

**ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА И ЕГО СПУТНИКОВ В ПОЛЯХ
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ
КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ**

**Б. А. ВОРОТНИКОВ, Л. М. ПОПОВА, Н. А. РОСЛЯКОВ, Н. В. РОСЛЯКОВА,
В. Г. ЦИМБАЛИСТ (ИГиГ СО АН СССР)**

В настоящее время геохимические методы поисков сульфидных месторождений прочно вошли в производственную практику. Есть успешные варианты применения геохимических исследований для выявления и золотого оруденения [2, 3, 4 и др.]. Однако эти работы еще не вышли из стадии опытных. Основная трудность в использовании геохимических методов при поисках золотой минерализации заключалась в том, что при исследованиях анализировались лишь элементы-спутники золота (медь, мышьяк, свинец, цинк и др.). Определение золота из-за низкой чувствительности аналитических методов при геохимических поисках производилось крайне редко. Поэтому распределение золота в рудных выходах, в перекрывающих их рыхлых отложениях, в донных осадках и водах золоторудных полей остается невыясненным. Не найдены и закономерности связей золота с другими элементами при окислении первичных руд.

С помощью радиоактивационного (аналитик Л. К. Павлова) и спектрохимического (аналитик В. Г. Цимбалист) методов (чувствительность соответственно $1 \cdot 10^{-9} \%$ и $1 \cdot 10^{-7} \%$) нам представилась возможность изучить распределение золота в различных образованиях гипогенной и гипергенной зон полей золоторудных месторождений Мариинской тайги и выявить его геохимические связи с другими элементами первичных руд. Геохимические исследования проводились на Берикульском, Комсомольском, Центральном, Натальевском и Кундатском месторождениях.

Геологическое строение этих месторождений общеизвестно. Следует лишь подчеркнуть, что Берикульское, Комсомольское и Центральное месторождения относятся к жильному типу, Натальевское — к скарновому и Кундатская группа месторождений — к штокверковому. Вмещающими породами на Берикуле и Кундате являются порфириды и, в меньшей степени, известняки, на Центральном и Комсомольском месторождениях — гранодиориты и габбро-диориты, на Натальевском — известняки и гранодиориты. Минеральный состав первичных руд этих месторождений приведен в табл. 1 (в порядке распространенности).

Фоновое содержание золота и его спутников, характеризующее содержание элементов в породах за пределами рудных полей, приведено в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что фоновое значение золота (региональный фон) в порфиритах — $(4-9) \cdot 10^{-7} \%$, в габбро-диоритах — $6,2 \cdot 10^{-7} \%$, в гранодиоритах — $1,3 \cdot 10^{-6} \%$, в известняках — около $1 \cdot 10^{-7} \%$. Эти содер-

Минеральный состав первичных руд Бериккульского, Комсомольского, Центрального, Натальевского и Кундатской группы месторождений (составлена по данным Н. В. Росляковой с использованием литературных и фондовых материалов)

Бериккульское м-ние	Комсомольское м-ние	Центральное м-ние	Натальевское м-ние	Кундатская группа м-ний
пирит	пирит	пирит	халькопирит	пирит
арсенопирит	арсенопирит	арсенопирит	пирит	халькопирит
пирротин	галенит	молибденит	молибденит	галенит
сфалерит	сфалерит	лёллингит	борнит	молибденит
халькопирит	халькопирит	пирротин	висмутин	шеелит
галенит	самородное золото	висмутин	базовисмутит	блеклые руды
самородное золото	шеелит	самородный висмут	эмплектит	сфалерит
самородное серебро	ильменит	сфалерит	самородное золото	самородное золото
шапбахит	магнетит	халькопирит	гранат	самородное серебро
гематит	рутил	теннантит	тремолит	киноварь
теннантит	киноварь	галенит	диопсид	антимонит
тетраэдрит	кварц	шеелит	скаполит	арсенопирит
самородный висмут	кальцит	самородное золото	доломит	кварц
висмутин	серицит	марказит	тальк	кальцит
молибденит		кварц	серпентин	
пентландит		апатит	кварц	
кварц		турмалин	кальцит	
кальцит		эпидот		
паранкерит		цоизит		
магнезит		пеннин		
хлорит		серицит		
серицит		кальцит		
барит				

жания очень близки к кларковым, по А. П. Виноградову [1], что, несмотря на небольшое количество проанализированных нами проб, может свидетельствовать о высокой достоверности приведенного в табл. 2 цифрового материала.

В породах рудных полей установлены те же элементы, что и за их пределами, но содержания здесь значительно выше (местный фон). Так, например, в пределах рудных полей концентрации золота во всех породах на порядок выше регионального фона. Золото в этих случаях имеет высокую прямую корреляционную связь (коэффициент корреляции $r \geq 0,5$) с медью, свинцом, барием, иногда серебром, марганцем, титаном и цирконием. Все это может служить хорошим геохимическим признаком при мелко- и среднемасштабных поисках. Содержания золота в породах выше $2 \cdot 10^{-6} \%$, а его геохимическая связь с определенным комплексом элементов позволяет выделять перспективные площади уже в начальный этап геохимических исследований.

Вблизи рудных тел содержание золота и его спутников резко возрастает. Содержание золота в этих ореолах $n \cdot 10^{-5} \%$ и выше. Ширина ореолов зависит от многих причин, и в первую очередь, от состава вмещающих пород, их трещиноватости и интенсивности окolorудного изменения. В массивных порфиритах, практически не испытавших гидротермального метаморфизма, ореолы рассеяния золота достигают 5 м, а в березитизированных гранодиоритах — 20 м. Первичные ореолы рассеяния золота и его спутников обычно имеют сложное строение (рис. 1).

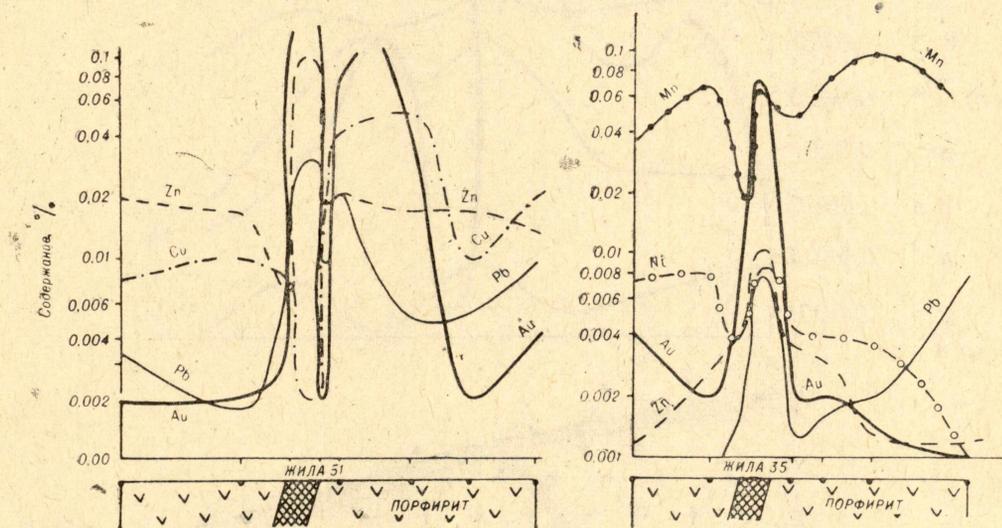


Рис. 1. Распределение золота, свинца, меди, цинка, никеля и марганца в первичных ореолах рассеяния Берикольского месторождения.

Из рис. 1 видно, что в непосредственном контакте с жилами содержания золота, свинца, цинка, марганца и никеля резко понижены. Медь проявляет обратную тенденцию. Затем, по мере удаления от жил, содержания золота и его спутников сначала возрастают, а потом постепенно переходят в местные фоновые.

В рудах и первичных ореолах золото концентрируется в самородном виде, а также в виде тонкодисперсной примеси в рудных и жильных минералах (см. доклад Н. В. Росляковой). В рудах и ореолах месторождений жильного типа золото имеет прямой высокий коэффициент корреляции ($r \geq 0,5$) с мышьяком, свинцом, медью, реже — с марганцем, титаном, цирконием и барием, а месторождений скарнового типа — с висмутом, кобальтом и молибденом. Выявленную закономерность можно ис-

пользовать для ориентировочной оценки типа золоторудной минерализации по результатам крупномасштабных геохимических поисков. Шаг отбора проб при крупномасштабных съемках по первичным ореолам рассеяния следует определять, исходя из геологического строения исследуемого участка: чем кислее и крупнозернистее вмещающие породы, тем, при прочих равных условиях, расстояние между точками опробования больше.

В зонах окисления вторичные ореолы рассеяния золота и его спутников шире и менее контрастны, чем первичные. Максимальные концентрации золота локализируются также непосредственно в рудном теле, но у зальбандов жил участки с резко пониженными содержаниями золота становятся более расплывчатыми, особенно у нижележащего по склону контакта. Затем, как и в первичных ореолах, содержание золота во вторичных ореолах сначала повышается, а при удалении от выхода переходит в местный фон (рис. 2).

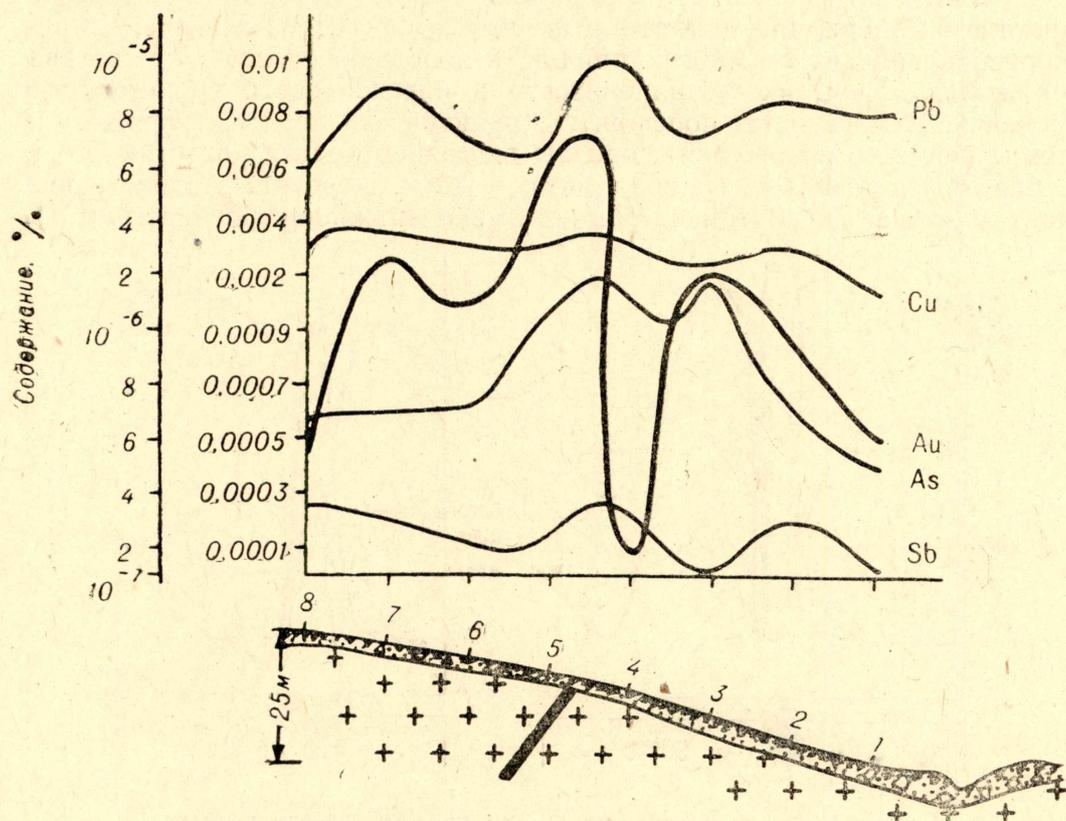


Рис. 2. Распределение золота, сурьмы, мышьяка, меди и свинца в поверхностной части зоны окисления Центрального месторождения. Левая шкала показывает содержание золота в весовых процентах; правая шкала — содержание сурьмы, мышьяка, меди и свинца. 1, 2, 3... 8 — места отбора проб, залито тушью — выход тонышевской жилы.

Таким образом, в поверхностной части зоны окисления золоторудный выход может отображаться двумя-тремя участками с аномальными концентрациями золота. В связи с этим при оконтуривании золоторудного выхода по пикам золота могут возникнуть определённые трудности. Большую помощь при этом могут оказать элементы-спутники золота. В рудных аномалиях вместе с золотом присутствуют повышенные содержания почти всех элементов первичных руд, особенно сурьмы, меди, свинца, мышьяка. В безрудных аномалиях золоту сопутствуют главным образом цинк и висмут. Это подтверждается графически (рис. 2) и ва-

Содержание элементов-примесей в породах изученных районов, вес. %

Таблица 2

Район	Берикульский			Комсомольский			Централь- нинский	Натальевский		Кундатский		
	известняки	эффузивы	интрузивные породы	известняки	эффузивы	интрузивные породы	интрузивные породы	известняки	интрузивные породы	известняки	эффузивы	интрузивные породы
Au	не опр.	$7 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-7}$	не опр.	$8,9 \cdot 10^{-7}$	не опр.	$1,3 \cdot 10^{-6}$	сл.	не опр.	не опр.	$4,1 \cdot 10^{-7}$	не опр.
Ag								сл.	сл.		сл.	
Pb		0,0006	0,0006	сл.	сл.	0,0004	0,002	сл.	0,0003	0,0003	0,0013	0,0007
Zn		0,007	0,01	0,0007	0,02	0,01		не опр.	0,0047		0,011	0,011
Cu	0,0002	0,004	0,0073	0,0012	0,006	0,0086	0,002	0,003	0,002	0,003	0,007	0,005
Sb									0,002			
Bi			сл.					сл.				
Cd				0,0003							0,0004	сл.
Mo	сл.	0,0001	0,0003			сл.			0,0001	сл.	0,0002	0,0001
Ni		0,0017	0,0028	0,0004	0,01	0,02	0,001	0,0001	0,0052		0,0084	0,003
Co		0,0024	0,0025	0,0005	0,008	0,005		сл.	0,0031	не опр.	0,0062	0,0025
Ba	0,01	0,04	0,03		0,03	0,02	0,08				0,007	0,04
Sr	не опр.	0,04	0,03	0,11	0,10	0,08	0,01	0,04	0,02	0,05	сл.	0,006
Ti	0,008	0,60	0,50	0,29	1,0	0,8		0,02	0,20	1,0	1,0	0,80
Zr	0,001	0,19	0,012	0,003	0,001	0,008	0,001		0,006	не опр.	0,014	0,013
Mn	0,03	0,16	0,22	0,06	0,50	0,18	0,08	0,007	0,14	0,30	0,48	0,25
V	0,001	0,01	0,017	0,01	0,03	0,03	0,002	сл.	0,007		0,025	0,01
Ga		0,003	0,003	0,0004	0,002	0,003	0,001		0,002	0,0003	0,004	0,002
Y		0,0035	0,003	0,0016	0,003	0,003		не опр.	не опр.		0,002	0,003
Yb		0,0003	0,0003	сл.	0,0002	0,0002	не опр.	не опр.	не опр.		0,0001	0,0003
Sc		0,0008	0,0016	0,001	0,003	0,002	не опр.	—	—	—	сл.	0,0004
La	0,005	0,004	0,003	0,005	0,008	0,003	не опр.	не опр.	не опр.		0,002	0,005
Nb		сл.	0,0002			сл.			не опр.			сл.
Cr		0,006	0,007	0,002	0,006	0,007	0,001	сл.	0,003		0,006	0,003
Кол-во анализов	4	8	36	6	1	16	46	16	11	1	8	18

Примечание. Пустая клетка означает, что элемент анализа не обнаружен.

В рыхлых отложениях золото теряет корреляционную связь со всеми элементами-спутниками первичных руд.

Воды в районе маломинерализованные (до 400 мг/л) преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые со стабильным невысоким содержанием хлор- и сульфат-ионов, а также натрия и магния. Химический состав их зависит от характера водовмещающих пород. Так, воды, приуроченные к карбонатным породам, характеризуются высокой минерализацией — около 250 мг/л, щелочной реакцией, гидрокарбонатно-кальциевым составом и обедненностью микроэлементами. Воды интрузивного комплекса пород в отличие от предыдущих гидрокарбонатно-кальциево-натриевые с нейтральной средой и более низкой минерализацией. Содержание микроэлементов в них отражает состав элементов-примесей водовмещающих пород. Воды в пределах эффузивно-осадочной толщи по химическому составу являются промежуточными между вышеописанными. Для них характерным является повышенное содержание титана, кобальта и ванадия.

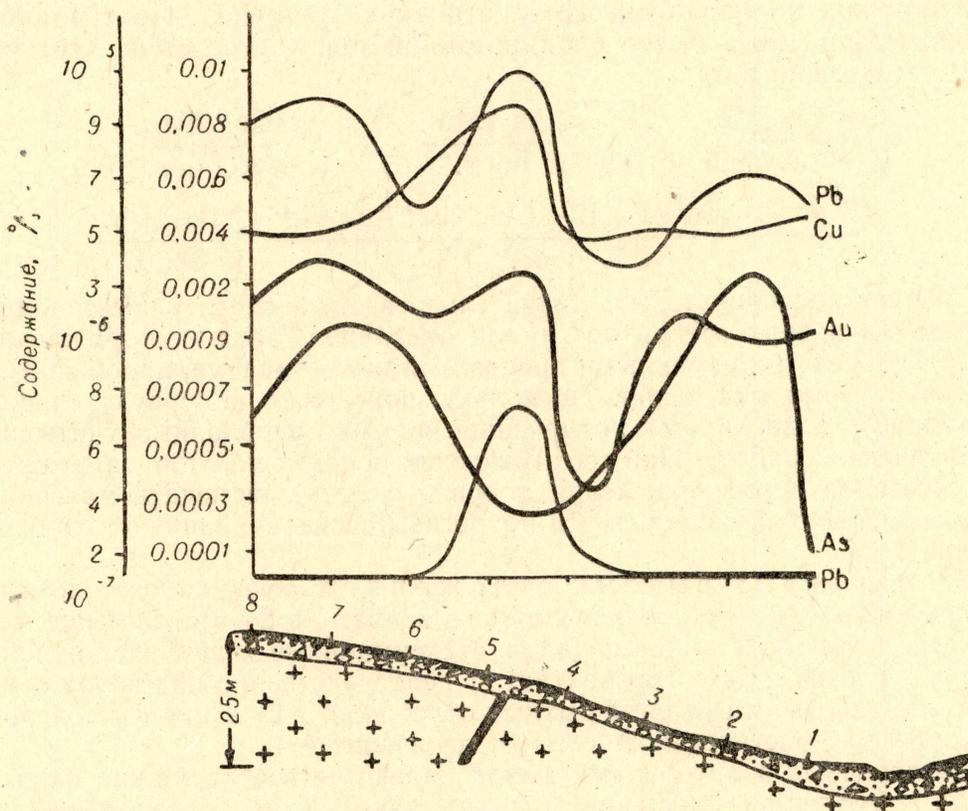


Рис. 3. Распределение золота, мышьяка, сурьмы, меди и свинца в почвенно-растительном слое над жилой тонышевской Центрального месторождения. Условные обозначения те же, что и на рис. 2.

В пределах каждого района фоновые воды отличаются преобладанием своеобразного комплекса элементов. Для фоновых вод района Бериккульского месторождения характерны повышенные содержания меди и сульфатиона; Комсомольского — алюминия и серебра; Кундатского — свинца и олова, Натальевского — титана, галлия, хрома, ванадия, никеля, циркония и железа.

Химический состав вод рудных полей жильного типа, расположенных в элювиальном ландшафте предгорья (Комсомольское), от фоновых в общем отличается мало. Рудные воды в пределах трансэлювиального

ландшафта низкогогорья (Берикульское) отличаются повышенным содержанием мышьяка, молибдена, сурьмы, висмута, сульфатиона и др., а элювиального ландшафта среднегогорья (Кундатское) — свинца, молибдена, хрома, никеля, бария, галлия и олова. Рудные воды скарнового месторождения (Натальевское), несмотря на приуроченность к элювиальному ландшафту низкогогорья, отчетливо выделяются высокими содержаниями большинства микроэлементов.

Содержание золота в водах было определено спектрохимическим методом в сухих остатках вод, большей частью родственно объединенных. Из 66 проанализированных проб золото обнаружено в 60%, и его содержание колеблется от 0,001 до 8,3 γ /л (слив в реку с обогатительной фабрики на Комсомольском месторождении). Радиактивационный анализ 11 проб установил присутствие золота во всех пробах в пределах от 0,0006 до 0,076 γ /л (проба с шахты Комсомольская). Этот материал позволяет сделать следующие выводы о распределении золота в водах.

В целом наблюдается уменьшение содержания золота в водах по направлению от месторождения Комсомольского к Берикульскому, Натальевскому и Кундатскому, что в общем соответствует увеличению распространенности карбонатных пород, а также эродированности рельефа на этих участках.

Зависимость содержания золота от гидродинамических типов вод не установлена.

В водах, связанных с известной золоторудной минерализацией, включая шахтные, в целом повышения содержания золота не намечается. Исключения представляют отдельные пробы шахтных Комсомольского, Берикульского (жилых) и особенно Натальевского (скарнового) месторождений, в которых содержание золота является максимальным (0,2—0,9 γ /л).

Гидрогеохимические аномалии, выделенные по элементам-спутникам золотого оруденения, повышенным содержанием золота в водах не отличаются (аномалия по ручью Веселенькому в районе Комсомольского месторождения является исключением).

В водах рудных полей месторождений жильного типа макросостав (содержание сульфатиона, натрия, а также общая минерализация и отношение сульфатиона к хлору) изменяется по сравнению с фоном слабо. Более заметное изменение наблюдается в пределах скарнового месторождения, особенно увеличивается содержание магния. В водах рудных полей отмечаются протяженные потоки рассеяния таких элементов, как мышьяк и молибден. Встречаются реже и образуют менее протяженные потоки рассеяния цинк, хром и титан. В непосредственной близости от сульфидной минерализации в водах отмечены висмут, сурьма, кобальт и кадмий.

Шахтные воды по сравнению с водами рудных полей имеют следующие особенности. Они относительно обогащены сульфатионом и натрием, имеют повышенные значения рН и содержание таких микроэлементов, как свинец, никель, серебро и висмут. При этом наблюдается изменение химического состава с глубиной. В водах более верхних горизонтов обнаруживается в повышенных количествах широкий круг элементов: хром, стронций, барий, марганец, ртуть и др., в нижних — только ведущих элементов руд: мышьяк, молибден, сурьма, реже кобальт и олово.

Основные выводы

1. Региональный фон золота в породах изученных районов $n \cdot 10^{-7}\%$. В породах рудных полей содержание золота на порядок и более выше регионального фона. При мелко- и среднемасштабных геохимических

съемках выделение перспективных площадей можно производить по содержанию золота в породах $n \cdot 10^{-6}\%$ и выше.

2. Первичные ореолы рассеяния золота имеют сложную форму. Их размеры в направлении мощности рудных тел уменьшаются от гранодиоритов (20 м) до порфиритов (5 м).

3. Вторичные ореолы рассеяния золота в поверхностной части зоны окисления шире и менее контрастны, чем первичные. Аномальные концентрации золота не всегда соответствуют рудному выходу. В аномалиях над рудным выходом вместе с золотом присутствуют повышенные содержания сурьмы, меди, мышьяка и свинца.

4. В рыхлых отложениях, перекрывающих золоторудный выход, пики золота далеко не всегда отвечают месту положения погребенного выхода. На последний могут указывать аномалии сурьмы, меди и цинка.

5. Отчетливого общего повышения содержания золота в водах рудных полей по сравнению с фоновыми не наблюдается. Отмечается некоторое повышение содержания золота в водах зон окисления месторождений, особенно скарнового типа, а также в ландшафтах с развитыми рыхлыми отложениями.

6. В качестве косвенных гидрогеохимических поисковых признаков на золотое оруденение могут быть использованы: мышьяк, молибден, олово, хром, титан, висмут, сурьма, кобальт и кадмий.

Авторы благодарны Л. К. Павловой за предоставленные материалы по зоне окисления и покровным рыхлым отложениям Бериккульского, Комсомольского и Кундатского месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А. П. Среднее содержание отдельных химических элементов в главных типах пород. «Геохимия», 1962, № 7.

2. Вольфсон Н. В., Чембарисов Ш. А., Чистый Б. И. Опыт применения геохимических и геофизических методов при поисках золоторудной минерализации в Узбекистане. Бюлл. НТИ МГ и ОН СССР, № 1 (35), 1962.

3. Григорьев А. М. К вопросу о возможности применения биохимического метода поисков золота в Бурятии. Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР, вып. 8, 1962.

4. Федоренко Я. Д. Геохимические методы поисков золоторудных месторождений в Забайкалье. Бюлл. НТИ МГ и ОН СССР, № 1 (35), 1962.