях, является рельеф, определяющий их "накопительные" тенденции. В то же время непосредственно в пределах рудных полей наблюдаются несколько иные закономерности. Карта поверхности (рис.2), построенная по результатам нейтронно-активационного анализа для ограниченной площади одной из рудных зон по содержаниям золота и ртути в водах, показывает, что рост содержания здесь происходит в юго-восточном направлении. В том же направлении уменьшается величина pH.

Определяющее влияние на характер наклона поверхности тренда в пределах участка рудопроявления оказывают формирующиеся над рудными телами гидрогеохимические аномалии. Это положение подтверждается результатами исследований как в районах с горным, так и холмисто-увалистым рельефом. (Нижнее Приамурье, Гонжинский массив).

Выводы

I. Гидрогеохимические поиски на золото являются весьма эффективными в различных ландшафтно-геохимических обстановках. С их помощью выявлены новые участки, перспективные на золотое оруденение, разведка которых подтвердила правомерность прогноза.

2. Состав гидрогеохимических ореолов и потоков рассеяния даже на участках убогосульфидного оруденения весьма разнообразен. Применение нейтронно-активационного анализа значительно расширяет круг изучаемых элементов и практически во всех пробах позволяет определять содержание золота. Все это позволяет по-новому оценивать условия формирования гидрогеохимических ореолов и потоков рассеяния, давать более обоснованный прогноз.

3. Для разбраковки роли региональных и локальных факторов водной миграции рудных элементов следует использовать тренд-анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Баранова Н.Н. Комплексообразование золота (Ш) с фульвокислотами и геохимическая роль этого процесса. - Геохимия, 1984, № 3, с. 413-420.
2. Голева Г.А., Кривенков В.А., Гудзь З.Г. Геохимические закономерности распространения и формы миграции золота в природных водах. - Геохимия, 1970, № 6, с. 744-756.
3. Никитина Н.Б., Старовойтова Н.В. Пример использования метода тренд-анализа при гидрогеохимических исследованиях. - Зап. ЛГИ, 1985, т. 103, с. 41-45.
4. Погребняк Ю.Ф., Толочко В.О. Концентрации и формы нахождения золота в природных водах Забайкалья. - В кн.: Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1981, с. 73-76.
5. Погребняк Ю.Ф., Толочко В.В. Гидрогеохимические поиски рудных месторождений в Забайкалье. Новосибирск. Наука, 1983. 97 с.
6. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск, Наука, 1981, 238 с.
7. Хасанов А.С., Шеглов В.С. Распространение некоторых микрокомпонентов в рудных водах месторождений золота Узбекистана. - Вопросы региональной гидрогеологии и инженерной геологии Средней Азии. - Тр. САИГИМС, 1985, вып. 63, с. 8-14.
8. Эффективность гидрогеохимического метода поисков месторождений золота / И.С.Ломоносов, А.Е.Таван, С.Н.Дмитриев, Т.В.Базаркина, С.В.Шишкин. - Советская геология, 1986, № 8, с. 86-92.