

Ю. Ф. ПОГРЕБНЯК

**ЗОЛОТО
В ПРИРОДНЫХ
ВОДАХ
ЗАБАЙКАЛЬЯ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

БУРЯТСКИЙ ФИЛИАЛ

Геологический институт

549.283.551.464

Ю.Ф. ПОГРЕБНЯК

ЗОЛОТО
В ПРИРОДНЫХ
ВОДАХ
ЗАБАЙКАЛЬЯ

5763



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва, 1983



Погребняк Ю.Ф. Золото в природных водах Забайкалья. М.: Наука, 1983.

В книге излагаются результаты исследования концентраций и особенностей поведения золота в разных типах природных вод Забайкалья. Особое внимание уделяется поведению золота в водных потоках рассеяния золото-сульфидных месторождений. Обсуждаются результаты экспериментального изучения растворения и переноса золота в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторождений. Табл. 22. Ил. 11. Библиогр. 129 назв.

Ответственный редактор
доктор геол.-минерал. наук
Ф.П. КРЕНДЕЛЕВ

ВВЕДЕНИЕ

Геохимия золота в водах суши — очень интересная, давно привлекающая внимание исследователей, но тем не менее еще недостаточно изученная проблема. Из-за низких содержаний золота в большинстве типов природных вод и отсутствия до недавнего времени чувствительных методов анализа основное внимание при изучении гидрогеохимии золота уделялось исследованию концентраций и поведения золота в водах потоков рассеяния золоторудных месторождений с целью разработки гидрогеохимических методов поисков таких объектов. Содержание и поведение золота в водах суши вне площадей золоторудных месторождений исследованы очень слабо. Геохимии золота в водах суши посвящены многие работы [3—6, 10, 11, 16, 26—30, 32, 35, 38, 40, 44, 52, 54, 57, 59, 66, 67, 74, 86, 91, 97, 101, 106, 109, 111, 115, 119, 122, 124]. Результаты изучения процессов перехода золота в водные растворы и форм его водной миграции освещаются в работах [15, 20, 42, 53, 60, 61, 80, 94—96, 103, 104, 112, 114, 118, 121, 123]. Однако, несмотря на значительное число публикаций, имеющиеся в литературе сведения о содержании и поведении золота в маломинерализованных водах суши неполны и зачастую противоречивы, что делает необходимым проведение дополнительных исследований.

Целью настоящей работы было изучение концентрации и особенностей поведения золота в различных типах природных вод на территории Бурятской АССР и Читинской области: в водах озер и рек, в углекислых минеральных и азотных термальных водах, в пресных водах зоны свободного водообмена. Было исследовано содержание золота в травертинах из некоторых минеральных источников Забайкалья. Изучались также содержание и поведение золота в водных потоках рассеяния золоторудных проявлений с целью отработки прямых (т. е. по золоту, а не по элементам-индикаторам) гидрогеохимических методов поисков таких объектов применительно к ландшафтно-климатическим условиям Забайкалья. Для исключения техногенных факторов все работы по поисковой гидрогеохимии золота проводились на разведанных, но не отрабатываемых месторождениях и проявлениях. Для облегчения интерпретации полученных данных экспериментально изучены растворение и перенос золота в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторождений.

Первоочередной задачей в процессе работы по поставленной теме была разработка аналитических методик, обеспечивающих точное определение золота в водных пробах во всем интервале его концентраций в природных водах. С применением экспериментальных и расчетных методов исследованы также формы нахождения золота в различных типах природных вод.

Территория Забайкалья, на которой проводились работы, исключительно богата природными выходами пресных, минеральных и термальных вод, издавна привлекавшими внимание ученых. Гидрогеологические условия Забайкалья определяются весьма сложной гетерогенной геологической структурой его территории, где наряду со складчатыми сооружениями, сложенными преимущественно древними архейскими, протерозойскими и нижнепалеозойскими метаморфическими и изверженными породами, широко развиты межгорные впадины, выполненные мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Большое влияние на гидрогеологические условия Забайкалья оказывают глубинные тектонические разломы, омоложенные в результате интенсивных неотектонических движений.

Как гидрогеологические структуры горные хребты представляют собой гидрогеологические массивы с трещинными водами в кристаллических породах, а межгорные впадины — артезианские бассейны с горизонтами пластово-поровых и пластово-трещинных вод в осадочных отложениях. Таким образом, все водовмещающие породы образуют два структурных яруса, достаточно четко различающихся по характеру водоносности, — осадочный чехол и кристаллический фундамент.

В гидрогеологических массивах наиболее широко распространены трещинные воды изверженных и метаморфических пород архея и протерозоя. Значительно реже встречаются карстовые и пластово-трещинные воды осадочных пород нижнего палеозоя. Повышенная водообильность в пределах массивов характерна для участков тектонических нарушений, с которыми нередко связаны напорные воды трещинно-жильного типа.

В толще осадочных отложений межгорных впадин устанавливается чередование водоносных и водоупорных пород, что создает благоприятные условия для формирования ряда водоносных горизонтов. У поверхности обычно залегают безнапорные, а глубже — напорные подземные воды, причем водообильность различных горизонтов меняется в широких пределах.

Существенное влияние на условия формирования, режим и динамику подземных вод рассматриваемой территории оказывает многолетняя мерзлота. Многолетнемерзлые породы распространены в Забайкалье очень широко, в отдельных случаях мощность их достигает 1000 м; отсутствуют они в долинах крупных рек и по днищам озер.

На территории Забайкалья повсеместно развиты трещинные подземные воды зоны активного водообмена. Затрудненные условия водообмена и повышенная минерализация подземных вод наблюдаются лишь в глубоко погруженных участках межгорных впадин, выполненных толщей мезозойских и кайнозойских осадочных отложений. Особое место занимают приуроченные к тектоническим зонам многочисленные очаги разгрузки минеральных вод. На территории Забайкалья сосредоточены весьма значительные ресурсы термальных, углекислых и радоновых вод. По разнообразию и количеству минеральных источников Забайкалье напоминает гидроминеральные пояса Пиренеев, Альп и Карпат.

Основу гидрографии Забайкалья составляют многочисленные реки, покрывающие его поверхность довольно густой и равномерной сетью; озер относительно немного. Речная сеть не представляет единой системы, так как принадлежит к бассейнам трех рек — Енисея, Лены и Аму-

ра. На территории Забайкалья находится главный материковый водораздел между бассейнами Северного Ледовитого и Тихого океанов. С этим связано почти полное отсутствие здесь транзитных рек, так как большинство современных водотоков зарождается на рассматриваемой территории. Исключением является р. Селенга, берущая начало на территории Монголии.

Почти до начала XX столетия сведения о природных реках Забайкалья относились только к минеральным и термальным водам. Последующий период характеризуется сбором фактического материала о подземных водах и минеральных источниках Забайкалья. Эти исследования, связанные в основном со строительством Транссибирской магистрали, проводили В.А. Обручев, А.П. Герасимов, А.Э. Гедройц, результаты их суммированы в сводных работах И.А. Богашева и В.А. Обручева. В ходе работ были получены первые сведения о гидрогеологии Забайкалья, геологических условиях выхода на поверхность пресных и минеральных подземных вод, их генезисе, химическом и газовом составе.

Начало второго этапа гидрохимических исследований характеризуется главным образом изучением минеральных источников Забайкалья. В вышедшей в 1920 г. сводной работе А.П. Герасимова [22] дается описание ряда минеральных источников Забайкалья. В 1938 г. Н.И. Толстихин и Е.Е. Сви-стунова обобщили данные по минеральным водам Забайкалья и составили карту районов минеральных вод. В 1946 г. была опубликована сводная работа М.П. Михайлова и Н.И. Толстихина [64], посвященная минеральным источникам и грязевым озерам Восточной Сибири.

С 1953 г. в работах по изучению минеральных вод Забайкалья принимает участие ЦНИИ курортологии и физиотерапии Министерства здравоохранения РСФСР. За прошедший период Сибирской партией этого института проведены разведочные и каптажные работы на многих месторождениях углекислых и термальных вод Забайкалья, что позволило значительно увеличить ресурсы лечебных минеральных вод и дать более полную характеристику их химического и газового состава. В Западном Забайкалье ряд месторождений и проявлений термальных и углекислых вод разведан и изучен гидрогеологами Бурятского территориального геологического управления под руководством И.М. Борисенко.

В 1957 г. в сводной работе В.Г. Ткачук, Н.В. Яснитской и Г.А. Анкудиновой [102] описаны 68 источников Бурятии и дана карта их размещения. В 1958–1960 гг. под руководством Н.И. Толстихина и В.Г. Ткачук осуществлено обобщение материалов по минеральным водам Забайкалья, которые вошли в двухтомное издание "Минеральные воды южной части Восточной Сибири" [62, 63]. В 1965 г. В.А. Албагачева [2] рассмотрела условия формирования источников типа акротерм в Северном Забайкалье. Последняя крупная работа по минеральным водам Забайкалья — книга И.С. Ломоносова [56], посвященная геохимии и условиям формирования современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны.

Гидрогеохимические исследования пресных поверхностных и подземных вод на территории Забайкалья начали планомерно проводиться с 1952 г. В 1954 г. Е.Е. Белякова, М.С. Гуревич и И.К. Зайцев составили гидрохимическую карту Сибири и Дальнего Востока, на которой показано распространение промышленных рассолов, пресных и минеральных вод, а также гид-

рохимические пояса и зоны. В 1958—1960 гг. Г.А. Нечаев и В.П. Боровицкий изучали вопрос о возможности применения в условиях Забайкалья гидрогеохимических методов для поисков месторождений рудных полезных ископаемых, главным образом сульфидных. Гидрогеохимические исследования в поисковых целях проводили на территории Забайкалья П.А. Удодов, И.П. Онуфриенко, В.В. Поликарпочкин, С.П. Албул, С.Р. Крайнов, С.Д. Капранов, Р.С. Кононова, Б.А. Воротников и другие исследователи. В 1963 г. Е.А. Басков и И.К. Зайцев составили гидрохимическую карту Сибирской платформы масштаба 1:7 500 000, в которую вошла часть территории Забайкалья.

Ввиду весьма низких содержаний золота в природных водах и отсутствия достаточно чувствительных методик анализа его концентрация и особенности поведения изучались в основном в водных потоках рассеяния рудных месторождений. Первая работа такого рода была опубликована в 1935 г. Г.К. Кропачевым [52]; в ней излагались результаты определения концентрации золота в водах с площадей двух золоторудных месторождений Забайкалья. Несмотря на несовершенство применявшейся методики анализа, был сделан вывод о возможности проведения предварительного опробования вод при поисках золоторудных месторождений. Полученные Г.К. Кропачевым результаты использованы в числе прочих О.Е. Звягинцевым [35]. В 1957 г. С.П. Албул и А.Д. Миллер провели изучение концентраций золота в водных потоках рассеяния на площади одного из рудных полей Забайкалья. Было найдено, что содержание золота в рудничных водах резко превышает фоновое значение; авторы рекомендовали широкое применение гидрогеохимических методов при поисках золоторудных месторождений. Накопленные результаты полевых и экспериментальных работ по изучению возможности гидрогеохимических поисков коренных золоторудных месторождений в условиях Сибири (в том числе и по Забайкалью) обобщил Л.Л. Шабынин [113].

В 1968 г. Г.А. Голева [27] изложила результаты изучения гидрогеохимии месторождений золота одного из рудных районов Забайкалья и сделала вывод о возможности применения гидрогеохимических методов при поисках таких объектов. Тогда же Ю.А. Анферов, В.Г. Звягин, Н.А. Росляков и др. [11] опубликовали результаты определения золота в водах одного из месторождений Забайкалья. Авторы обнаружили золото в водах только на участках с золоторудной минерализацией. Протяженность гидрогеохимических аномалий золота была найдена равной таковой для его иловых потоков рассеяния. В вышедшей в 1970 г. статье Г.А. Голевой, В.А. Кривенкова и З.Г. Гудзь [30] приведено содержание золота в водах некоторых углекислых источников Забайкалья, а также дан расчет форм нахождения золота как в этих водах, так и в водах потоков рассеяния золоторудных месторождений.

Г.В. Нестеренко, С.Р. Осинцев, Б.А. Воротников [67] опубликовали в 1972 г. данные о концентрации золота в водах еще одного из рудных полей Забайкалья. Найденное в водах содержание золота колебалось от тысячных до первых сотых долей микрограмма на литр, причем ни в водах коренных месторождений, ни в водах золотоносных россыпей аномально высокое его количество установлено не было.

В 1972 г. Н.А. Росляков, Л.А. Непейна, В.Г. Цимбалест и др. [95] опубли-

ликовали результаты изучения форм нахождения и миграции золота в водах кор выветривания некоторых золото-сульфидных месторождений Забайкалья. В опубликованной в 1976 г. работе Г.Б. Аносовой, А.С. Пака и Э.Ф. Жбанова [10] изложены результаты гидрогеохимического опробования одного из золото-сульфидных рудопроявлений Забайкалья, расположенного в зоне многолетней мерзлоты. Авторы констатировали, что и в этих условиях золото-сульфидное проявление четко фиксируется аномально высоким содержанием золота в поверхностных водах. В вышедшей в 1977 г. книге Г.А. Голевой [29] обобщены имеющиеся данные о гидрогеохимии золота; в числе прочих привлечены материалы и по Забайкалью.

С 1974 г. изучение концентрации и поведения золота в различных типах природных вод Забайкалья в рамках темы "Геохимия микроэлементов в природных водах Забайкалья" ведется коллективом кабинета физико-химических методов исследований Геологического института БФ СО АН СССР. Всего за этот период отобраны и проанализированы на золото (а также на ряд других макро- и микрокомпонентов) около 3000 водных проб. Результаты анализов были статистически обработаны с применением ЭЦВМ.

Кроме автора, в полевых исследованиях, лабораторных аналитических и экспериментальных работах принимали участие сотрудники кабинета физико-химических методов исследований ГИН БФ СО АН СССР С.В. Вратковская, А.В. Елисеев, В.П. Загузин, А.Б. Куликова, А.Ф. Мельгунов, А.М. Плюснин, Э.М. Татьянкина, В.В. Толочко, А.А. Цыренова, В.И. Шункова. При разработке методики химико-радиоактивационного анализа и определении содержания золота в водных пробах автору оказали содействие сотрудники Института геологии и геофизики СО АН СССР В.А. Бобров, В.С. Пархоменко и В.А. Пономарчук; определения золота в травертинах выполнены Р.Д. Мельниковой. Существенную помощь в проведении полевых работ, сборе и обработке материала оказали автору И.М. Борисенко, Н.В. Нестеров и Г.А. Феофилактов. В процессе работы над темой автор постоянно пользовался советами и помощью профессора Ф.П. Кренделева. Всем этим товарищам автор выражает глубокую признательность.

Глава I

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Хотя вопрос о концентрации золота в природных водах издавна привлекал внимание исследователей, средства для его решения — достаточно чувствительные методы анализа — появились лишь в последнее время [19]. Согласно имеющимся данным [29, 107], фоновая концентрация золота в водах суши составляет первые миллиардные доли грамма на литр. Для уверенного определения золота в этих объектах используемая методика анализа должна иметь чувствительность не хуже $1 \cdot 10^{-9}$ г/л. Основные применявшиеся советскими и зарубежными исследователями при изучении геохимии золота в водах суши методики — колориметрические с чувствительностью $2 \cdot 10^{-7}$ г/л [75], $5 \cdot 10^{-8}$ [73] и $1 \cdot 10^{-8}$ г/л [98], полярографические с чувствительностью $1 \cdot 10^{-6}$ [127] и $2 \cdot 10^{-9}$ г/л [43], атомно-абсорбционные с чувствительностью $5 \cdot 10^{-7}$ [129] и $5 \cdot 10^{-8}$ г/л [117] и спектрохимические с чувствительностью $5 \cdot 10^{-8}$ [17], $1 \cdot 10^{-8}$ [16, 45] и $2 \cdot 10^{-9}$ г/л [87, 110] — этому требованию не удовлетворяют. Необходимой высокой чувствительностью из известных в литературе обладают только методики определения золота в водах с нейтронно-активационным окончанием [1, 34, 120, 125, 126, 128]. Однако в связи с высокой стоимостью и сложностью применяемого оборудования они могут использоваться в основном при выполнении исследовательских программ, но мало пригодны для проведения площадных поисковых гидрогеохимических работ.

Учитывая возрастающий интерес к геохимии золота в природных водах и потребности в гидрогеохимических методах поисков месторождений полезных ископаемых, мы сделали попытку разработки высокочувствительной и точной методики определения золота в маломинерализованных водах, пригодной для применения при выполнении как исследовательских, так и массовых поисковых гидрогеохимических работ. Методика основана на предварительном концентрировании золота из водных проб в полевых условиях на активированном угле с последующим анализом концентратов в стационарной лаборатории в двух вариантах — эмиссионно-спектральном на спектрографе с большой дисперсией (химико-спектральный вариант методики) и инструментальном нейтронно-активационном с полупроводниковым детектором (химико-радиоактивационный вариант методики).

Выбор оптимальных условий анализа и исследование изменения концентрации золота в водных пробах при их хранении проводили с использованием в качестве трассера долгоживущего циклотронного изотопа ^{195}Au . Замер активности этого изотопа проводили на одноканальной гамма-спектрометрической установке, состоящей из универсального блока детекторов

БДБСЗ-1, анализатора импульсов ПД2-1 и пересчетного прибора ПП9-2М. Спектральное окончание анализа выполняли на дифракционном спектрографе ДФС-8/3 в комплекте с универсальным дуговым генератором УГЭ-4. Использовали спектральные фотопластинки тип 2 чувствительностью 16 ед., линии фотометрировали на микрофотометре ИФО-451. При измерениях наведенной активности изотопа ^{198}Au в ходе химико-радиоактивационного анализа использовали многоканальную гамма-спектрометрическую установку, состоящую из полупроводникового германий-литиевого детектора объемом $20,5 \text{ см}^3$ фирмы "Саип" и 4000-канального анализатора импульсов фирмы "Дидак".

При анализе микроколичеств элементов в водных растворах, в том числе и в природных водах, возникает ряд трудностей, связанных с нестабильностью концентраций определяемых элементов во времени [46]. Один из основных факторов, определяющих нестабильность, — сорбция анализируемого компонента стенками посуды. Для выяснения роли этого фактора при определениях золота в природных водах проведен следующий эксперимент. В пробы объемом 4 л с водой из р. Селенги ввели (в виде хлорного комплекса с концентрацией $1 \cdot 10^8 \text{ г/л}$ вместе с носителем) радиоактивный изотоп ^{195}Au и с его помощью проследили изменение содержания золота в пробах в течение 8 сут. Состав (в мг/л) использованной в эксперименте речной воды и ее рН следующие:

Ca	23,3	SO ₄	4,3
Mg	5,3	Cl	5,7
Na	5,5	F	0,5
K	1,3	pH	7,8
HCO ₃	104,0		

Применяли лабораторную посуду из химического стекла и полиэтилена высокого давления. Половина проб для отделения взвеси была профильтрована через мембранные фильтры "Сынпор" с диаметром пор 0,3 мкм.

Результаты измерений представлены на рис. 1. Золото сорбируется стенками посуды, изготовленной как из стекла, так и из полиэтилена, причем применение полиэтиленовой посуды увеличивает потери золота из раствора, они значительно больше при использовании нефилтрованной воды. При этом происходит, вероятно, сорбция золота частицами взвеси с последующим оседанием их на дно и в меньшей степени — на стенки посуды. Измерение активности ^{195}Au на кусочках полиэтилена, вырезанных из стенок и дна использованной посуды, подтверждает это предположение. Таким образом, вследствие значительного уменьшения содержания золота в пробах при их транспортировке как в полиэтиленовой, так и в стеклянной посуде для получения неискаженных результатов необходимо концентрировать анализируемые воды на месте отбора.

Для максимальной простоты процедуры и обеспечения доступности реагентов, что очень важно при массовом применении методики в процессе гидрогеохимических поисков рудных месторождений, для концентрирования золота из водных проб выбран медицинский активированный уголь (карболен). Оптимальные условия концентрирования, обеспечивающие выход в концентрат 97–99% золота, найдены экспериментальным путем с трассером ^{195}Au на воде р. Селенги. 1 л воды, отфильтрованной через бу-

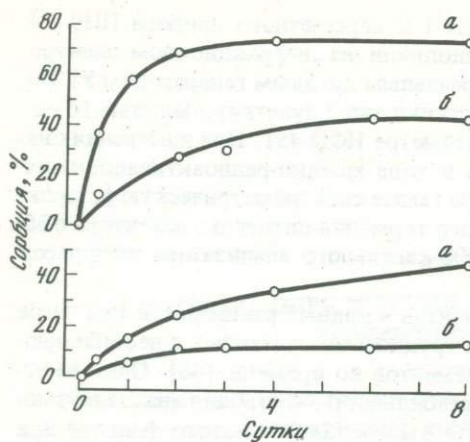


Рис. 1. Сорбция золота стенками полиэтиленовой (вверху) и стеклянной (внизу) посуды для нефильтованной (а) и профильтрованной через мембранный фильтр (б) воды

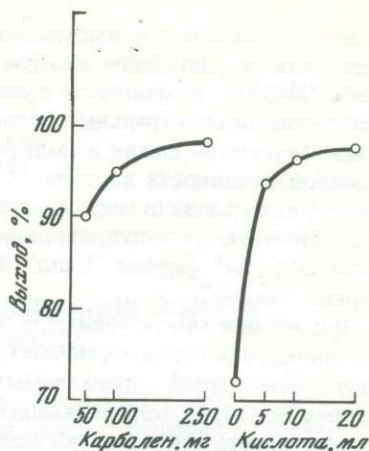


Рис. 2. Зависимость выхода золота в концентрат от объема добавляемой в пробу царской водки и веса карболена

мажный фильтр, подкисляется 20 мл свежеприготовленной из кислот марки ОСЧ царской водки и перемешивается в течение 1 ч с 250 мг тонкорастертого карболена (1 таблетка). Зависимость выхода золота в концентрат от объема добавляемой царской водки и навески карболена показана на рис. 2. После перемешивания карболена отфильтровывается и вместе с бумажным фильтром озоляется в муфельной печи при 600°C. При более высокой температуре озоления золото из концентратов частично теряется (рис. 3). Проверка с использованием радиоактивного трассера ^{195}Au показала, что описанная методика концентрирования обеспечивает количественный выход в концентрат золота при анализе проб вод всех основных распространенных в Забайкалье и исследованных в данной работе типов.

Определение содержания золота в концентратах эмиссионным спектральным методом (химико-спектральный вариант методики) осуществляется по наиболее чувствительной линии 267,6 нм [33]. Оптимальные условия проведения спектрального окончания также выбраны экспериментальным путем. Полученный концентрат помещается в кратер стандартного фигурного электрода "рюмка" из угля марки ОСЧ 7-4. Сжигание ведется в дуге постоянного тока силой 18 А в течение 50 с. Электрод при этом служит анодом, ширина щели спектрографа устанавливается равной 0,025 мм. На рис. 4 представлена зависимость разности почернений аналитической линии и фона от времени сжигания, силы тока дуги и ширины щели спектрографа. Для построения аналитических графиков используется серия концентратов, приготовленных в аналогичных условиях на дистиллированной воде с добавлением 0,001, 0,002, 0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0 и 5,0 мкг золота. Указанная шкала охватывает практически весь диапазон концентраций золота в природных водах [107]. Графики строятся в координатах $\Delta S - \lg C$. На рис. 5 показана получаемая

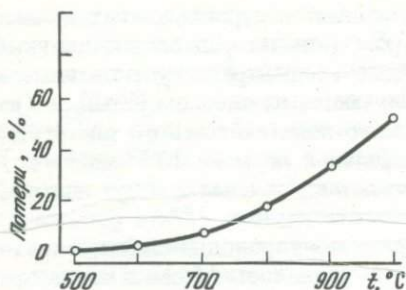


Рис. 3. Зависимость потерь золота из концентрата от температуры озонения

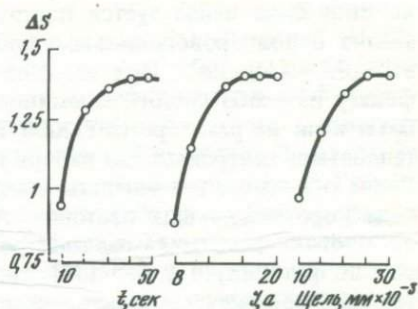
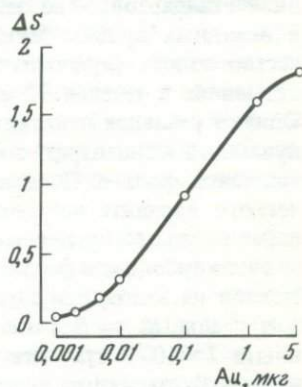


Рис. 4. Зависимость разницы почернений аналитической линии и фона от времени сжигания, силы тока дуги и ширины щели спектрографа

Рис. 5. Характеристическая кривая, получаемая при определении золота в природных водах в диапазоне концентраций 0,001–5,0 мкг/л



характеристическая кривая. Коэффициент вариации K_v (в %) результатов определений золота в природных водах по предлагаемой методике при разных его содержаниях (в мкг/л) следующие:

K_v	Au	K_v	Au
22,0	0,001	3,2	0,1
14,6	0,002	3,1	0,2
8,8	0,005	2,2	0,5
6,6	0,01	2,4	1,0
6,9	0,02	5,5	2,0
2,3	0,05	11,0	5,0

Таким образом, получена химико-спектральная методика определения золота в природных водах, основанная на предварительном его концентрировании в полевых условиях и последующем эмиссионно-спектральном окончании анализа. Путем оптимизации всех операций аналитической процедуры и применения дифракционного спектрографа большой дисперсии достигнута чувствительность $1 \cdot 10^{-9}$ г/л. Диапазон определяемых концентраций золота до $5 \cdot 10^6$ г/л, K_v результатов определений 2,2–22,0%. Ввиду простоты аналитической процедуры при достаточно высокой чувствительности и точности предлагаемая методика химико-спектрального анализа особенно удобна при поисках золоторудных месторождений с помощью гидрогеохимических методов.

Для достижения более высокой чувствительности определений в качест-

ве окончания используется инструментальный нейтронно-активационный анализ с полупроводниковым детектором (химико-радиоактивационный вариант методики). При этом озолненные концентраты, упакованные в фольгу из особо чистого алюминия, облучаются на ядерном реакторе (работы вели на реакторе ИРТ-2000 Томского политехнического института) тепловыми нейтронами до набора интегральной дозы $1 \cdot 10^{18}$ нейтр/см². После облучения концентраты выдерживаются в течение 3–4 сут для распада короткоживущих изотопов. Активность изотопа ¹⁹⁸Au измеряется на многоканальном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором по фотопику 412 кэВ [58]. Найденная активность ¹⁹⁸Au в концентратах проб сравнивается с активностью приготовленных в аналогичных условиях стандартов, и по этим данным проводится расчет содержания золота в исходных пробах. Минимальное обнаруживаемое в концентратах количество золота (при облучении до интегральной дозы $1 \cdot 10^{18}$ нейтр/см², остывании в течение 72 ч и наборе спектра 5 мин) составляет $1 \cdot 10^{-10}$ г. Однако реальная чувствительность метода лимитируется загрязнением облучаемого концентрата золотом за счет содержания его в карболене и алюминиевой фольге. По данным исследования с использованием радиохимического варианта нейтронно-активационного анализа [76], средняя по 10 параллельным определениям величина загрязнения концентратов золотом за счет карболена и фольги равняется $5 \cdot 10^{-10}$ г при K_B этой величины 15%. Исходя из этого, при концентрировании золота из водных проб объемом 1 л реальный предел обнаружения составляет по критерию $3S$ холостого опыта $2 \cdot 10^{-10}$ г/л. Статистическая ошибка при измерениях активности концентратов уже на этом уровне не превышает 15%, с ростом содержания золота в пробах она уменьшается. Химико-радиоактивационный вариант методики рекомендуется для исследовательских гидрогеохимических работ на золото.

Глава II

КОНЦЕНТРАЦИИ ЗОЛОТА В ПРЕСНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Геохимия золота в пресных природных водах вне площадей золоторудных месторождений и в минеральных водах — очень интересная, но еще недостаточно изученная проблема. Нами проведена работа по определению содержания золота в некоторых типах природных вод Забайкалья: пресных водах зоны активного водообмена, водах больших озер и рек, углекислых минеральных и азотных термальных водах. Исследована также концентрация золота в травертинах из некоторых источников минеральных вод Забайкалья. Точки отбора проб показаны на рис. 6.

Во всех отобранных водных пробах с помощью переносного иономера И-102 измерены значения pH и Eh. Методами классической мокрой химии [8, 92] определено содержание анионов — гидрокарбонат-иона, карбонат-иона, сульфат-иона, хлор-иона, фтор-иона. Катионы кальций, магний, натрий, калий анализированы пламенным атомно-абсорбционным спектральным методом [83]. Концентрация золота в травертинах определена нейт-

ронно-активационным методом [76], в водах — описанным выше химико-радиоактивационным методом. Полученные результаты измерений pH, Eh, анализов содержаний макрокомпонентов и золота обработаны статистически на ЭЦВМ; для них просчитаны также коэффициенты парной корреляции. Для изучения фоновой концентрации золота в водах зоны активного водообмена была выбрана площадь Гусиноозерской впадины в Западном Забайкалье. Благодаря наличию значительных запасов бурых углей Гусиноозерская впадина в настоящее время — одна из наиболее хорошо изученных мезозойских тектонических структур Забайкалья. Так как при проведении детальных геологических работ с большими объемами бурения на площади впадины не было выявлено никаких признаков золоторудной минерализации, ее выбор в качестве эталонного фонового объекта вполне обоснован.

Гусиноозерская мезозойская впадина расположена между двумя кристаллическими массивами — Хамбинским и Моностойским хребтами, это крупная грабен-синклиналиная структура северо-восточного простираения общей площадью около 1000 км². Центральная ее часть площадью свыше 150 км² покрыта водами оз. Гусиного. Сводный разрез заполняющей впадину вулканогенно-осадочной толщи может быть представлен в следующем виде [108].

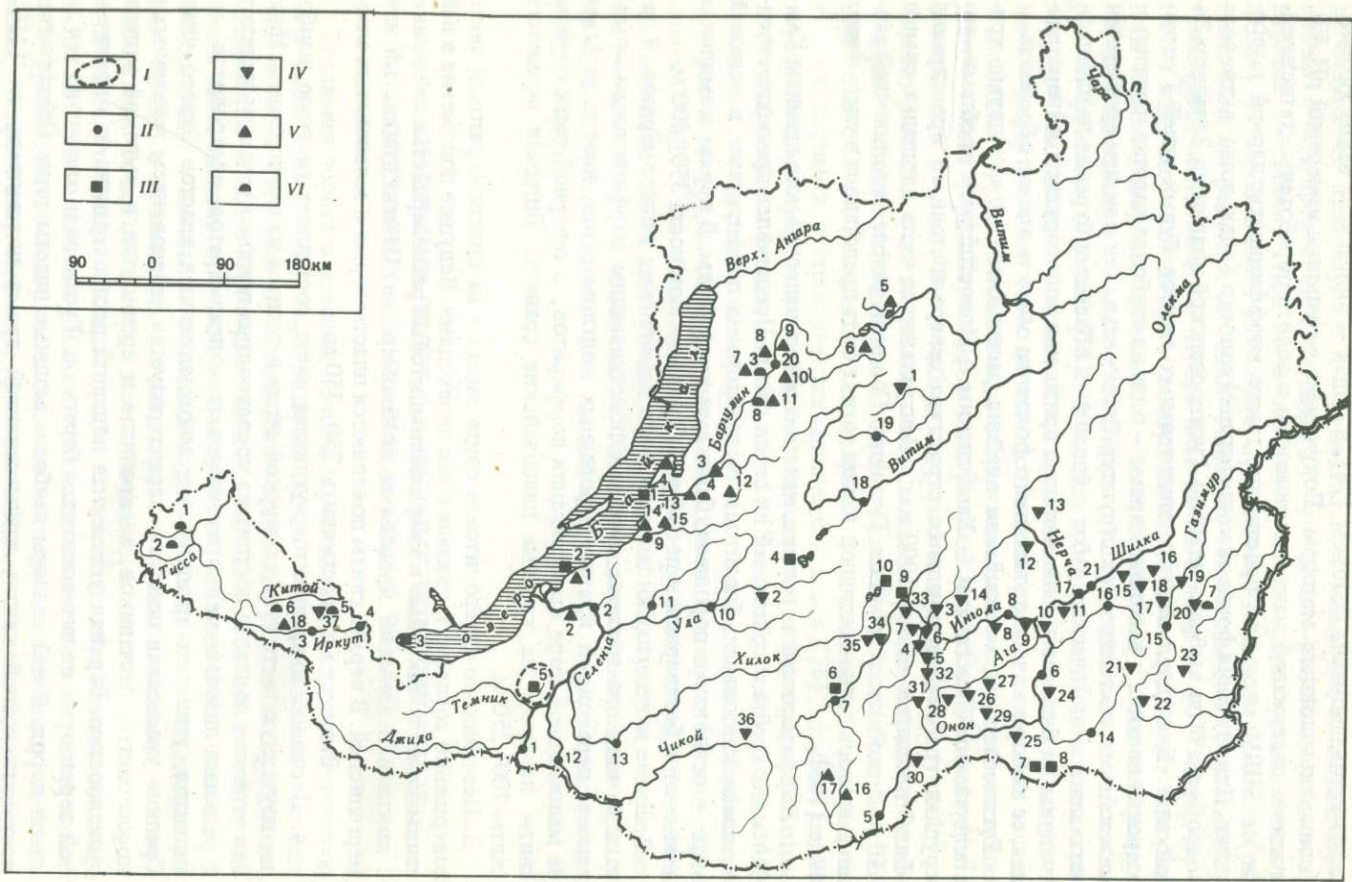
1. Порфириновый комплекс, налегающий на палеозойские граниты Хамбинского хребта и состоящий из серии слоев. Представлен преимущественно плагиоклазовыми, биотитовыми, авгитовыми порфиритами, в меньшей мере — основными породами, близкими к диабазам. В верхах комплекса появляются бескварцевые порфириты. Видимая мощность 350—400 м.







2. Выше и несогласно залегает свита хамбинских конгломератов. В западной части она местами связана с подстилающим порфириновым комплексом переходами в виде туфогенных конгломератов, иногда залегает на маломощной коре выветривания порфиритов; в северной части породы свиты налегают на красные палеозойские граниты. Видимая мощность свиты 200—250 м.

3. Песчаниково-алевролитовая свита залегает на конгломератовой свите совершенно согласно и связана с ней переходами. Ведущее положение в ней занимают полимиктовые и кварц-полимиктовые равнозернистые песчаники с линзами и тонкими прослоями конгломератов. Цемент глинистый или мергелистый. В верхах свиты появляются пласты серых и зеленоватых алевролитов. Видимая мощность свиты 250—350 м.

4. Песчаниково-аргиллитово-углистая свита составляет главную, наиболее изученную часть гусиноозерской серии и делится на три подсвиты. Нижняя углистая подсвита состоит из косослоистых полимиктовых песчаников с редкими линзами мелкогалечниковых конгломератов, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и многочисленных пластов бурого угля. Средняя угленосная подсвита характеризуется чередованием массивных и косослоистых песчаников, алевролитов и аргиллитов и высокой угленасыщенностью. Верхняя угленосная подсвита распространена на ограниченной территории на юго-восточном берегу оз. Гусиного и состоит из тех же типов пород. С ней связаны наиболее мощные пласты угля. Общая мощность угленосной свиты, представленной тремя подсвитами, до 1150—1400 м; мощность всей осадочно-вулканогенной серии более 2000 м.

В гидрогеологическом отношении Гусиноозерская впадина представля-



- | | |
|---|--|
|  I |  IV |
|  II |  V |
|  III |  VI |

90 0 90 180 км

ет собой артезианский бассейн, ограниченный Моностойским и Хамбинским хребтами и открытый в сторону р. Селенги. В пределах ограничивающих впадину кристаллических массивов развиты трещинно-жильные воды. На площади впадины отмечается островное развитие многолетнемерзлых пород мощностью в первые десятки метров. Питание водоносного комплекса отложений гусинозерской серии происходит за счет атмосферных осадков и подтока трещинных вод из изверженных пород Моностойского и Хамбинского хребтов. Области разгрузки служат оз. Гусиное и долина р. Селенги.

Пробы отбирали из всех доступных водоисточников (рек, ключей, колодцев) на площади впадины, а также в пределах смежных участков окружающих впадину кристаллических массивов; всего было отобрано 90 проб. Результаты статистической обработки данных измерений и анализов приведены в табл. 1. Показатель pH отобранных проб колебался от 7,2 до 9,0, величина Eh изменялась от +173 до +551 мВ. По химическому составу воды отобранных проб — гидрокарбонатные натрий-кальциевые с минерализацией 0,1–3,7 г/л. С ростом минерализации возрастает удельное содержание натрия и увеличивается показатель pH — воды приобретают содовый характер. Распределение содержания золота в проанализированных водных пробах соответствует нормальному закону и в среднем равно $2,9 \cdot 10^{-9}$ г/л при колебаниях от 0,5 до $8,4 \cdot 10^{-9}$ г/л. Значимая корреляционная зависимость содержания золота от величин pH, Eh и концентраций макрокомпонентов не выявлена. Максимальную концентрацию золота на площади Гусинозерской впадины содержала проба воды из оз. Гусиного ($8,4 \cdot 10^{-9}$ г/л).

Данные измерений величин pH, Eh и определенных концентрации золота в 10 пробах вод из восьми озер Забайкалья приведены в табл. 2, а в табл. 3 — результаты статистической обработки полученной информации. Как видно из таблиц, для вод озер Забайкалья характерна слабощелочная окислительная обстановка. По химическому составу воды озер неоднородны — от ма-

Рис. 6. Точки отбора проб вод и травертинов на территории Забайкалья

I — Гусинозерская впадина; II — точки отбора водных проб из рек: Селенги (1, 2), Иркутта (3, 4), Онона (5, 6), Ингоды (7, 8), Турки (9), Уды (10), Курбы (11), Чикоя (12), Хилка (13), Борзи (14), Газимура (15), Унды (16), Нерчи (17), Витма (18), Большого Амалата (19), Баргузина (20), Шилки (21); III — точки отбора водных проб из озер: Байкала (1–3), Большого Еравнинского (4), Гусиного (5), Доронинского (6), Барун-Торея (7), Зун-Торея (8), Кенона (9), Арахлея (10); IV — углекислые минеральные источники: Ауглейский (1), Поперечинский (2), Максовевский (3), Олентуйский (4), Олентуй-Зубковщинский (5), Андриановский I (6), Андриановский II (7), Уненкерский (8), Падь Речка (9), Шиванда (10), Ургучан (11), Олеканский (12), Колтомоёконский (13), Андрониковский (14), Эпифаньевский (15), Аркинский (16), Буньский (17), Шивинский (18), Буруканский (19), Ямкун (20), Клиновский (21), Маньковский (22), Селендинский (23), Аршантуй-Оловянинский (24), Цаган-Норский (25), Улятневский (26), Барун-Килькиндинский (27), Урдо-Агинский (28), Мухор-Булакский (29), Оршандинский (30), Улятневский (31), Дарасун (32), Молоковка (33), Падь Борзиха (34), Кука (35), Ямаровка (36), Аршан Тункинский (37); V — термальные источники: Сухая Зага (1), Питателевские (2), Толстихинский (3), Змеиный (4), Могойский (5), Баунтовский (6), Аллинский (7), Кучегерский (8), Умхейский (9), Сейский (10), Гаргинский (11), Уринский (12), Гусихинский (13), Горячинский (14), Золотой Ключ (15), Былыринский (16), Улурийский (17), Нилова Пустынь (18); VI — точки отбора проб травертинов: источник Холон-Угун (1), источник Ара-Шутхулай (2), Аллинский источник (3), Гусихинский источник (4), источник Аршан Тункинский (5), Шумацкие источники (6), источник Ямкун (7), Гаргинский источник (8)

Таблица 1

Результаты статистической обработки значений pH, Eh (в мВ), концентраций макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в $\mu\text{г/л}$) в водах Гусиноозерской впадины

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
pH	7,9	0,5	0,4	-0,7
Eh	289,0	52,0	1,9	8,9
Ca	57,0	35,0	1,6	5,5
Mg	36,0	68,0	4,0	19,2
Na	67,0	110,0	2,2	4,5
K	4,4	5,1	4,1	22,0
HCO ₃	674,0	631,0	1,8	2,9
SO ₄	9,8	6,8	0,7	-0,2
Cl	14,1	19,4	5,0	30,0
F	0,6	0,3	0,8	0,2
Au	2,9	1,7	1,0	1,4

ломинерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод (оз. Байкал) до хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных натриевых вод с большой минерализацией (озера Зун-Торей и Барун-Торей). Из-за близости климата южной части Забайкалья к ариднему типу воды большинства обследованных озер имеют повышенную минерализацию, и для них характерно преобладание натрия над кальцием. В шести из восьми обследованных озер отмечено присутствие карбонатов, что вместе с повышенным содержанием натрия служит индикатором содового процесса. Среднее содержание золота в водах озер по 10 пробам $8,1 \cdot 10^{-9}$ г/л при колебаниях от $2,5$ до $16,7 \cdot 10^{-9}$ г/л.

Распределение концентраций удовлетворяет нормальному закону. Наибольшее содержание золота отмечено в поверхностных водах средней части оз. Байкал; воды южной части озера содержали золота в 3 раза меньше. Самая низкая концентрация золота установлена в водах оз. Кенон. Значимая корреляционная зависимость содержания золота от величин pH, Eh и концентраций макроэлементов не выявлена.

Величины pH, Eh, концентрации золота и макрокомпонентов определены в 21 водной пробе из 17 рек Забайкалья (см. табл. 2), результаты статистической обработки полученной информации приведены в табл. 4. Для вод всех обследованных рек характерны слабощелочная окислительная обстановка, малая минерализация и гидрокарбонатно-кальциевый состав. Средняя концентрация золота по 21 пробе составляет $6,1 \cdot 10^{-9}$ г/л при вариациях от $1,5$ до $12,6 \cdot 10^{-9}$ г/л. Наибольшее содержание золота дала проба вод р. Унды, наименьшее — р. Баргузин. Интересно, что во всех реках, где пробы отбирали в двух разных точках (реки Селенга, Иркут, Онон, Ингода), концентрация золота вниз по течению увеличивается. Как и для вод озер, в водных пробах из основных рек Забайкалья значимые корреляционные связи между концентрациями золота и макрокомпонентов, а также величинами pH и Eh не установлены.

Забайкалье — классический район развития углекислых минеральных вод и газифицирующих азотом термальных вод типа акротерм [71, 90]. Широко

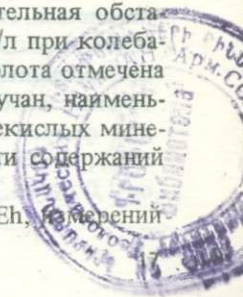
Таблица 2

Содержание золота (в 10^{-9} г/л) в водах озер и рек

Место отбора пробы	pH	Eh, мВ	Au
Оз. Байкал, у с. Максимиха	8,0	279	16,7
" " у с. Сухая	7,8	324	16,2
" " у с. Слюдянка	7,2	284	5,6
Оз. Большое Еравное	8,5	266	3,7
Оз. Гусиное	8,2	354	8,4
Оз. Доронинское	8,8	316	4,9
Оз. Барун-Торей	9,3	289	10,7
Оз. Зун-Торей	9,3	304	5,9
Оз. Кенон	8,7	284	2,5
Оз. Арахлей	7,3	316	6,4
Р. Селенга, у с. Зарубино	8,0	379	2,2
" " у с. Татаурово	7,8	306	9,8
Р. Иркут, у с. Жемчуг	7,6	304	3,4
" " у с. Тибельти	7,4	401	9,0
Р. Онон, у с. Мангут	7,5	331	2,4
" " у с. Цугол	8,0	311	10,9
Р. Ингода, у с. Новодоронинское	7,8	344	2,4
" " у с. Солнцево	7,4	344	4,7
Р. Турка, у с. Соболиха	7,6	314	6,1
Р. Уда, у с. Хоринск	7,4	396	7,2
Р. Курба, у с. Новая Курба	7,8	371	8,0
Р. Чикой, у с. Морочи	7,5	399	5,9
Р. Хилок, у с. Малый Куналей	8,0	396	8,6
Р. Борзя, у г. Борзя	7,3	304	5,0
Р. Газимур, у с. Газим. Завод	7,8	301	4,8
Р. Унда, у с. Унда	7,8	389	12,6
Р. Нерча, у г. Нерчинск	7,5	346	6,3
Р. Витим, у с. Романовка	7,3	356	4,3
Р. Большой Амалат, у с. Байса	8,6	286	5,5
Р. Баргузин, у с. Тазы	7,7	160	1,5
Р. Шилка, у г. Нерчинск	7,3	304	7,1

распространенные здесь углекислые воды имеют гидрокарбонатный натрий-кальциевый состав и весьма сходны с широко известными водами типа нарзана. Результаты определений в составе углекислых минеральных вод Забайкалья золота, макрокомпонентов, их pH, Eh, измерений температуры и статистической обработки материала приведены в табл. 5 и 6 (48 проб). Для этих вод характерны слабокислая реакция и окислительная обстановка. Среднее содержание золота по 48 пробам $2,7 \cdot 10^{-9}$ г/л при колебаниях от $0,2$ до $17,8 \cdot 10^{-9}$ г/л. Наибольшая концентрация золота отмечена для пробы воды из минерального колодца на курорте Ургучан, наименьшая — в водах Барун-Килькиндинского источника. Для углекислых минеральных вод выявлены парные корреляционные зависимости содержания золота от концентраций SO_4 (+0,66) и Cl (+0,63).

Данные определений золота, макрокомпонентов, pH и Eh, измерений



5455

Таблица 3

Результаты статистической обработки значений pH, Eh (в мВ), концентрации макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в $n \cdot 10^{-9}$ г/л) в водах озер

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
pH	8,3	0,7	-0,1	-1,5
Eh	301,6	26,3	0,5	-0,9
Ca	16,5	8,2	0,1	-1,1
Mg	17,9	17,3	0,5	-1,6
Na	125,8	335,8	2,3	3,5
K	5,5	5,4	0,58	-1,4
HCO ₃	299,7	343,7	1,2	-0,5
CO ₃	93,9	126,9	0,7	-1,6
SO ₄	225,2	405,6	1,5	0,8
Cl	109,2	206,1	1,3	-0,3
F	1,7	2,0	0,9	-1,1
Au	8,1	5,2	0,7	-1,1

Таблица 4

Результаты статистической обработки значений pH, Eh (в мВ), концентрации макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в $n \cdot 10^{-9}$ г/л) в водах рек

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
pH	7,7	0,3	1,0	1,1
Eh	335,0	55,6	-1,2	2,2
Ca	25,4	45,5	2,9	7,6
Mg	3,4	1,9	0,5	-1,0
Na	4,8	3,2	1,3	1,5
K	0,7	0,4	0,7	-0,7
HCO ₃	73,7	33,1	0,5	-1,0
SO ₄	12,1	12,9	2,0	3,3
Cl	7,8	2,3	0,2	-1,4
F	0,4	0,1	0,9	-0,2
Au	6,1	3,0	0,4	-0,8

температуры для газифицирующихся азотом термальных вод Забайкалья и результаты их статистической обработки приведены в табл. 7 и 8 (26 проб). Для этих вод характерны слабая минерализация, гидрокарбонатно-сульфатный натриевый состав, высокая температура и близкая к нейтральной окислительно-восстановительная обстановка. В связи с ясно выраженной щелочной реакцией в составе термальных вод появляются карбонаты. Отличительная особенность термальных вод Забайкалья — высокая концентрация фтора. Среднее содержание золота в термальных водах (по 26 пробам), как и в углекислых минеральных водах, $2,7 \cdot 10^{-9}$ г/л при вариациях от 1,0 до $14,7 \cdot 10^{-9}$ г/л. Самая высокая концентрация золота найдена в во-

Т а б л и ц а 5

Содержание золота (в $\mu \cdot 10^{-9}$ г/л) в углекислых минеральных водах

Место взятия пробы	t, °C	pH	Eh, мВ	Au
Ауглейский ист.	4,0	7,8	646	1,3
Поперечинский ист.	6,0	7,3	389	2,1
Макковеевский ист.	1,5	6,9	334	1,4
Олентуйский ист.	0,5	6,4	257	1,8
Олентуй-Зубковщинский ист.	2,1	5,9	22	5,7
Андриановский I ист.	2,5	5,8	409	2,0
" II ист.	3,5	5,7	444	1,8
Уненкерский ист.	15,0	6,0	34	4,3
Ист. Падь Речка	1,0	6,2	404	1,3
Шиванда, скв. 14/72	3,0	6,3	94	1,8
" скв. 2/60	1,0	6,0	48	2,0
Ургучан, мин. колодец	1,0	6,0	454	17,8
" скв. 4	1,0	5,9	420	7,1
Олеканский ист.	0,5	5,8	420	11,0
Колтомойконский ист.	1,0	6,0	309	2,2
Андрониковский ист.	1,0	5,9	107	2,9
Епифаниевский ист.	1,0	6,8	157	5,2
Аркинский ист.	1,5	5,9	8	5,0
Буньский ист.	1,0	6,6	420	4,2
Шивинский ист.	1,5	6,1	261	4,6
Буруканский ист.	1,0	6,1	396	16,1
Ямкун, скв. 1	20,0	6,6	216	1,3
" скв. 2	10,0	6,8	174	0,8
" скв. 3	10,3	6,7	193	0,9
" мин. озеро	22,0	6,7	301	0,6
Клиновский ист.	1,0	5,9	276	1,2
Маньковский ист.	6,5	6,0	444	1,3
Селендинский ист.	20,0	6,9	164	2,1
Аршантуй-Оловянинский ист.	3,0	6,8	262	1,0
Цаган-Норский ист.	5,0	6,9	24	1,0
Улятувский ист.	2,5	5,9	264	1,2
Барун-Килькиндинский ист.	3,0	5,6	346	0,2
Урдо-Агинская скв.	2,0	5,5	324	0,9
Мухор-Булакский ист.	0,5	7,4	224	1,2
Оршандинский ист.	8,0	6,2	97	2,6
Улентувский ист.	3,0	6,2	276	2,1
Дарасун, скв. 10/66	2,6	5,9	139	0,6
Молоковка, скв. 2	1,5	5,8	165	0,7
" скв. 26	1,0	6,8	189	0,8
Падь Борзиха, скв. 31	0,8	5,9	274	0,8
Кука, скв. 41	1,0	6,2	174	1,1
Ямаровка, скв. 2/60	4,0	5,8	164	0,8
Аршан, скв. 34	20,0	7,0	296	0,4
" скв. 25	19,5	6,5	256	1,1
" скв. 36	16,0	6,8	251	2,2
" скв. 35	12,0	6,8	256	0,5
" скв. 32	35,0	6,8	267	1,0
" скв. 33	12,0	6,6	286	1,2

Т а б л и ц а 6. Результаты статистической обработки значений рН, Eh (в мВ), температуры (°С), концентраций макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в $n \cdot 10^{-9}$ г/л) в углекислых минеральных водах

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
t	6,8	9,1	2,0	4,0
рН	6,4	0,5	0,5	-0,4
Eh	256,0	133,0	0,2	0,1
Ca	302,0	187,0	0,8	-0,1
Mg	89,3	53,0	0,4	-0,9
Na	109,0	102,0	2,5	8,3
K	11,0	11,0	2,1	4,3
HCO ₃	1140,0	430,0	0,7	0,4
SO ₄	30,8	37,0	2,1	4,0
Cl	8,2	4,2	0,8	-0,4
F	1,0	0,9	2,1	4,7
Au	2,7	3,6	2,8	7,9

Т а б л и ц а 7. Содержание золота (в $n \cdot 10^{-9}$ г/л) в азотных термальных водах

Место взятия пробы	t, °С	рН	Eh, мВ	Au
Сухая Загаз (скв.)	25,5	8,2	77	17,7
Питателевский, скв.74	50,0	8,6	262	1,0
" скв.56	60,5	8,6	92	1,0
Толстихинский ист.	28,0	8,6	124	2,1
Змеиный ист.	40,0	9,5	-93	1,5
Могойский ист.	72,0	9,0	-39	3,6
Баунтовский ист.	52,0	8,6	-73	1,4
Аллинский ист., правый берег	75,0	8,7	-44	1,5
То же, левый берег	69,0	8,4	-264	2,1
Кучегерский ист.	45,0	8,6	-60	1,4
Умхейский ист., остров	45,5	9,6	39	1,3
То же, левый берег	43,0	9,4	-21	1,9
Сейский ист.	49,0	8,8	-198	2,6
Гаргинский ист.	75,0	7,8	-101	3,0
Уринский ист., верхний выход	45,0	7,8	258	2,0
То же, нижний выход	48,0	7,8	260	2,9
Гусихинский ист.	56,0	7,2	238	3,5
Горячинский, скв. 234	48,0	8,2	264	3,0
" скв. 236	27,0	8,0	204	4,0
Ист. Золотой Ключ	44,5	6,9	310	7,4
Былыринский ист.	35,0	9,0	97	1,7
Улурийский ист., верхний выход	29,0	9,2	42	2,5
То же, средний выход	13,0	9,2	48	1,4
" нижний выход	9,0	9,5	61	1,1
Нилова Пустынь, скв. 2	35,0	8,1	257	1,3
То же, мин. колодец	35,0	8,1	257	1,0

Т а б л и ц а 8

Результаты статистической обработки значений рН, Eh (в мВ), температуры (°С), концентраций макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в $n \cdot 10^{-9}$ г/л) в азотных термальных водах

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
t	44,7	17,6	0,1	-0,7
рН	8,5	0,7	-0,4	-0,6
Eh	76,6	157,0	-0,3	-1,0
Ca	18,4	25,9	1,5	0,9
Mg	0,9	2,8	4,3	17,9
Na	115,3	79,0	1,7	2,2
K	4,4	5,2	2,0	2,5
HCO ₃	163,0	184,0	2,6	5,8
CO ₃	25,0	25,9	2,4	6,4
SO ₄	191,0	140,0	0,8	-0,9
Cl	31,2	44,0	2,8	7,0
F	9,1	3,2	-0,7	0,2
Au	2,7	2,8	3,0	9,9

Т а б л и ц а 9

Содержание золота (в $n \cdot 10^{-7}$ вес. %) в травертинах

Место взятия образца	Au	Место взятия образца	Au
Холон-Угун, нижний горизонт	0,56	Аршан, левый берег, верхний горизонт	0,23
То же, горизонт 20 см	0,67	Аршан, правый берег, нижний горизонт	27,90
" " 35 см	0,55	Аршан, правый берег, средний горизонт	0,41
" " 55 см	0,65	Аршан, правый берег, верхний горизонт	0,36
" верхний горизонт	0,55	Шумак, современные травертины	0,63
Ара-Шутхулай	0,43	То же, древние травертины	0,59
Алла, современные травертины	0,76	Ямкун, вершина купола	0,37
То же, древние "	0,74	Гарга, нижний горизонт	0,65
Гусиха, осадок на устье скважины	0,49	То же, горизонт 100 см	0,53
Аршан, осадок на устье скв. 28	0,66	" " 200 см	0,36
То же, скв. 36	1,99	" верхний горизонт	0,36
" левый берег, нижний горизонт	0,31	" современные травертины	1,10

дах из скважины у с. Сухая, наименьшая — в водах месторождений Питателевское и Нилова Пустынь. Значимая корреляционная зависимость концентраций золота в термальных водах Забайкалья от содержаний макрокомпонентов, температуры, рН и Eh не отмечена.

Концентрация золота и макрокомпонентов изучена в 24 пробах травертинов из восьми источников углекислых и термальных вод Забайкалья

Таблица 10

Результаты статистической обработки значений концентраций макрокомпонентов (в вес. %) и золота (в 10^{-7} вес. %) в травертинах

Компо- ненты	\bar{X}	S	A	E	Компо- ненты	\bar{X}	S	A	E
SiO ₂	0,73	0,9	1,8	3,0	CaF ₂	1,82	1,4	1,6	2,1
Al ₂ O ₃	0,84	1,8	3,3	9,9	Na ₂ O	0,40	0,8	3,3	10,2
Fe ₂ O ₃	1,05	1,3	1,9	2,9	K ₂ O	0,10	0,3	3,7	13,6
FeO	0,30	0,3	3,2	10,9	P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,7	-0,2
MnO	0,30	0,4	1,3	1,0	CO ₂	40,9	7,7	-2,9	6,9
MgO	0,74	0,6	1,7	3,0	SO ₃	0,50	0,6	3,7	7,7
CaO	49,3	10,7	-3,0	7,8	Au	1,7	5,5	4,4	18,1

(табл. 9, 10). Почти все исследованные травертины по химическому составу были карбонатно-кальциевыми. Исключение представляют осадок из устья скважины на Гусихинском источнике азотных термальных вод, содержащий более 70 вес. % SiO₂, и травертины из источника углекислых минеральных вод Ара-Шутхулай с концентрацией SiO₂ около 58 вес. %. Характерная особенность изученных травертинов — высокое содержание CaF₂ (до 5,80 вес. %). Средняя концентрация золота по 23 из 24 отобранных и проанализированных образцов травертинов $0,6 \cdot 10^{-7}$ вес. % при сравнительно небольших колебаниях [$(0,23-1,96) \cdot 10^{-7}$ вес. %]. В связи с этим очень интересно резко повышенное содержание золота (27,9 $\cdot 10^{-7}$ вес. %) в пробе из базального слоя покрова травертинов на правом берегу р. Кыргарги (месторождение углекислых минеральных вод Аршан Тункинский). Базальный слой травертинов обогащен также натрием. Не исключено, что это свидетельствует об аномально высоких концентрациях золота в первых порциях углекислых вод, образовавших нижний слой покрова травертинов. Значимая корреляционная зависимость между содержанием золота и компонентами макросостава в травертинах не выявлена.

Были просчитаны также коэффициенты концентрирования золота из образующих современные травертины вод (относительно кальция, коэффициент концентрирования которого принят равным единице). Во всех случаях относительные коэффициенты концентрирования оказались меньше единицы (0,93 для травертинов и вод скв. 36 месторождения Аршан Тункинский, 0,055 для скв. Гусихинской, 0,029 для Гаргинского источника и 0,0041 для Аллинского источника). Интересно, что полученные коэффициенты концентрирования обратно пропорциональны отношениям концентраций кальция в травертинах к содержаниям его в водах источников.

Таким образом, концентрация золота в проанализированных водных пробах колеблется в пределах двух порядков — от 0,2 до $17,8 \cdot 10^{-9}$ г/л. Ввиду очень низкого содержания золота в природных водах для получения надежных данных при гидрогеохимических исследованиях необходимо применять высокочувствительные методы его определения. Одним из таких методов может служить разработанный нами химико-радиоактивный анализ. Наиболее низкое среднее содержание золота в различных

типах природных вод Забайкалья характерно для термальных ($2,7 \cdot 10^{-9}$ г/л), углекислых минеральных ($2,7 \cdot 10^{-9}$ г/л) и пресных поверхностных вод зоны активного водообмена ($2,9 \cdot 10^{-9}$ г/л). Отметим, что концентрации золота в этих водах близки как между собой, так и определенным нами содержаниям золота в водах Тихого океана [50]. Среднее содержание золота в водах больших рек Забайкалья несколько выше ($6,1 \cdot 10^{-9}$ г/л); еще более высокое среднее значение дают определения золота в водах основных озер Забайкалья ($8,1 \cdot 10^{-9}$ г/л).

Глава III

ЗОЛОТО В ВОДНЫХ ПОТОКАХ РАССЕЯНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Исследования, результаты которых излагаются в настоящей главе, проводились на площади двух рудных узлов, связанных с крупными ксенолитами осадочно-эффузивных отложений нижнего кембрия на территории Забайкалья. В пределах ксенолитов известны месторождения и рудопроявления полиметаллических руд и железа, а также золоторудные проявления. Целью исследований являлось изучение водных потоков рассеяния золота и выяснение возможности применения прямых гидрогеохимических методов поисков коренных золоторудных проявлений в ландшафтно-климатических условиях среднегорных таежных районов Забайкалья. В геологическом строении первого рудного узла (рис. 7, см. вкл.) участвуют два структурных этажа — докембрийский гнейсо-гранитовый и венд-кембрийский эффузивно-карбонатно-сланцевый. Слагающие оба этажа толщи интрузивов различными палеозойскими гранитоидами.

Докембрийские гнейсо-гранитовые толщи распространены в северной части района и представляют собой чередование лейкократовых калиево-полевошпатовых гнейсо-гранитов с пластообразными телами биотит-амфиболитовых плагиогнейсов. По ориентации гнейсовидных текстур в этих толщах отмечается сложный рисунок складчатых структур, резко дисгармоничный по отношению к залеганию палеозойских эффузивно-осадочных толщ. Последние отделены от докембрийских образований разломами северо-восточного и субмеридионального простирания и слагают остаток раннепалеозойского прогиба, в значительной степени уничтоженного гранитоидными интрузиями.

В низах палеозойских толщ развиты эффузивы среднего состава (метопорфириты и диабазовые порфириты), интенсивно измененные динамотермальным метаморфизмом и гранитизацией. В связи с гранитизацией среди эффузивов сформировались мощные зоны мигматитов. На эффузивах залегает карбонатно-сланцевая толща с прослоями андезитовых порфиритов, деформированная в сложную крупную брахисинклинальную складку. Интрузивные образования в пределах района работ наиболее широко развиты по его периферии и подразделяются на раннепалеозойские гнейсовидные гранодиориты и граниты и верхнепалеозойские диориты, граниты и сиениты. Геологическое строение района работ значительно осложнено блоковой тектоникой. Наиболее крупные и рудоопределяющие — разломы

северо-восточного простираня, фиксирующиеся мощными зонами рассланцевания и брекчирования пород.

Золотое оруденение связано в основном с кварц-сульфидной минерализацией. Слабая золотоносность характерна и для развитых здесь магнетит-гематитовых и магнетит-сульфидных залежей. Кварц-сульфидная золотоносная минерализация подразделяется на два морфологических типа — зоны прожилкования и жилы. Минерализованные зоны кварц-сульфидного прожилкования локализуются в поле гранитизированных эффузивов и хорошо изучены с поверхности горными выработками в пределах участков 7, 8 и 12.

Другие подобные участки прослежены по делювиально-элювиальным свалам. Они контролируются крутопадающими зонами рассланцевания северо-восточного простираня, включающими линзовидные блоки брекчированных мигматизированных эффузивов. Именно такие блоки насыщены густой сетью кварц-пиритовых прожилков преимущественно с пологим залеганием и лестничным расположением, они представляют собой типичные линейные штокверки. Густота прожилкования и количество пирита в прожилках изменчивы по простираню и падению зон. Кроме пирита, изредка отмечается мелкая вкрапленность галенита и халькопирита. Зоны прожилкования сопровождаются широкими ореолами рассеянной вкрапленной пиритизации в ассоциации с турмалином и флюоритом. Золотоносность минерализованных зон неравнозначна. Наиболее высокая концентрация золота отмечена в пределах участков 7 и 8. На других изученных участках содержание золота значительно ниже, хотя и превышает во много раз кларковый уровень.

Кварц-сульфидные жилы развиты преимущественно в северной части района работ, в поле докембрийских гнейсо-гранитовых толщ, среди платовых тел гнейсовидных гранитов. Большинство их изучено слабо; только на участках 1, 2 и 4 некоторые жилы вскрыты редкой сетью канав. В отличие от зон прожилкования жилы повсеместно приурочены к пологим склоновым разрывным нарушениям северо-западного простираня с юго-западным падением под углами $5-30^\circ$. Жилы прослеживаются по простираню на расстояние 300–1000 м, мощность их 0,5–1,5 м, а раздувах до 5–10 м. Многие жилы группируются в протяженные и широкие жильные поля. Жилы на 90–95% сложены белым зернистым кварцем с вкрапленностью пирита и очень редко галенита и халькопирита. Наиболее высокая концентрация золота отмечается в жилах участков 3 и 4.

Магнетит-сульфидные залежи участков 6 и 10 имеют более крупные по сравнению с кварцевыми жилами и зонами прожилкования параметры, но содержание золота в них весьма низко. Концентрация золота в магнетитовых залежах со сфалерит-галенитовой наложенной минерализацией на участках 14 и 15 сильно колеблется.

Ксенолит, к которому приурочен второй узел (рис. 8, см. вкл.), расположен на замыкании одного из крупных синклиналиев забайкальских каледонид и прослеживается среди палеозойских гранитоидов в близмеридиональном направлении.

Стратифицированные нижнекембрийские толщи ксенолита подразделяются на две свиты — нижнюю вулканогенно-осадочную и верхнюю преимущественно вулканогенную. Выходы вулканогенно-осадочной свиты за-

нимают большую часть площади ксенолита. Нижние части свиты, выходящие на поверхность на юге ксенолита, сложены туфами и лавами андезитовых порфиритов, сменяющимися вверх по разрезу терригенными толщами. В средней части свиты преобладают туфы и лавы риолит-дацитовых порфиритов, на них залегают известняки с прослоями туффитов. В верхней части свиты выделяются три пачки. Нижняя пачка сложена туфами и лавами андезит-дацитовых порфиритов, средняя — туфами, реже лавами плагиориолитовых порфиритов, верхняя — туффитами, известняками и известняковыми брекчиями.

Верхняя вулканогенная свита выходит на поверхность в восточной и юго-восточной частях ксенолита. Сложена она в основном лавами и туфами андезитовых и базальтовых порфиритов с прослоями известняков. Общая мощность сохранившихся вулканогенно-осадочных отложений в ксенолите более 2000 м. В целом они залегают моноклинально с общим северо-восточным простиранием и пологим ($15-20^\circ$) падением в юго-восточном направлении, но нередко собраны в крупные брахисинклинальные складки. Осадочно-вулканогенные толщи интродуцированы небольшими неко- и штокообразными телами верхнепалеозойских кислых эффузивов и коматитичными с ними массивами гранодиоритов и сиенит-гранитов.

Геологическое строение ксенолита осложнено густой сетью разрывных нарушений, среди которых преобладают разломы северо-восточного и близмеридионального простирания. Большая их часть прослеживается в виде мощных зон смятия и расщепления, четко фиксируемых как по прямым геологическим признакам, так и геофизическими аномалиями. Именно эти разломы — главные рудоконтролирующие структуры по отношению к большинству рудопоявлений и месторождений ксенолита. Широко развиты также разломы субширотного и северо-западного простирания, нередко трассируемые палеозойскими (и, возможно, мезозойскими) дайковыми образованиями. Их рудоконтролирующая роль не установлена.

Характерная особенность описываемого ксенолита — насыщенность его месторождениями и рудопоявлениями железа, полиметаллических руд, меди и золота.

Большая часть железорудных и колчеданно-полиметаллических месторождений и проявлений, по мнению большинства исследователей, относится к гидротермально-осадочному типу и сингенетична с формированием вулканогенно-осадочных вмещающих толщ. Железорудные месторождения чаще всего представлены мощными и протяженными пластообразными залежами, согласными с вмещающими их туфами, известняками и туффитами. Залежи сложены сплошными магнетит-гематитовыми рудами, обычно с примесью пирита, пирротина и реже других сульфидов. Много мелких аналогичных по составу тел отмечается на различных рудных участках в пределах ксенолита, они ассоциируют с другими типами оруденения. Железорудные залежи обычно контролируются складчатými разрывными нарушениями близмеридионального простирания.

Полиметаллические месторождения связаны в основном с колчеданно-полиметаллическими залежами. Наиболее крупные из таких залежей со свинцово-цинковым оруденением находятся в пределах рудного участка 11, несколько меньшие по размерам — на рудных участках 1, 3 и 15, где для них в промышленных концентрациях характерен только цинк. Подоб-

ные залежи обычно приурочены к полям развития слоистых туфов и туффитов, переслаивающихся с карбонатными породами, и тяготеют к мультисинклинальным складкам с северо-восточным простиранием осей. На каждом месторождении прослеживаются несколько залегающих друг над другом колчеданно-полиметаллических рудных тел мощностью 5–80 м. Главные рудные минералы — пирит и сфалерит, в некоторых телах магнетит, второстепенные — галенит, редкие — арсенопирит, халькопирит, блеклые руды и минералы серебра. Основные рудные компоненты — цинк и свинец с преобладанием первого.

Медно-баритовое оруденение связано с линейными штокверками кварц-барит-анкеритовых жил и прожилков с вкрапленностью и гнездами халькопирита, борнита, пирита, реже других сульфидов. Такие штокверки отмечены на рудных участках 20 и 21. Они контролируются мощными зонами смятия и брекчирования и залегают обычно в баритизированных и анкеритизированных известняках.

Золотое оруденение хорошо изучено пока только в пределах участка 6, где оно ассоциирует с цинковым оруденением в нескольких линзовидных телах кварц-сульфидного состава. Такие тела локализируются в мощной зоне смятия близмеридионального простирания с крутым ($60\text{--}80^\circ$) юго-восточным падением. Мощность их 0,6–15,0 м, протяженность до 1,5 км. По вещественному составу тела преимущественно кварц-пирит-сфалеритовые, на отдельных участках кварц-пирит-пирротиновые с примесью сульфидов свинца и меди. Вокруг рудных тел отмечены широкие ореолы интенсивно пиритизированных пород. Золото в телах распределено неравномерно, наиболее высокая его концентрация отмечается на обогащенных участках, имеющих вид рудных столбов.

Повышенная концентрация золота установлена также в некоторых магнетит-сульфидных залежах, в частности на участках 5 и 14, где золото ассоциирует с сульфидами, особенно с халькопиритом. Не исключено выявление золотого оруденения в подобных залежах и на других участках, так как известны месторождения золота с аналогичным типом минерализации [116].

Золотоносность колчеданно-полиметаллических залежей хорошо изучена на рудном участке 11, здесь она весьма слабая. На других участках имеются залежи, сходные по минерально-геохимическим особенностям с известными золотосодержащими колчеданными месторождениями [31]. Не менее интересны с точки зрения потенциальной золотоносности мощные (до 50 м по вертикали) железные шляпы, развитые на всех колчеданно-полиметаллических месторождениях ксенолита. Как и на других подобных месторождениях, концентрация золота здесь возможна в нижней части железных шляп в связи с вторичным обогащением колчеданно-полиметаллических руд [9, 68].

Золотоносность медно-баритовых штокверковых зон также низкая, хотя не исключено выявление в пределах этих зон участков с повышенной концентрацией золота, что характерно для ряда барит-сульфидных месторождений [36].

Перспективны на золото также широко развитые в пределах ксенолита зоны кварц-сульфидного и сульфидного прожилкования, часто имеющие значительные мощность (до 20–50 м) и протяженность (до 2 км). Как и

кварц-сульфидные золото-полиметаллические тела рудного участка 6, большинство их контролируются мощными зонами смятия близмеридионального простирания и сформировались вслед за становлением верхнепалеозойских интрузий.

Характерная особенность исследованных рудных узлов — наличие реликтов мощных зон окисления. Все отмеченные выше золотоносные рудные зоны с поверхности интенсивно окислены, пирит в них почти полностью выщелочен. По данным бурения, глубина зоны окисления на участке 7 первого рудного узла 200 м, на участке 11 второго рудного узла 60–70 м. Аналогичную мощность зон окисления можно предполагать и для других участков.

В гидрогеологическом отношении оба изученных рудных узла сходны и сравнительно однородны. В их пределах развиты трещинные воды массивов изверженных и метаморфизованных осадочных горных пород, а также грунтовые воды делювиальных и аллювиальных отложений. Водный сток в обоих случаях достаточно велик в связи со слабым испарением и значительным среднегодовым количеством атмосферных осадков. Для обоих районов работ характерен среднегорный таежный ландшафт. Мощность рыхлых отложений на вершинах водоразделов не превышает 1,5–3 м, на склонах увеличивается до 5 м. Мощность аллювиальных отложений в долинах рек достигает иногда 30 м. В долинах рек и на склонах водоразделов отмечается развитие многолетней мерзлоты.

Водные пробы отбирались из всех постоянных и временных источников и водотоков, имевшихся на площади рудных узлов в период проведения работ. Расстояние между точками отбора проб из постоянных водотоков 250 м, прочие источники опробовались по мере встречаемости. Обследована площадь около 650 км², отобрано 2690 водных проб. После доставки проб в полевую лабораторию вода фильтровалась и в фильтрах определялись содержания анионов: сульфат-иона, гидрокарбонат-иона, хлор-иона, фтор-иона и с помощью иономера И-102 измерялись значения рН. Определение анионов проводилось стандартными методами мокрой химии. Анализы содержаний калия, натрия, кальция и магния выполнялись в стационарной лаборатории атомно-абсорбционным методом из фильтратов, подкисленных соляной кислотой до рН 1 для обеспечения устойчивости при транспортировке.

Содержание золота в водных пробах определялось с применением описанной выше методики химико-радиоактивационного анализа. Кроме золота и макрокомпонентов, в водных пробах с площади второго рудного узла определялись также концентрации меди, свинца и цинка. Анализы велись в стационарной лаборатории пламенным атомно-абсорбционным методом с предварительным концентрированием в полевых условиях способом сухого остатка [82]. Коэффициенты вариации результатов определений цинка и меди в среднем 10%. За предел чувствительности взяты концентрации, при которых коэффициенты вариации результатов определений возрастали до 25%: 0,8 мкг/л Zn, 0,9 мкг/л Cu и 6,0 мкг/л Pb. Все полученные данные анализы и измерений обработаны статистически с использованием ЭЦВМ (табл. 11–14).

Как показали анализы, на площадях исследованных рудных узлов распространены слабо минерализованные (20–500 мг/л) гидрокарбонатно-

Таблица 11

Результаты статистической обработки значений рН и содержаний макрокомпонентов (в мг/л) в водных пробах с площади первого рудного узла

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
рН	7,1	1,1	0,9	11,8
Ca	8,8	10,9	3,1	12,9
Mg	1,6	1,4	2,3	7,3
Na	2,6	1,0	0,9	2,6
K	1,0	0,7	2,7	11,4
HCO ₃	75,3	57,8	3,3	14,8
SO ₄	3,9	5,3	1,5	2,5
Cl	6,2	1,5	0,1	2,9

Таблица 12

Результаты статистической обработки содержаний золота (в $\mu\text{г/л}$) в водных пробах с площади первого рудного узла

\bar{X}	S	A	E	e	$\bar{X} \cdot e$	$\bar{X} \cdot e^2$	$\bar{X} \cdot e^3$
21,0	9,9	0,2	1,1	2,7	57,0	153,0	413,0

Таблица 13

Результаты статистической обработки значений рН и содержаний макрокомпонентов (в мг/л) в водных пробах с площади второго рудного узла

Показатели, компоненты	\bar{X}	S	A	E
рН	6,6	0,56	-0,46	4,9
Ca	9,1	13,9	2,1	6,5
Mg	2,3	3,6	3,4	15,6
Na	1,7	1,7	2,4	12,3
K	0,78	0,97	3,1	12,6
HCO ₃	36,0	23,9	1,5	4,5
Cl	8,4	3,5	1,2	4,4
F	1,7	0,55	0,99	3,7

Таблица 14

Результаты статистической обработки содержаний сульфат-иона (в мг/л), цинка и меди (в мкг/л), золота (в $\mu\text{г/л}$) в водных пробах с площади второго рудного узла

Компоненты	\bar{X}	S	A	E	e	$\bar{X} \cdot e$	$\bar{X} \cdot e^2$	$\bar{X} \cdot e^3$
SO ₄	7,2	0,48	0,19	1,9	1,7	12,2	20,8	35,4
Zn	19,0	0,78	0,14	0,16	2,2	41,8	92,0	202,0
Cu	3,8	0,72	2,0	3,2	2,1	8,0	16,8	35,2
Au	9,0	2,3	0,83	0,28	2,4	21,0	52,0	124,0

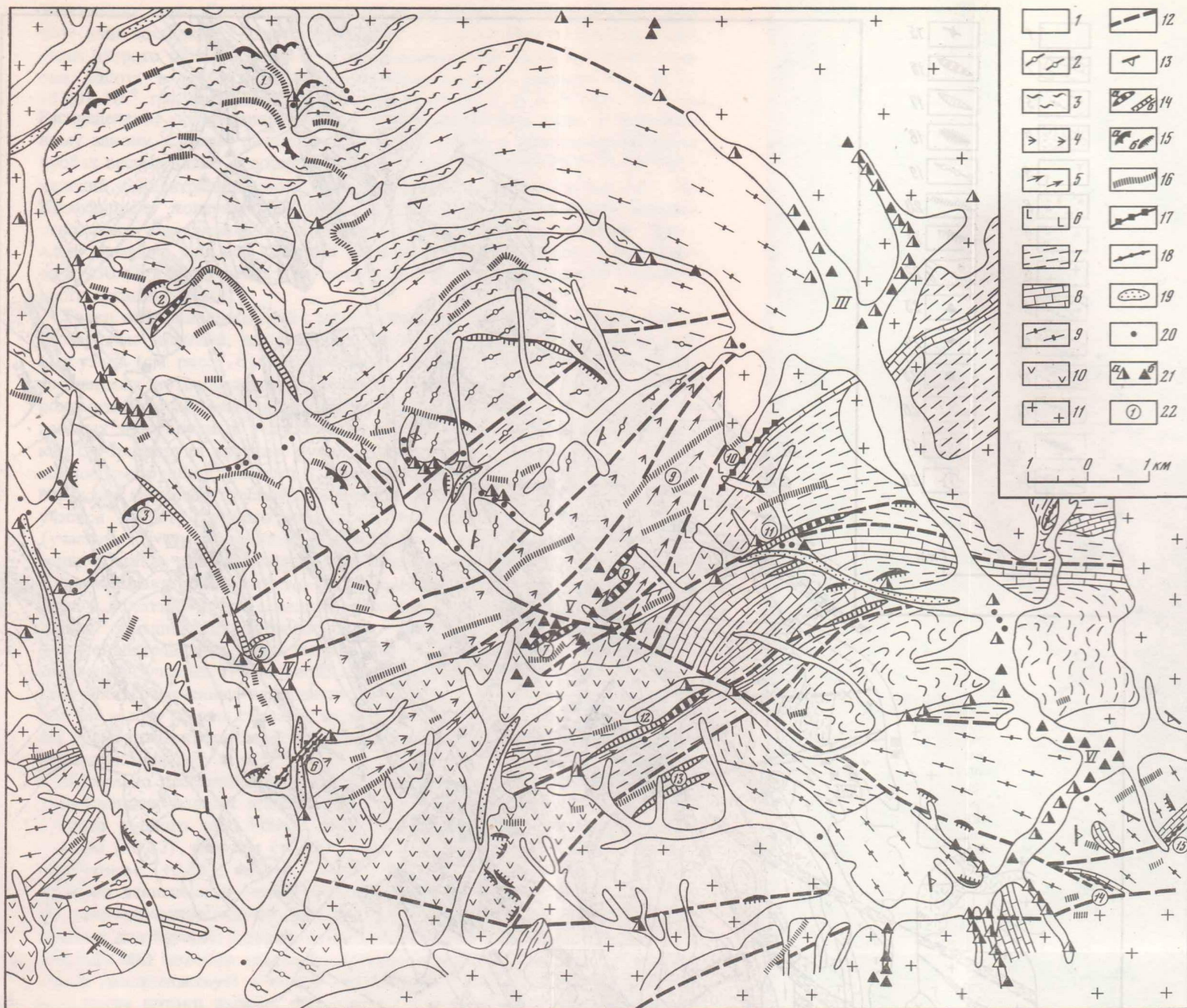


Рис. 7. Структурно-геологическая схема первого рудного узла с данными гидрогеохимического опробования

1 – аллювиальные отложения; 2, 3 – докембрийские лейкократовые гранито-гнейсы (2) и биотитовые и пироксен-амфиболовые гнейсы (3); 4–8 – венд-нижнекембрийские вулканогенно-осадочные образования: сланцеватовидные биотитовые и амфиболовые метапорфиры с прослоями диабазовых порфиритов (4), гранитизированные метапорфиры с участками интенсивной мигматизации (5), измененные диабазы и габбро-диабазы (6), сланцы (7), известняки (8); 9 – раннепалеозойские гнейсовидные граниты и гранодиориты; 10, 11 – верхнепалеозойские диориты, гранодиориты (10), граниты и сиениты (11); 12 – разрывные наруше-

ния; 13 – элементы залегания разнессованных пород; 14, 15 – кварц-сульфидная минерализация в виде зон прожилкования (14) и пологих жил (15) с повышенной концентрацией золота (а) и слабо золотоносных (б); 16 – предполагаемые зоны кварц-сульфидной минерализации по свалам руд, геофизическим и геохимическим аномалиям; 17, 18 – магнетит-гематитовые залежи с пиритом (17) и полисульфидной слабо золотоносной минерализацией (18); 19 – аллювиальные россыпи золота; 20 – знаки золота в шлихах; 21 – гидрогеохимические пробы с содержанием золота выше первого аномального (а) и второго аномального значений (б); 22 – номера рудных участков; римские цифры – номера гидрохимических аномалий

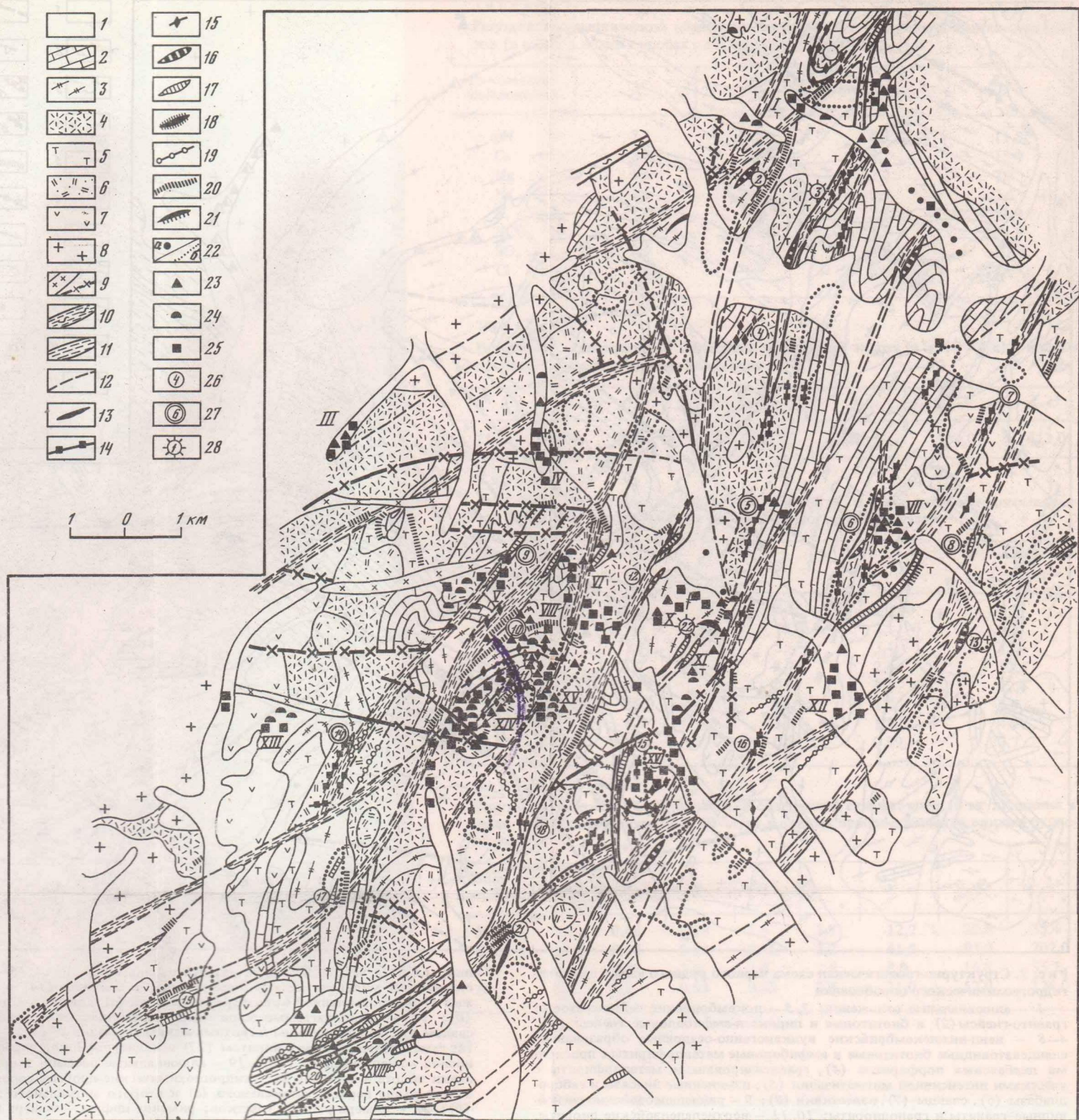


Рис. 8. Структурно-геологическая схема второго рудного узла с данными гидрогеохимического опробования

1 – аллювиальные отложения; 2–5 – нижнекембрийские осадочно-вулканогенные образования: 2 – известняки, 3 – туффиты и туфоалевролиты с прослоями известняков, 4 – туфы и лавы кислого состава, 5 – туфы и лавы среднего состава; 6 – верхнепалеозойские субвулканические образования кислого и среднего состава; 7–9 – палеозойские диориты и гранодиориты (7), сyenиты и граниты (8), дайкообразные тела и дайки сyenит-порфиритов (9); 10, 11 – рудоконтролирующие зоны смятия, прослеженные по горным выработкам (10) и по геофизическим данным (11); 12 – прочие разрывные нарушения; 13–15 – залежи магнетит-гематитовых (13), магнетит-гематит-суль-

фидных (14) и колчеданно-полиметаллических (15) руд; 16 – зоны кварц-сульфидно-полиметаллического оруденения; 17–20 – зоны кварц-пиритового (17), кварц-барит-пирит-халькопиритового (18), кварцевого (19) прожилкования и вкрапленно-прожилковой сульфидной минерализации (20); 21 – кварц-пирит-галенит-сфалеритовые жилы; 22 – знаки золота в шлихах (a) и литогеохимические ореолы рассеяния меди или свинца, цинка и меди (б); 23–25 – гидрогеохимические пробы с аномальным содержанием золота (23), меди (24), цинка (25); 26–28 – рудные участки, в том числе с установленной повышенной концентрацией золота (27) и перспективные на золото (28); римские цифры – номера гидрохимических аномалий



кальциевые воды. Среднее значение рН по пробам с площади первого рудного узла составило 7,1 при колебаниях от 5,2 до 8,5 и по пробам с площади второго рудного узла — 6,6 при вариациях от 5,4 до 8,4. Концентрация золота в водных пробах с площади первого рудного узла $(0,5-952,0) \cdot 10^{-9}$ г/л, с площади второго рудного узла — $(0,5-562,0) \cdot 10^{-9}$ г/л. Распределение содержаний золота в пробах соответствовало логнормальному закону. Среднее фоновое содержание золота в проанализированных пробах весьма низко — порядка $4,0 \cdot 10^{-9}$ г/л; однако в пределах рудопроявлений концентрация золота в водных пробах резко возрастает (рис. 9). Коэффициент контрастности потоков рассеяния, принимаемый равным отношению максимального встреченного содержания к среднему фоновому значению, для вод участков 7 и 8 первого рудного узла приближается к 250. Для вод участка 6 второго рудного узла коэффициент контрастности превышает 140.

Точки отбора водных проб с содержанием золота, превышающим первые аномальные значения, вынесены на структурно-геологические схемы рудных узлов (см. рис. 7, 8). В пределах опробованных районов выделяется ряд аномальных по содержанию в водах золота участков. Большинство гидрорхимических аномалий расположено в непосредственной близости от известных золоторудных участков или на них; некоторые группы аномалий как бы трансируют крупные рудоконтролирующие разломы. Как правило, ассоциации рудных элементов с аномальными концентрациями в водах отражают минералогические особенности рудного источника. Так, рудные участки второго рудного узла с колчеданно-цинковой минерализацией (участок 15) дают повышенное содержание в водных потоках рассеяния только цинка, кварц-сульфидные золото-цинковые с повышенным содержанием халькопирита (участок 6) — аномально высокое содержание цинка, меди и золота. Участки с медно-баритовой минерализацией и предположительно повышенной золотоносностью (участок 20) выявляются высокой концентрацией в водах меди и золота. Свинцово-цинковые колчеданные залежи участка 11 сопровождаются водными ореолами рассеяния только цинка; отмеченные на флангах этого участка гидрорхимические аномалии по золоту и меди связаны, вероятно, с широко развитыми здесь зонами сульфидно-вкрашенной и кварц-сульфидной прожилковой и жильной минерализации.

Интересно проследить корреляционные зависимости в составах проанализированных водных проб. Золото в составах водных проб с площади второго рудного узла обнаруживает значимые корреляционные связи с цинком (+0,42), натрием (+0,43), калием (+0,47), сульфат-ионом (+0,48), хлор-ионом (+0,56), медью (+0,73). Значимые положительные корреляционные зависимости между содержаниями в водных пробах золота и макрокомпонентов (калия, натрия, хлор- и сульфат-ионов) в целом характерны и для первого рудного узла. Четкая корреляционная связь золота в составах вод потоков рассеяния с цинком, сульфат-ионом и особенно с медью свидетельствует о тесном парагенезисе этих компонентов в питающих такие потоки рудных источниках. В частности, это характерно для хорошо изученного рудного участка 6 второго рудного узла с золото-полиметаллическим оруденением. С другой стороны, значимые корреляционные связи золота в водах потоков рассеяния с макрокомпонентами (нат-

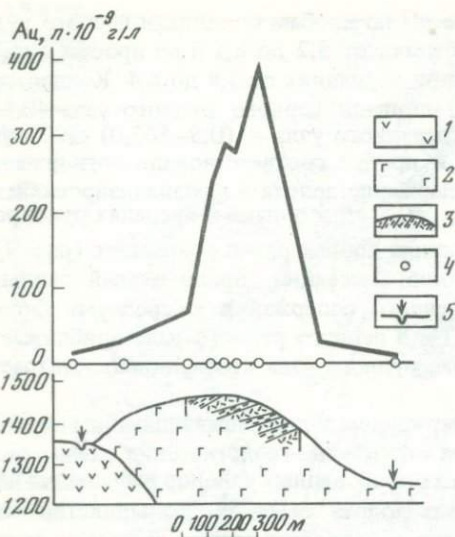


Рис. 9. Распределение содержаний золота в водных пробах по профилю через рудопроявление

1 — диориты; 2 — метаэффузивы среднего состава; 3 — рудная зона; 4 — точки отбора проб; 5 — постоянные водотоки

рием, калием, хлор-ионом) объясняются тем, что при окислении сульфидов в пределах широких ореолов измененных пород вокруг рудных тел происходит интенсивное сернокислотное выщелачивание вмещающих толщ, способствующее активному растворению и выносу в потоки рассеяния упомянутых компонентов.

Таким образом, одновременное повышение содержаний в водах гидрохимических аномалий как золота, так и макрокомпонентов служит признаком их связи с крупными сульфидсодержащими зонами минерализации. В то же время высокая концентрация золота и малое содержание перечисленных выше макрокомпонентов в водах потоков рассеяния — признак наличия оруденения сульфидно-кварцевого жильного типа с повышенной концентрацией золота, что и наблюдалось для ряда участков первого рудного узла с кварцевожильной золоторудной минерализацией.

Для выяснения влияния атмосферных осадков на состав вод потоков рассеяния в вершине ручья, дренирующего участки 7 и 8 первого рудного узла, была организована режимная точка. В этом месте из ручья каждый день отбиралась проба воды и после фильтрования в ней определялись те же компоненты, что и в остальных пробах. Основные результаты этих наблюдений следующие. Во-первых, после дождей резко уменьшался показатель pH водных проб (с 7,3–7,5 до 5,5–5,7). Это связано, вероятно, с тем, что дождевые воды имели кислую реакцию (pH 5,3–5,5). Во-вторых, несмотря на увеличение расходов воды в ручье, общая минерализация водных проб после дождей практически не изменялась. Это может быть объяснено компенсацией разбавления вод в ручье привнесом дождевыми водами легкорастворимых солей из рыхлого чехла коренных пород. Во-третьих, содержание золота в водных пробах после дождей также не снижалось, что может быть связано с нахождением части золота в рыхлых отложениях рудной зоны в какой-либо легкомигрирующей форме. О мигрирующей форме нахождения части золота в рыхлом чехле и в окисленных рудах свидетель-

ствует очень высокая его концентрация в пробах, отобранных в открытых горных выработках на участках 7 и 8, единственным источником питания которых служат дождевые воды. Водные пробы, отобранные после дождей из ранее опробованных и затем пересохших горных выработок, снова дали аномально высокие содержания золота, а также характерных для вод рудопроявлений на участках 7 и 8 калия, натрия, сульфат- и хлор-ионов.

Вместе с тем в пробах вод, отобранных из широко распространенных в районе первого рудного узла россыпей, содержание золота было близко к фоновому. Это позволяет утверждать, что самородное россыпное золото не переходит в заметной мере в водные растворы, и поэтому россыпи золота не образуют водных потоков рассеяния. Несомненно, это явление обусловлено отсутствием в россыпях сульфидов, при окислении которых в коренных источниках образуются компоненты, обеспечивающие его растворение и миграцию как в водные потоки рассеяния, так и на более низкие горизонты рудопроявлений, где во многих случаях возникает зона вторичного обогащения. Именно развитием на рудопроявлениях изученных районов мощной зоны окисления можно объяснить активное формирование связанных с ними водных потоков рассеяния золота. Можно предполагать, что на золоторудных проявлениях со слабо развитой зоной окисления гидрогеохимические ореолы рассеяния золота проявлены слабее или вообще отсутствуют.

Интересным и важным представляется вопрос о протяженности водных потоков рассеяния золота относительно коренных источников их питания. В районе участков 7 и 8 первого рудного узла и участка 6 второго рудного узла они прослеживаются по водотокам и грунтовым водам на расстояние 0,6—1,2 км. Более контрастно имеющиеся водные потоки рассеяния выявляются при расчете удельных содержаний золота в суммарной минерализации водных проб; в этом случае они могут быть обнаружены на расстоянии до 1,5 км от коренного источника. Несомненно, что в каждом конкретном случае протяженность и контрастность водных потоков рассеяния золота на коренных рудопроявлениях будут определяться ландшафтно-климатическими условиями участка работ, его геологоструктурными и гидрогеологическими особенностями.

Таким образом, в условиях Забайкалья на рудопроявлениях золота в районах со среднегорными таежными ландшафтами формируются весьма контрастные и достаточно протяженные водные потоки рассеяния.

Развитие на рудопроявлениях мощной зоны окисления способствует активному формированию связанных с ними водных потоков рассеяния золота.

Фоновое содержание золота в водах находится на уровне $n \cdot 10^{-9}$ г/л. Для уверенного определения золота во всех пробах необходимо применять высокочувствительные методы анализа с предварительным концентрированием золота из водных проб в полевых условиях.

Для более отчетливого выявления слабо контрастных потоков рассеяния золота следует использовать прием расчета удельных содержаний золота в пробах вод по отношению к общей минерализации.

Ассоциации элементов с повышенным содержанием в водах гидрохимических ореолов, как правило, отражают минерально-геохимические особенности рудных источников питания потоков рассеяния.

Повышение концентрации золота в водах в некоторых случаях сопровождается увеличением относительного содержания некоторых макрокомпонентов. Это может быть использовано для оперативного обнаружения водных потоков рассеяния и прогнозирования типа оруденения.

На рудопроявлениях фильтрующиеся через рыхлые отложения дождевые воды обогащаются золотом, что связано, вероятно, с нахождением части золота в зоне окисления в легкомигрирующей форме. Это может быть использовано для проведения гидрогеохимического опробования на золото участков без постоянных водоисточников.

Россыпное самородное золото практически не переходит в водные растворы, в связи с чем имеющиеся в районе работ россыпи не осложняют поиски коренных рудопроявлений золота по водным потокам рассеяния.

Глава IV

ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Значительная подвижность золота в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторождений широко обсуждалась в печати и в настоящее время твердо установлена. Однако, несмотря на большое число имеющихся публикаций, в том числе монографий [9, 49, 100], однозначная интерпретация наблюдаемых фактов до сих пор отсутствует. Из многих предложенных механизмов растворения и переноса золота в пределах зоны окисления наибольшей популярностью пользуются так называемые хлоридная и сульфатная гипотезы [99], согласно которым агентами переноса золота являются хлориды и сернокислые соли трехвалентного железа. Пропагандируется также предположение о переносе золота в виде тиосульфатов [37, 103].

Одной из целей настоящей работы было изучение растворения золота в водных системах, содержащих хлориды, сульфаты окисного железа, тиосульфаты и окислы трехвалентного железа в твердой фазе. Так как большинство авторов считают, что основная форма нахождения золота в сульфидных рудах — самостоятельные выделения [25], исследовалось растворение только металлического золота. Изучались также осаждение золота из водных растворов на характерных для зоны окисления золото-сульфидных месторождений минералах (кварце, гетите, пирите, самородном золоте) в широком диапазоне значений pH и его снятие с указанных твердых фаз различными водными системами.

Для изучения растворения металлического золота поставлен следующий эксперимент. Пластинки химически чистого золота площадью 500 мм² каждая помещали в стеклянные флаконы емкостью 1 л, заполненные различными водными растворами (табл. 15). Все жидкие фазы готовили на дистиллированной воде, концентрация NaCl и Fe₂(SO₄)₃ 50 мг/л. Для исследования влияния на растворение золота окислов трехвалентного железа в твердой фазе в последнюю систему был введен гематит в количестве 50 мг. Продолжительность эксперимента 20 сут. Количество растворившегося золота определяли химико-радиоактивационным методом. Так как в содержащих соединения железа системах имелись осадки

Таблица 15

Растворимость металлического золота в различных системах (в $л \cdot 10^{-8}$ г/л)

Система	H ₂ O	H ₂ O + NaCl	H ₂ O + Fe ₂ (SO ₄) ₃
Без Na ₂ S ₂ O ₃	<u>3,8*</u>	<u>25,0</u>	<u>10,9</u>
	0	0	103,0
С добавкой Na ₂ S ₂ O ₃	<u>64,0</u>	<u>60,0</u>	<u>11,0</u>
	0	0	91,2

* В числителе — содержание золота в жидкой фазе, в знаменателе — в осадке.

Таблица 15 (окончание)

Система	H ₂ O + Fe ₂ (SO ₄) ₃ + NaCl	H ₂ O + Fe ₂ (SO ₄) ₃ + Fe ₂ O ₃
Без Na ₂ S ₂ O ₃	<u>3,4</u>	<u>6,2</u>
	14,8	223,0
С добавкой Na ₂ S ₂ O ₃	<u>70,0</u>	<u>14,0</u>
	93,0	870,0

его окислов и гидроокислов (внесенных в начале эксперимента и образовавшихся вследствие гидролиза солей трехвалентного железа), концентрацию золота определяли отдельно в жидкой и твердой фазах систем. Отделение осадков вели фильтрованием на мембранных фильтрах "Синпор" с диаметром пор 0,3 мкм. Для учета роли в растворении золота тиосульфатов серия экспериментов была повторена с добавлением в каждую систему 1 мг/л Na₂S₂O₃.

Результаты определения растворившегося золота приведены в табл. 15. Растворимость металлического золота в чистой воде весьма мала; она несколько увеличивается при добавлении в воду NaCl (вероятно, вследствие образования хлоридных комплексов золота). Растворимость золота резко возрастает в водных системах, содержащих соли окисного железа, особенно в присутствии гематита. Однако пребывание золота в растворе в этом случае кратковременно — оно осаждается с новообразующейся гидроокисью железа. Уменьшение растворимости золота в системе, содержащей наряду с Fe₂(SO₄)₃ также NaCl, объясняется, по-видимому, образованием комплексных соединений типа Na(FeCl₄) [65]. При внесении в систему избытка окислителя в виде гематита этот эффект подавляется. Как и следовало ожидать [19], добавление в растворы Na₂S₂O₃ приводит к увеличению растворимости золота. Однако, учитывая проблематичность образования значительных концентраций тиосульфатов в условиях зоны окисления [41], основными агентами растворения золота в условиях зоны окисления сульфидных месторождений следует считать, вероятно, соли трехвалентного железа в присутствии в твердой фазе избытка окислителя — гетита и гематита.

Таблица 16

Осаждение золота (в %) из водных растворов минералами при различных значениях рН

рН	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ · nH ₂ O	FeS ₂	Au _{мет}
1	24,0	26,0	36,0	24,0
2	31,0	31,0	35,0	30,0
3	11,0	27,0	23,0	30,0
4	32,0	28,0	44,0	38,0
5	7,0	24,0	34,0	54,0
6	5,0	10,0	31,0	15,0
7	12,0	8,0	26,0	15,0
8	9,0	6,5	25,0	21,0
9	3,0	6,7	24,0	23,0

Таблица 17

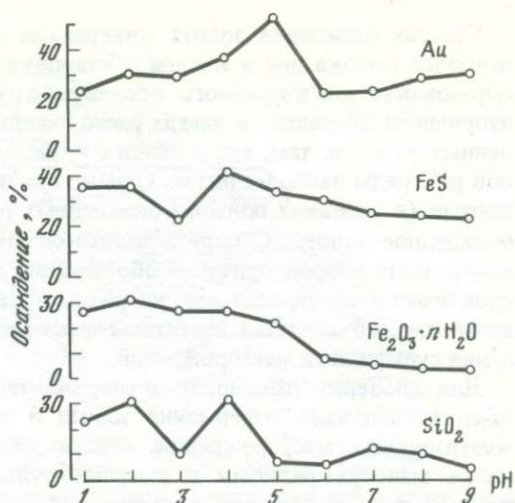
Снятие золота (в %) с минералов различными водными растворами

Система	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ · nH ₂ O	FeS ₂	Au _{мет}
H ₂ O	98,0	87,0	19,0	0,7
H ₂ O + NaCl	89,0	89,0	37,0	7,0
H ₂ O + Fe ₂ (SO ₄) ₃	99,0	90,0	16,4	6,0
H ₂ O + Fe ₂ (SO ₄) ₃ + NaCl	97,0	74,0	31,0	30,0

Осаждение растворенного золота на минералах (кварце, гетите, пирите, самородном золоте) и его снятие с твердой фазы различными водными системами изучали с использованием в качестве трассера долгоживущего циклотронного изотопа ¹⁹⁵Au. Активность этого изотопа определяли на одноканальной гамма-спектрометрической установке по фотопику, 99 кэВ. Концентрация изотопа ¹⁹⁵Au вместе с носителем (стабильным золотом) во всех случаях $1 \cdot 10^{-8}$ г/л. Использованные минералы были раздроблены с отбором фракций 0,25–0,65 мм. Металлическое золото брали в виде проволоки диаметром 0,01 мм. Опыты проводили в стеклянной посуде, навеска твердой фазы 5,0 г (в случае золота 0,17 г), объем водной фазы 50 мл, необходимые значения рН растворов устанавливали добавлением H₂SO₄ и NaOH. Время осаждения 4 сут, после этого измеряли уменьшение активности ¹⁹⁵Au в растворе. Результаты эксперимента приведены в табл. 16.

Опыты показали, что золото из растворов осаждается всеми взятыми минералами. Осаждение происходит во всем исследованном диапазоне значений рН, хотя и снижается в щелочной области. Для взятых минералов характерно наличие в изученном интервале рН максимумов осаждения; у кварца и пирита их два (рис. 10). По степени осаждения золота из растворов на первом месте стоит металлическое золото, на втором — пирит, за ними идут кварц и гетит. Напомним, что в отличие от остальных твердых фаз (5,0 г) навеска золотой проволоки по техническим причинам равнялась 0,17 г. При использовании одинаковых навесок относительные уровни

Рис. 10. Зависимость осаждения золота из водных растворов на различных твердых фазах от значения pH



осаждения на металлическом золоте и других минералах будут отличаться еще больше.

Методика изучения снятия золота с поверхности минералов водными растворами была следующей. Твердые фазы (кварц, гетит, пирит и золотая проволока) помещали в стеклянные колонки, через которые пропускали раствор, содержащий радиоактивное золото (тот же, что и при изучении осаждения). Значение pH раствора для обеспечения возможно большого осаждения ^{195}Au на минералах было установлено равным 4. После пропускания 50 мл раствора колонки промывали 50 мл дистиллированной воды и активность осажденного ^{195}Au измеряли на гамма-спектрометрической установке. Затем через колонки пропускали по 1 л тех же растворов, что и при изучении растворения золота, и вторично замеряли активность изотопа Au. Результаты измерений представлены в табл. 17.

Почти все осажденное на кварце и гетите золото снимается при пропускании через колонку любого из использованных растворов. Значительно труднее снимается золото с пирита. Металлическое золото практически полностью удерживает при промывке осажденное на его поверхности ^{195}Au . Существенное уменьшение активности осажденного на золотой проволоке ^{195}Au было зарегистрировано только при промывке колонки раствором смеси $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и NaCl.

Как следует из изложенного, металлическое золото в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторождений способно растворяться. Агентами растворения и переноса золота могут быть широко распространенные в зоне окисления соли трехвалентного железа; процесс заметно активизируется в присутствии в твердой фазе окислителей — гетита и гематита. Наличие в растворах тиосульфатов способствует растворению металлического золота, но из-за неустойчивости тиосульфатов в условиях зоны окисления практическое значение этой системы не ясно. Пребывание золота в растворе непродолжительно — оно осаждается с новообразующимся гетитом. Осаждается золото и другими характерными для зоны окисления минералами — кварцем, пиритом, самородным золотом.

Степень осаждения золота минералами зависит от значения рН среды; наиболее высока она в кислой обстановке. Это, вероятно, одна из причин образования зон вторичного обогащения руд золотом. Как известно, зоны вторичного обогащения всегда расположены на границе первичных и окисленных руд, т.е. там, где в связи с идущим процессом окисления сульфидов рН среды наиболее низок. Однако при промывании нейтральными растворами (в условиях подзоны окисленных руд) кварц и гетит легко отдают осажденное золото. С пирита золото снимается значительно труднее (что может быть второй причиной образования зон вторичного обогащения), и практически полностью его удерживает самородное золото. Последним, возможно, объясняется известный факт укрупнения золотин в зоне окисления сульфидных месторождений.

Для проверки найденных экспериментальным путем закономерностей нами исследовано содержание золота в трещинно-жильных водах двух золоторудных месторождений, относящихся к характерным для Забайкалья малосульфидному и умеренно-сульфидному жильным типам. По данным технологических исследований, на обоих месторождениях основными носителями золота (до 95%) являются сульфиды; золото в первичных рудах имеет преимущественно мелкодисперсный характер выделений (менее 0,1 мм).

В кайнозой после выхода исследованных месторождений на поверхность на них в неоднократно существовавших за это время благоприятных условиях сформировались линейные коры выветривания и зоны окисления мощностью примерно 300 м с подзонами гипергенного золотого обогащения мощностью около 50 м в нижней части.

Нам представилась возможность не только наблюдать реликт такой зоны окисления в рудном столбе одного из месторождений малосульфидной формации Забайкалья (рис. 11), но и изучить процесс миграции и вторичного накопления в нем золота. Зона окисления была сформирована синхронно с последней поверхностью выравнивания плиоцен-нижнеплейстоценового возраста [47]; с наступлением похолодания и развитием многолетней мерзлоты процессы окисления были практически законсервированы. В результате энергичного поднятия района за четвертичное время и формирования современной гидросети сохранился лишь реликт зоны окисления с видимой мощностью по вертикали 150 м.

Так как в настоящее время в результате подтока тепла по лабиринту подземных горных выработок часть зоны окисления на месторождении оттаивает, оказалось возможным опробование вод из кажежа в выработках с первозаданным геохимическим барьером на палеоуровне грунтовых вод в подзоне вторичного обогащения, а также в подзонах полностью окисленных и выщелоченных руд.

Содержание золота в отобранных водных пробах определяли химикоспектральным методом. Так как во всех пробах имелась взвесь гидроокислов железа, концентрацию золота определяли как в воде, так и во взвеси; для этого гидроокислы железа отделяли фильтрованием через мембранные фильтры "Синпор" с диаметром пор 0,3 мкм. Кроме золота, в водных пробах анализировали содержания основных компонентов и измеряли значения рН. При этом катионы определяли пламенным атомно-абсорбционным методом, анионы — классическими методами мокрой химии.

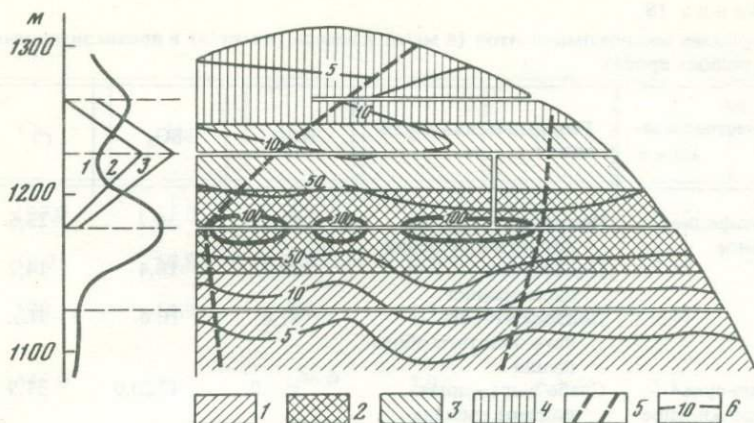


Рис. 11. Зона окисления в рудном столбе одного из месторождений в проекции на вертикальную плоскость

1 — первичные руды; 2—4 — руды подзоны зоны окисления: 2 — вторичного золотого обогащения с макроскопическими самородными выделениями серы, меди и золота, 3 — выщелачивания и окисления, 4 — полного окисления; 5 — контур первичного рудного столба; 6 — изолинии содержания золота в руде (в усл. ед.). Слева на графике — абсолютные отметки и содержание золота (в усл. ед.): 1 — в руде, 2 — в водной взвеси, 3 — в воде

Результаты анализов вод из выработок, находящихся на разных горизонтах, приведены в табл. 18 и на рис. 11 (график слева). Для вод в пределах обедненных руд подзоны полного окисления характерно невысокое содержание золота при резком возрастании его концентрации в водах подзоны выщелачивания. В подзоне вторичного золотого обогащения воды обеззачиваются с одновременным исчезновением ионов сульфата и хлора. Выявленная закономерность объясняется теоретически [69] и подтверждается аналогичным распределением золота во взвеси гидроокислов железа в проанализированных водах.

В нижней штольне (см. рис. 11) водные пробы отобрать не удалось, так как из-за отсутствия восстающих (и связанного с ними подтока теплого воздуха) горные породы не оттаивают и вода отсутствует. Представилась возможность изучить поведение золота в подобной обстановке на умеренно-сульфидном месторождении Забайкалья. Реликт древней зоны окисления на этом крутопадающем жильном месторождении (расположенном также в толще многолетнемерзлых пород) достигает максимальной мощности 200 м, имеет в нижней части между абсолютными отметками 850—900 м подзону вторичного золотого обогащения. В результате размыва современными водотоками на многих жилах древняя зона окисления отсутствует. Уровень грунтовых вод на месторождении в настоящее время сезонно колеблется около абсолютной отметки 500 м. Таким образом, размах современной зоны окисления по вертикали в некоторых жилах превышает 500 м, но выражена она слабо, так как окисление сульфидов идет короткое время при определенном положении горных выработок и, как правило, подавляется многолетней мерзлотой.

Отличительная черта вод зоны окисления от просачивающихся по вы-

Таблица 18

Содержание макрокомпонентов (в мг/л) и золота (в мкг/л) в проанализированных водных пробах

Тип месторождения	Геохимическая обстановка	НСО ₃	SO ₄	Cl
Малосульфидное жильное	Подзона полного окисления	43,9	30,7	25,6
	Подзона выщелачивания	29,3	18,4	14,2
	Подзона вторичного золотого обогащения	97,6	Н. о.	Н.о.
Умеренно-сульфидное жильное	Слабо выраженная подзона выщелачивания	195,0	1320,0	31,9

работкам грунтово-трещинных и техногенных вод — их насыщение взвесью гидроокислов железа, выпадающих на стенках выработок в местах истечения в виде широких рыхлых потоков толщиной до 5 см. Проба подобной воды из одной жилы на абсолютной отметке 560 м показала "ураганное" содержание золота в воде 5,1 мкг/л при концентрации во взвеси гидроокислов железа 0,077 мкг/л. Насыщение вод в древней зоне окисления гидроокислами железа, играющими роль окислителей, при их миграции на более низкие горизонты способствует окислению сульфидов и обогащению вод золотом.

Таким образом, результаты проведенных на золоторудных месторождениях исследований подтверждают предположение о переносе золота в условиях зоны окисления в основном в виде водных растворов, хотя некоторая его часть может мигрировать в сорбированном на гидроокислах железа виде. Наибольшее содержание золота наблюдается в водах подзоны выщелачивания, причем наличие в этих водах взвеси гидроокислов железа способствует переходу золота в раствор. В подзоне вторичного золотого обогащения содержание золота в водах резко падает, что хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований.

Результаты проведенных экспериментов хорошо согласуются и с изложенными в предыдущей главе наблюдениями особенностей поведения золота в водных потоках рассеяния на коренных золоторудных проявлениях. Отмеченная связь между мощностью зоны окисления и активностью формирования водных потоков рассеяния золота легко объяснима: только в таких условиях золото способно переходить в заметных количествах в водные растворы и переноситься на значительные расстояния. В условиях золото-сульфидных рудопоявлений со слабо развитой зоной окисления золото малоподвижно из-за отсутствия необходимых для растворения и переноса агентов (солей и окислов трехвалентного железа), а также осаждения его из вод сульфидами (в частности, пиритом). Отсутствием необходимых для растворения и переноса золота агентов объясняется и малое его содержание в водах в пределах россыпей.

Ca	Mg	Na	K	pH	Au	
					в воде	во взвеси
107,0	27,0	8,8	9,1	4,2	0,22	0,027
50,0	10,8	1,8	2,2	6,8	0,74	0,55
100	13,8	3,6	1,7	5,0	0,13	0,039
546,0	39,2	196,0	3,9	6,3	5,1	0,077

Результаты экспериментов по снятию осажденного на твердых фазах золота разными водными системами хорошо согласуются с фактом нахождения части золота в зоне окисления в легкомигрирующей в водных растворах форме. Появление высокой концентрации золота в дождевых водах после прохождения последних через толщу развитых в пределах рудопроявлений рыхлых отложений зоны окисления объясняется снятием этими водами части золота, осажденного на гидроокислах железа и других минералах зоны окисления.

Глава V

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Очень интересен и важен вопрос о формах нахождения золота в природных водах. Как показано в работах [20, 94, 95], основная часть золота в водах суши находится в истинном растворе в форме анионных комплексов. Эксперименты, проведенные нами с применением методов ультрафильтрации и ионного обмена, подтверждают этот вывод. Исходя из данного положения и используя уравнение Нернста, которое учитывает электрохимический потенциал реакции, значения pH и Eh водных проб и активности лиганд, можно рассчитать предельно возможное содержание анионных комплексов золота в изученных водах. Уравнение Нернста для данного случая имеет вид [21]:

$$Eh = E_0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{[\text{окисленное состояние}]}{[\text{восстановленное состояние}]},$$

Таблица 19

Средние значения Eh (в В), содержание комплексообразующих анионов и золота (в моль/л) в исследованных водах

Опробованные воды	Eh	ОН	Cl	SO ₄ ²⁻	Au
Воды Гусиноозерской впадины	+0,289	1,3 · 10 ⁻⁷	4,0 · 10 ⁻⁴	2,0 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻¹¹
Воды рек	+0,335	2,0 · 10 ⁻⁷	2,2 · 10 ⁻⁴	2,5 · 10 ⁻⁴	3,1 · 10 ⁻¹¹
" озер	+0,302	5,0 · 10 ⁻⁶	3,1 · 10 ⁻³	4,7 · 10 ⁻³	4,1 · 10 ⁻¹¹
Углекислые минеральные воды	+0,256	4,0 · 10 ⁻⁸	2,3 · 10 ⁻⁴	6,4 · 10 ⁻⁴	1,4 · 10 ⁻¹¹
Азотные термальные воды	+0,077	3,2 · 10 ⁻⁶	8,8 · 10 ⁻⁴	4,0 · 10 ⁻³	1,4 · 10 ⁻¹¹
Воды первого рудного узла	+0,460	7,9 · 10 ⁻⁷	1,7 · 10 ⁻⁴	8,1 · 10 ⁻⁵	1,1 · 10 ⁻¹⁰
Воды второго рудного узла	+0,490	1,6 · 10 ⁻⁸	2,4 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻⁴	4,6 · 10 ⁻¹¹

Таблица 20

Уравнения расчета комплексных форм миграции золота в природных водах

Основной комплекс	Стандартный потенциал реакции, В	Расчетное уравнение
Au(SO ₄) ₂ ³⁻	+1,460	$\lg[Au(SO_4)_2^{3-}] = \frac{Eh - 1,460}{0,059} + 2\lg[SO_4^{2-}]$
AuCl ₂ ⁻	+1,151	$\lg[AuCl_2^-] = \frac{Eh - 1,151}{0,059} + 2\lg[Cl^-]$
Au(OH) ₂ ⁻	+0,650	$\lg[Au(OH)_2^-] = \frac{Eh - 0,650}{0,059} + 2\lg[OH^-]$
Au(S ₂ O ₃) ₂ ³⁻	+0,146	$\lg[Au(S_2O_3)_2^{3-}] = \frac{Eh - 0,146}{0,059} + 2\lg[S_2O_3^{2-}]$
Au(SO ₃) ₂ ³⁻	+0,105	$\lg[Au(SO_3)_2^{3-}] = \frac{Eh - 0,105}{0,059} + 2\lg[SO_3^{2-}]$
AuS ⁻	-0,470	$\lg[AuS^-] = \frac{Eh + 0,470}{0,059} + \lg[S^-]$

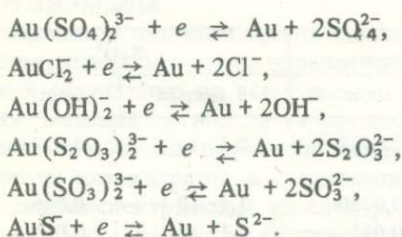
где Eh — окислительный потенциал водной пробы; E₀ — стандартный потенциал реакции; n — число электронов в электродном процессе. В связи с тем, что ионная сила природных вод очень мала [93], при расчетах концентраций в них комплексов золота вместо активностей лиганд можно брать их молярности. Расчет концентраций комплексов проводился для средних составов отдельных типов природных вод Забайкалья. Среднее содержание золота, комплексообразующих анионов и значения Eh для них приведены в табл. 19.

По приведенному выше уравнению Нернста можно рассчитать для исследованных вод соотношение различных валентных форм золота. Преобразовав его в вид [30]:

$$[\text{Au}^+] = [\text{Au}^{3+}] \cdot 10^{-\frac{2(Eh-E_0)}{0,059}},$$

приняв E_0 равным 1,267 В [55] и подставив средние значения Eh для различных типов природных вод Забайкалья (см. табл. 19), можно убедиться, что подавляющая часть золота в исследованных водах находится в одновалентном состоянии. Этот вывод для природных вод с близким к нейтральному показателем окислительно-восстановительной обстановки был сделан ранее в работах [77, 78]. Ввиду этого расчеты концентраций комплексов золота проводились нами только для одновалентного золота.

В работах [77, 79] показано, что в водных растворах при нормальных условиях золото не образует фторидных, карбонатных и гидрокарбонатных комплексов. Электродные процессы для теоретически возможных анионных комплексов золота протекают следующим образом [77]:



Полученные путем преобразования уравнения Нернста расчетные уравнения для теоретически возможных анионных комплексов золота и стандартные электрохимические потенциалы реакций приведены в табл. 20. Опираясь этими уравнениями и соответствующими средними значениями концентраций лиганд и Eh конкретных типов вод (см. табл. 20), найдем возможные концентрации комплексов золота в исследованных водах (табл. 21). Расчеты выполнялись только для трех комплексов золота — гидроксильного, хлоридного и сульфатного. Из-за отсутствия данных о содержаниях других лиганд в исследованных водах (ввиду недостаточной чувствительности методов их определения) аналогичные расчеты для остальных комплексов золота не выполнялись.

В то же время, как видно из табл. 19 и 21, суммарные значения предельно возможных концентраций рассчитанных комплексов золота в исследованных водах намного ниже его реальных содержаний. Однако следует напомнить, что рассчитанные комплексы золота — наименее прочные (см. табл. 20), прочность же комплексов, содержания которых не рассчитывались (сульфидного, сульфитного, тиосульфатного), намного выше. С учетом этого, а также данных табл. 19 и приведенных в табл. 20 формул нами оценены содержания комплексообразующих ионов (S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), необходимые для связывания в комплексы всего золота в исследованных типах вод.

Т а б л и ц а 21

Предельное значение возможных концентраций комплексов золота (в моль/л) в исследованных водах

Опробованные воды	$\text{Au}(\text{OH})_2^-$	AuCl_2^-	$\text{Au}(\text{SO}_4)_2^{3-}$
Воды Гусиноозерской впадины	$1,3 \cdot 10^{-20}$	$4,0 \cdot 10^{-22}$	$5,8 \cdot 10^{-28}$
Воды рек	$1,8 \cdot 10^{-19}$	$7,2 \cdot 10^{-22}$	$5,4 \cdot 10^{-27}$
Воды озер	$3,2 \cdot 10^{-17}$	$4,0 \cdot 10^{-20}$	$5,2 \cdot 10^{-25}$
Углекислые минеральные воды	$3,4 \cdot 10^{-22}$	$3,6 \cdot 10^{-23}$	$1,6 \cdot 10^{-27}$
Азотные термальные воды	$2,0 \cdot 10^{-21}$	$4,9 \cdot 10^{-25}$	$5,9 \cdot 10^{-29}$
Воды первого рудного узла	$3,8 \cdot 10^{-16}$	$5,6 \cdot 10^{-20}$	$7,4 \cdot 10^{-26}$
Воды второго рудного узла	$5,0 \cdot 10^{-19}$	$3,6 \cdot 10^{-19}$	$8,3 \cdot 10^{-25}$

Т а б л и ц а 22

Содержание комплексообразующих анионов, необходимое для связывания золота в исследованных типах вод

Опробованные воды	SO_3^{2-}		$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	
	моль/л	мг/л	моль/л	мг/л
Воды Гусиноозерской впадины	$1,1 \cdot 10^{-7}$	0,0088	$2,4 \cdot 10^{-7}$	0,027
Воды рек	$6,3 \cdot 10^{-8}$	0,0050	$1,4 \cdot 10^{-7}$	0,016
Воды озер	$1,4 \cdot 10^{-7}$	0,011	$3,1 \cdot 10^{-7}$	0,035
Углекислые минеральные воды	$1,9 \cdot 10^{-7}$	0,015	$4,4 \cdot 10^{-7}$	0,049
Азотные термальные воды	$6,5 \cdot 10^{-6}$	0,52	$1,4 \cdot 10^{-5}$	1,57
Воды первого рудного узла	$1,0 \cdot 10^{-8}$	0,00080	$2,3 \cdot 10^{-8}$	0,0026
Воды второго рудного узла	$3,7 \cdot 10^{-9}$	0,00030	$8,3 \cdot 10^{-9}$	0,00093

Оказалось, что для связывания золота в основных типах природных вод Забайкалья в сульфидные комплексы достаточно концентрации сульфид-иона того же порядка, что и содержания золота. Нужные для этой же цели количества сульфит- и тиосульфат-ионов приведены в табл. 22. Они также невелики и вполне реальны для природных вод суши в связи с постоянно идущими процессами ступенчатого окисления сульфидов и восстановления сульфатов [7, 56, 89].

Таким образом, главенствующая роль сульфидных, сульфитных и тиосульфатных комплексов золота в основных типах природных вод Забайкалья несомненна. Однако точная информация о соотношениях концентраций различных комплексов золота в этих водах может быть получена только после разработки имеющих необходимую чувствительность методов анализа для всех комплексообразующих лиганд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены концентрации и особенности поведения золота в основных типах природных вод Забайкалья. Исследовались воды зоны активного водообмена на площади Гусиноозерской межгорной впадины, воды основных рек и озер, наиболее известных углекислых и термальных источников, а также травертины из некоторых источников минеральных вод. Содержание и поведение золота в водных потоках рассеяния золоторудных месторождений изучались на площадях двух рудных узлов Забайкалья.

Специально для выполнения данной работы разработана новая высокочувствительная методика определения золота, обеспечивающая получение точных результатов во всем диапазоне концентраций золота в природных водах. Методика основана на предварительном концентрировании золота в полевых условиях на медицинском активированном угле с последующим анализом концентратов в стационарной лаборатории в двух вариантах — эмиссионно-спектральном на спектрографе с большой дисперсией и инструментальном нейтронно-активационном с полупроводниковым детектором. При химико-спектральном варианте методики чувствительность составляет $1 \cdot 10^9$ г/л, а коэффициент вариации результатов определений на пределе обнаружения — не более 22%. Вследствие простоты аналитической процедуры и доступности применяемого оборудования этот вариант методики рекомендуется для использования при проведении площадных поисковых работ на золото. В химико-радиоактивационном варианте методика обеспечивает достижение чувствительности $2 \cdot 10^{10}$ г/л при коэффициенте вариации не более 15% и предназначается для исследовательских работ. Проведенные с применением в качестве трассера радиоактивного изотопа ^{195}Au эксперименты показали, что золото из водных растворов сильно сорбируется при транспортировке стенками как стеклянной, так и полиэтиленовой посуды, поэтому для получения неискаженных результатов необходимо концентрировать пробы непосредственно на месте отбора.

С использованием разработанной методики химико-радиоактивационного анализа впервые для Забайкалья были установлены концентрации золота в пресных поверхностных водах вне площадей золоторудных месторождений, водах минеральных источников и травертинах на них. Содержание золота в проанализированных пробах вод колебалось в пределах двух порядков — от 0,2 до $17,8 \cdot 10^9$ г/л. Наиболее низкое среднее содержание золота характерно для термальных вод ($2,7 \cdot 10^9$ г/л), углекислых минеральных вод ($2,7 \cdot 10^9$ г/л) и пресных поверхностных вод с площади Гусиноозерской впадины ($2,9 \cdot 10^9$ г/л). Среднее содержание золота в

водах исследованных рек несколько выше ($6,1 \cdot 10^9$ г/л) при еще более высоком среднем содержании золота в водах озер ($8,1 \cdot 10^9$ г/л).

Значимые корреляционные зависимости содержания золота от величин pH, Eh и концентраций макроэлементов для вод зоны свободного водообмена, рек, озер и азотных термальных вод не выявлены. Для углекислых минеральных вод Забайкалья характерны положительные корреляционные связи между концентрациями золота и сульфат-иона (+0,66), а также хлор-иона (+0,63). Средняя концентрация золота по 23 из 24 отобранных и проанализированных проб травертинов составляет $0,6 \times 10^7$ вес. %. Привлекает внимание резко повышенное содержание золота в пробе из базального слоя покрова травертинов на месторождении углекислых минеральных вод Аршан Тункинский ($27,9 \cdot 10^7$ вес. %), что может быть связано с высоким его содержанием в первых порциях вод, образовавших покров травертинов.

Исследования показали, что в условиях Забайкалья на рудопроявлениях золота в районах со среднегорными таежными ландшафтами формируются весьма контрастные и достаточно протяженные водные потоки рассеяния, причем развитие на рудопроявлениях мощной зоны окисления способствует выносу золота в водные потоки рассеяния. Фоновое содержание золота в водах находится на уровне $n \cdot 10^9$ г/л, поэтому для уверенного его определения во всех пробах при поисковых работах применяемая методика анализа должна иметь чувствительность не хуже $1 \cdot 10^9$ г/л. Коэффициент контрастности водных потоков рассеяния, принимаемый равным отношению максимального встреченного содержания золота к среднему фоновому значению, на некоторых участках был близок к 250; протяженность потоков 0,6–1,2 км. При использовании приема расчета удельных содержаний золота в суммарной минерализации водных проб потоки рассеяния могут быть прослежены на расстояние до 1,5 км.

Как правило, ассоциации элементов с повышенным содержанием в водах гидрогеохимических ореолов отражают минерально-геохимические особенности рудных источников питания потоков рассеяния, причем в некоторых случаях повышение концентрации золота в водах сопровождается увеличением относительных содержаний отдельных макрокомпонентов. Это может быть использовано для оперативного обнаружения водных потоков рассеяния и прогнозирования типа оруденения, в том числе его структурно-морфологических особенностей. Фильтрующиеся через рыхлые отложения зоны окисления дождевые воды обогащаются золотом, что связано с нахождением части золота в зоне окисления в легкомигрирующей в водных растворах форме. Благодаря этому гидрогеохимическому опробованию на золото могут подвергаться участки без постоянных водоисточников. В то же время россыпное самородное золото практически не переходит в водные растворы, в связи с чем россыпи не осложняют поиски коренных рудопроявлений золота по водным потокам рассеяния. Таким образом, проведенные исследования подтверждают перспективность применения прямых гидрогеохимических методов при поисках золоторудных месторождений в ландшафтно-климатических условиях Забайкалья.

Проведенное с привлечением экспериментальных методов изучение поведения золота в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторож-

дений показало, что золото в зоне окисления способно растворяться. Агентами растворения и переноса золота могут быть широко распространенные в этой зоне соли трехвалентного железа. Процесс заметно активизируется в присутствии окислителей — гетита и гематита, а также при наличии в растворах тиосульфатов. Из водных растворов золото осаждается как новообразующимся при гидролизе солей железа гетитом, так и другими характерными для зоны окисления минералами — кварцем, пиритом, самородным золотом. Осаждение происходит в широком диапазоне значений pH, но наиболее велико оно в кислой области. Это может являться одной из причин образования зон вторичного обогащения руд золотом. При промывании нейтральными водами кварц и гетит легко отдают осажденное золото, с пирита же оно снимается значительно труднее (что может быть второй причиной образования зон гипергенного обогащения руд), и практически полностью удерживает его самородное золото.

Исследования содержания золота в трещинно-жильных водах зон окисления двух золоторудных месторождений Забайкалья, проведенные для проверки найденных экспериментальным путем закономерностей, подтвердили предположение о переносе золота в условиях зоны окисления в основном в виде водных растворов, хотя некоторая его часть может мигрировать в сорбированном на гидроокислах железа виде. Наибольшее содержание золота наблюдается в водах подзоны выщелачивания, причем наличие в этих водах взвеси гидроокислов железа способствует переходу золота в раствор. В подзоне вторичного золотого обогащения содержание золота в водах резко падает, что хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований.

Полученные экспериментальным путем данные хорошо согласуются с результатами изучения водных потоков рассеяния золота на площадях рудных узлов. Выявленная связь между активностью формирования водных потоков рассеяния золота и наличием на рудопрооявлениях развитой зоны окисления объясняется тем, что только в условиях зоны окисления золото способно в заметных количествах переходить в водные растворы. Получает объяснение и факт обогащения дождевых вод золотом при их прохождении через рыхлые отложения в пределах рудопрооявлений: при этом происходит снятие сорбированного золота с минералов зоны окисления. Отсутствие повышенного содержания золота в водах россыпей — следствие того, что компактное самородное золото не только очень слабо растворяется в нейтральных водах, но и само активно осаждает золото из этих вод.

Путем расчета установлено, что подавляющая часть золота в изученных водах находится в одновалентном состоянии. Проведенные с использованием уравнения Нернста и констант нестойкости анионных комплексов золота расчеты форм нахождения золота показали, что для всех исследованных типов природных вод Забайкалья суммарные значения предельно возможных концентраций его гидроксильных, хлоридных и сульфатных комплексов намного ниже наблюдаемых содержаний золота в этих водах. Расчет концентраций сульфидных, сульфитных и тиосульфатных комплексов не проводился из-за отсутствия данных о содержаниях соответствующих лиганд, но показано, что необходимые для связывания золота в комплексы количества сульфидных, сульфитных и тиосульфатных ионов весьма невели-

ки и вполне реальны для исследованных вод. Более точная информация о соотношениях концентраций различных комплексов золота в природных водах Забайкалья может быть получена после разработки достаточно чувствительных методов анализа для всех образующих комплексы лиганд.

Практическая ценность настоящей работы в том, что при ее выполнении на площадях исследованных рудных узлов может быть открыт ряд новых перспективных на золото участков. Проверка выявленных аномалий традиционными геологопоисковыми методами, проведенная подразделениями Бурятского территориального геологического управления, доказала связь ряда из них с коренной золоторудной минерализацией, не известной ранее.

Несомненную практическую ценность имеет и разработанная высокочувствительная методика определения золота в природных водах. Ее химико-спектральный вариант благодаря простоте аналитической процедуры и доступности оборудования может использоваться для массового анализа водных проб при площадных поисковых работах на золото гидрогеохимическими методами и обеспечивает точное определение золота во всех отбираемых пробах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдулаев А.А., Захидов А.Ш., Ким А.П.* и др. Нейтронно-активационный анализ элементного состава природных вод. — В кн.: Активационный анализ в народном хозяйстве. Ташкент: Фан, 1974, с. 79–85.
2. *Албагачева В.А.* Условия формирования источников типа акротерм в Северном Забайкалье. М.: Недра, 1965. 77 с.
3. *Албагачева В.А.* К гидрогеохимии золота в природных обстановках. — Тр. ВНИИ гидрогеологии и инженерной геол., 1975, вып. 79, с. 67–81.
4. *Албул С.П.* Рудопоисковая гидрогеохимия. М.: Ун-т дружбы народов, 1969. 344 с.
5. *Албул С.П., Миллер А.Д.* О возможности поисков золоторудных месторождений по гидрогеохимическим ореолам рассеяния. ВИТР, 1959. 27 с. (Тр.; Вып. 2).
6. *Алекин О.А.* Содержания золота в водах бассейна р. Сутар. — Тр. треста "Золоторазведка", 1938, вып. 1, с. 40–47.
7. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
8. *Алекин О.А., Семенов А.Д.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 267 с.
9. *Альбов М.Н.* Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 215 с.
10. *Аносова Г.Б., Пак А.С., Жбанов Э.Ф.* Гидрогеохимические ореолы рассеяния золото-сульфидных проявлений Витимского плоскогорья. — В кн.: Гидрогеохимия подземных вод Забайкалья. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1976, с. 68–74.
11. *Анферов Ю.А., Звягин В.Г., Росляков Н.А.* и др. Золото в породах, растениях и водах района Дарасунского месторождения. — В кн.: Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. Чита: Забайкал. фил. Геогр. о-ва СССР, 1968, с. 146–149.
12. *Багашев И.А.* Минеральные источники Забайкалья. М.: 1905. 117 с.
13. *Борисенко И.М.* Минеральные воды Западной Бурятии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Улан-Удэ, 1971. 21 с.
14. *Боровицкий В.П.* Опыт применения гидрогеохимических методов поисков рудных месторождений в условиях островной мерзлоты Бурятской АССР. — В кн.: Тр. Межвед. совещ. по гидрогеохимическому методу поисков рудных месторождений. Томск: ТГУ, 1962, с. 183–187.
15. *Боровицкий В.П., Шемякин В.Н.* Растворимость золота из руд Куранских месторождений Алдана. — Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1965, вып. 48, № 2, с. 69–76.
16. *Боровицкий В.П., Миллер А.Д., Шемякин В.Н.* Определение малых количеств золота в природных водах Алданского района. — Геохимия, 1966, № 4, с. 483–488.
17. *Бродская Н.И., Вычужанина И.П., Миллер А.Д.* Определение широкого круга микроэлементов в природных водах при гидрогеохимических поисках предварительной сорбцией на смешанном сорбенте. — Журн. прикл. химии, 1967, № 4, с. 802–805.
18. *Бродский А.А.* Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. М.: Недра, 1964. 258 с.
19. *Бусев А.И., Иванов В.М.* Аналитическая химия золота. М.: Наука, 1973. 264 с.
20. *Воротников Б.А., Николаева Н.М., Пирожков А.В.* О формах нахождения золота в водах Южно-Енисейского района. — Геология и геофизика, 1973, № 11, с. 37–42.
21. *Гаррелс Р.М., Крайст Ч.А.* Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.
22. *Герасимов А.П.* Минеральные источники южной части Забайкальской

- области. — В кн.: Естественные производительные силы России. Пг., 1920, с. 98—106.
23. Гидрогеология СССР, Т. XXI. Читинская область. М.: Недра, 1969. 443 с.
 24. Гидрогеология СССР. Т. XXII. Бурятская АССР. М.: Недра, 1970. 432 с.
 25. *Годовиков А.А.* Минералогия. М.: Недра, 1975. 520 с.
 26. *Голева Г.А.* Гидрогеохимические поиски скрытого оруденения. М.: Недра, 1968. 292 с.
 27. *Голева Г.А.* Гидрогеохимия золоторудных месторождений Балейского района. — Геология руд. месторождений, 1968, № 2, с. 47—59.
 28. *Голева Г.А.* Гидрогеохимический метод поисков золоторудных месторождений в Узбекистане. — В кн.: Методика и техника геохимических поисков рудных месторождений. Фрунзе: Илим, 1975, с. 228—229.
 29. *Голева Г.А.* Гидрогеохимия рудных элементов. М.: Недра, 1977. 216 с.
 30. *Голева Г.А., Кривенков В.А., Гудзь З.Г.* Геохимические закономерности распределения и формы нахождения золота в природных водах. — Геохимия, 1970, № 6, с. 744—745.
 31. *Горжевский Д.И.* О золотоносности свинцово-цинковых месторождений. — В кн.: Вопросы формирования и размещения месторождений золота и платины. М.: ЦНИГРИ, 1970, с. 98—108.
 32. *Еникеев Н.И., Адылов Б.Б., Ан В.А.* Микрокомпонентный состав подземных вод некоторых золоторудных месторождений Узбекистана. — В кн.: Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископаемых. Томск, 1974, с. 125—128.
 33. *Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М.* и др. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1969. 784 с.
 34. *Захидов А.Ш., Гуреев Е.С., Абдулаев А.А., Мамадалиев Н.И.* Радиоактивационное определение золота в природных водах с экстракционно-хроматографическим выделением. — Изв. АН УзССР. Сер. физ. мат. наук, 1975, № 4, с. 64—66.
 35. *Звягинцев О.Е.* Геохимия золота. М.: Изд-во АН СССР, 1941. 114 с.
 36. *Ивсен Ю.П., Левин В.Н.* Генетические толщии золотого оруденения и золоторудные формации. — В кн.: Золоторудные формации и геохимия Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975, с. 5—120.
 37. *Каковский И.А.* К теории гидрометаллургии благородных металлов. — Изв. АН СССР. Сер. Геология, 1957, № 7, с. 58—64.
 38. *Капранов С.Д., Воротников Б.А.* Некоторые результаты гидрогеохимических исследований в Восточном Забайкалье. — В кн.: Опыт разработки гидрогеохимических методов поисков рудных месторождений. М.: ВСЕГИНГЕО, 1959, с. 47—53.
 39. *Кобзарь А.П.* Некоторые гидрогеохимические особенности одного золоторудного месторождения Северного Казахстана. — В кн.: Геология. Алма-Ата: Наука, 1975, с. 120—123.
 40. *Кобзарь А.П., Егоренков Е.С.* К вопросу поисков золота гидрогеохимическим методом. — В кн.: Геология и разведка недр. Алма-Ата: Наука, 1976, с. 72—77.
 41. *Колонин Г.Р.* О тиосульфатной гипотезе переноса тяжелых металлов. — Геология и геофизика, 1968, № 4, с. 129—134.
 42. *Колотов Б.А., Спасская Т.С., Миначева Л.И., Вагнер Б.Б.* Кислый сорбционный барьер для золота в зоне гипергенеза рудных месторождений. — Геохимия, 1975, № 12, с. 1898—1900.
 43. *Колпакова Н.А., Стромберг А.Г., Каплин А.А.* Методика определения нанogramмовых количеств ртути, серебра и золота в природных водах, рудах и свинце высокой чистоты методом пленочной полярографии с накоплением. — В кн.: Анализ и технология благородных металлов. М.: Металлургия, 1971, с. 106—111.
 44. *Коновалов Е.Н.* О гидрогеохимическом методе поисков золота. — Сов. геология, 1941, № 2, с. 33—35.
 45. *Корганова Т.С., Поляков В.А.* Химико-спектральное определение золота в природных водах. — В кн.: Современные методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1970, с. 84—90.
 46. *Коренман И.М.* Аналитическая химия малых концентраций. М.: Химия, 1967. 168 с.

47. Корнутова Е.П., Хотина Е.Б., Заморуев В.В. Геоморфологическое строение Забайкалья. — В кн.: Проблемы геоморфологии и неотектоники орогенных областей Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1968, с. 178—187.
48. Крайнов С.Р. Геохимия элементов в подземных водах. М.: Недра, 1973, 295 с.
49. Крейгер В.М., Аристов В.В., Волынский И.С. и др. Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 268 с.
50. Кренделев Ф.П., Погребняк Ю.Ф., Мельникова Р.Д. Содержания золота в океанических водах, водной взвеси и иловых водах донных осадков Тихого океана. — Геохимия, 1977, № 3, с. 439—445.
51. Кренделев Ф.П., Погребняк Ю.Ф., Моргунов Ю.А., Толочко В.В. Водные ореолы рассеяния золота на коренных рудопроявлениях в условиях Забайкалья. — В кн.: Гидрогеохимия подземных вод Забайкалья. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1976, с. 5—17.
52. Кропачев Г.К. Распространение золота в природе. — Сов. золотопром-сть, 1935, № 8, с. 46—60.
53. Кулебакин В.Г., Росляков Н.А., Цимбалист В.Г. и др. О роли тионовых бактерий в гипергенной миграции и концентрации золота. — Тр. ИГиГ СО АН СССР. 1977, вып. 370, с. 75—86.
54. Кюреган Э.А., Эксузян Ц.О. О содержании золота в подземных водах некоторых районов Армянской ССР. — Зап. Арм. отд-ния Всесоюз. минерал. о-ва, 1974, вып. 7, с. 111—119.
55. Латимер В. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 198 с.
56. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1974. 166 с.
57. Макаров В.Н. Гидрогеохимия золото-серебряных месторождений северо-востока Якутии. — В кн.: Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископ. Томск, 1974, с. 85—90.
58. Маслов И.А., Лукницкий В.Н. Справочник по нейтронному активационному анализу. Л.: Наука, 1971. 312 с.
59. Меньяйлов А.А., Тимарбаева К.М., Андриевский Е.Н. и др. Перспективы применения комплекса ядерно-физических и ядерно-химических методов анализа при гидрогеохимических исследованиях. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1976, № 6, с. 106—116.
60. Миков А.Д. О скорости растворения золота в гипергенных условиях. — Изв. Том. политехн. ин-та, 1976, вып. 289, с. 59—61.
61. Миллер А.Д., Фишер Э.И. Растворение золота в растворах $FeCl_3$ и осаждение его на пирите (лабораторная модель). — Геохимия, 1974, № 3, 411—417.
62. Минеральные воды южной части Восточной Сибири: Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 346 с.
63. Минеральные воды южной части Восточной Сибири: Минеральные источники, скважины, вскрывающие минеральные воды и минеральные озера. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 200 с.
64. Михайлов М.П., Толстихин Н.П. Минеральные источники и озера Восточной Сибири, их гидрогеология, бальнеохимия и курортологическое значение. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1946. 201 с.
65. Некрасов Б.А. Основы общей химии. М.: Химия, 1970. Т. 3. 415 с.
66. Нестеренко Г.В., Осинцев С.Р., Воротников Б.А. Вторичные ореолы и потоки рассеяния на Итакинском золоторудном месторождении в Северо-Восточном Забайкалье. — Зап. Забайкал. фил. Геогр. о-ва СССР, 1974, вып. 102, с. 223—234.
67. Нестеренко Г.В., Осинцев С.Р., Воротников Б.А. и др. Золото в породах и водах Итакинского рудного поля (Северо-Восточное Забайкалье). — В кн.: Материалы по минералогии, геохимии и петрографии Забайкалья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1972, с. 69—75.
68. Нестеров Н.В. Вторичная зональность золоторудных месторождений Якутии. — Изв. Том. политехн. ин-та, 1970, вып. 239, с. 76—87.
69. Нестеров Н.В. Ведущая роль процессов гипергенеза при концентрации золота в месторождениях Тихо-

- океанского рудного пояса. — В кн.: Вопросы металлогении и зональности месторождений. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974, с. 36–41.
70. *Обручев В.А.* Орографический и геологический очерк Юго-Западного Забайкалья (Селенгинская Даурия). СПб., 1914. 214 с.
71. *Овчинников А.М.* Минеральные воды. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 375 с.
72. *Овчинников А.М.* Гидрогеохимия. М.: Недра, 1970. 198 с.
73. *Озернова Н.Л., Волкова З.Г.* Колориметрическое определение золота при помощи бриллиантового зеленого в подземных водах. — В кн.: Новые методы анализа состава подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1967, с. 38–43.
74. *Пампура В.Д., Хлебников А.А., Цыханский В.Д.* Микроколичества золота в современных гидротермах Камчатки. — В кн.: Ежегодник Ин-та геохимии СО АН СССР, 1975. Иркутск, 1976, с. 315–317.
75. *Пахомова К.С., Высоцкая Т.А.* Определение золота при комплексных геохимических исследованиях. — В кн.: Геохимические исследования золота и редких элементов в Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 75–80.
76. *Пережогин Г.А., Алимарин И.П.* Нейтронно-активационное определение золота в горных породах и минералах. — Журн. аналит. химии, 1965, № 8, с. 793–798.
77. *Пецевичкий Б.И.* Эффекты процессов замещения в комплексных соединениях золота и платины: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. Новосибирск. 1969. 43 с.
78. *Пецевичкий Б.И., Аношин Г.Н., Эренбург А.М.* О химических формах золота в морской воде. — ДАН СССР, 1965, 162, № 4, с. 915–917.
79. *Пецевичкий Б.И., Эренбург А.М., Белеванцев В.И., Казаков В.П.* Устойчивость комплексных соединений золота в водных растворах. — Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук, 1970, № 9, с. 75–82.
80. *Плетнев С.А.* К вопросу растворения золота в солях окиси железа. — Сов. геология, 1946, № 17, с. 47–51.
81. *Погребняк Ю.Ф., Куликова А.Б.* Химико-радиоактивационный метод определения золота в горных породах и природных водах. — В кн.: Новые методы исследования минерального сырья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1976, с. 16–24.
82. *Погребняк Ю.Ф., Загузин В.П., Сусленкова Р.М.* Определение макро- и микроэлементов в горных породах и природных водах атомно-абсорбционным спектральным методом. — В кн.: Новые методы исследования минерального сырья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1976 с. 24–29.
83. *Погребняк Ю.Ф., Загузин В.П., Цыренова А.А.* Оптимальные условия определения макро- и микроэлементов на отечественном атомно-абсорбционном спектрофотометре "Са-турн". — В кн.: Ядерно-физические методы. Новосибирск: ИГГ СО АН СССР, 1976, с. 96–102.
84. *Погребняк Ю.Ф., Елисеев А.В., Куликова А.Б., Мельникова Р.Д.* Концентрация золота в минеральных водах Забайкалья. — В кн.: Гидрогеохимия подземных вод Забайкалья. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1976, с. 28–35.
85. *Поликарпочкин В.В.* Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск: Наука, 1976. 407 с.
86. *Поликарпочкин В.В., Волоскова С.Е., Константинова И.М., Коротаева И.Я.* Применение гидрогеохимического метода при поисках золоторудных месторождений в Ленском районе. — В кн.: Ежегодник Ин-та геохимии СО АН СССР, 1973. Новосибирск: Наука, 1974.
87. *Попова Л.М.* Применение спектрохимического метода определения золота при гидрогеохимических исследованиях. — Геология и геофизика, 1971, № 5, с. 135–138.
88. *Посохов Е.В.* Формирование химического состава подземных вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1969, 334 с.
89. *Посохов Е.В.* Общая гидрогеохимия. Л.: Недра, 1975. 208 с.
90. *Посохов Е.В., Толстихин Н.И.* Минеральные воды. Л.: Недра, 1977. 240 с.
91. *Разин Л.В., Рожков И.С.* Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа. М.: Наука, 1966. 254 с.
92. *Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю.* Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. 488 с.
93. *Росляков Н.А.* Зона окисления сульфидных месторождений Западного

- Алтай. Новосибирск: Наука, 1970, 254 с.
94. *Росляков Н.А.* Формы нахождения золота в поровых растворах зон окисления. — В кн.: Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископаемых. Томск: ТГУ, 1974, с. 176–181.
 95. *Росляков Н.А., Непеина Л.А., Цимбалист В.Г.* и др. Формы нахождения и миграции золота в коре выветривания золото-сульфидных месторождений. — В кн.: Геохимия и условия образования руд золота и редких металлов. Новосибирск: Наука, 1972, с. 125–138.
 96. *Росляков Н.А., Поликарповкин В.В., Нестеренко Г.В.* и др. Условия гипергенной миграции и концентрации золота. — Геология и геофизика, 1977, № 6, с. 99–108.
 97. *Салье О.В.* Гидрохимический метод поисков золота в Алданском районе. — Зап. Ленингр. горного ин-та, 1965, 48, вып. 2, с. 147–159.
 98. *Скрипчук В.Г., Дзюба Л.Н.* Определение золота с помощью дитизона и бриллиантового зеленого в природных водах. — В кн.: Гидрохимия Урала. Л.: Гидрометеозидат, 1976, с. 91–98.
 99. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1969. 685 с.
 100. *Смирнов С.С.* Зона окисления сульфидных месторождений. М.; Л.: ОНТИ, 1963. 292 с.
 101. *Талипов Р.М., Карабаев К.К.* Проследивание зон скрытых разломов по аномалии золота в воде. — В кн.: Сейсмология Узбекистана. Ташкент: Фан, 1975, с. 136–141.
 102. *Ткачук В.Г., Яснитская Н.В., Анкудинова Г.А.* Минеральные воды Бурят-Монгольской АССР. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1957. 152 с.
 103. *Тюрин Н.Г., Каковский И.А.* О поведении золота и серебра в зоне окисления сульфидных месторождений. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1960, № 2, с. 6–13.
 104. *Тюрин Н.Г., Холманский Ю.Б.* Об условиях образования гипергенных месторождений золота и серебра. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1962, № 6, с. 70–78.
 105. *Удодов П.А., Онуфриенко И.П., Париков Ю.С.* Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири: Методика и результаты работы. М.: Высш. школа, 1962. 190 с.
 106. *Удодов П.А., Шабынин Л.Л., Расказов Н.М.* и др. Опыт применения гидрогеохимического метода поисков золоторудных месторождений в Сибири и Средней Азии. — Зап. Забайкал. фил. Географ. о-ва СССР, 1974, вып. 102, с. 115–122.
 107. *Удодов П.А., Шварцев С.Л., Рассказов Н.М.* и др. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М.: Недра, 1973. 184 с.
 108. *Флоренсов Н.А.* Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 237 с.
 109. *Хокс Х.Е., Узбб Д.С.* Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М.: Мир, 1964, 220 с.
 110. *Цимбалист В.Г.* Спектрохимический метод определения ультрамалых количеств золота. — В кн.: Анализ и технология благородных металлов. М.: Металлургия, 1971, с. 310–317.
 111. *Черняев А.М., Черняева Л.Е., Еремеева М.Н., Андреева М.Н.* Гидрогеохимия золота. — Геохимия, 1969, № 4, с. 49–459.
 112. *Чухров Ф.В.* О миграции золота в зоне окисления. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 4, с. 54–67.
 113. *Шабынин Л.Л.* Особенности методики гидрогеохимических исследований некоторых золоторудных месторождений Забайкалья, Кузнецкого Алатау и Горного Алтая: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук, Томск, 1967. 19 с.
 114. *Шабынин Л.Л.* Некоторые экспериментальные данные о миграции золота в гипергенных условиях. — В кн.: Геология золоторудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1970, с. 137–141.
 115. *Шварцев С.Л.* Золото в подземных водах Западно-Сибирского артезианского бассейна. — В кн.: Вопросы геохимии подземных вод в связи с поисками рудных полезных ископаемых. Томск: Том. политех. ин-т, 1974, с. 191–193.
 116. *Шер С.Д.* Металлогения золота. М.: Недра, 1974. 254 с.
 117. *Chao T.T.* Determination of gold in the nanopgram range by anion exchange and atomic absorption spectrophotometry. — Econ. Geol., 1969, 64, N 2, p. 287–290.

118. *Cloke P., Kelly W.* Solubility of gold under inorganic supergene conditions. — *Econ. Geol.*, 1964, 59, p. 259–270.
119. *Cosling A.W., Jenne E.A., Chao T.T.* Gold content of natural waters in Colorado. — *Econ. Geol.*, 1971, 66, N 2, p. 309–313.
120. *Fishman M.I., Erdman D.E.* Water analysis. — *Anal. Chem.*, 1975, 47, N 5, p. 334–361.
121. *Friese F.W.* The transportation of gold. — *Econ. Geol.*, 1951, 46, N 8, p. 1129–1140.
122. *Haber F., Jännicke O.* Rheinwasser. — *Ztschr. angew. Chem.*, 1925, 147, N 2, S. 140–157.
123. *Kelly W., Cloke P.* The solubility of gold in hear – surface environments. — *Pap. Michigan Acad. Sci. Arts and Letters*, 1960, 46, N 1, p. 19–30.
124. *Krauskopf K.B.* The solubility of gold. — *Econ. Geol.*, 1957, 46, N 8, p. 1141–1147.
125. *Lieser K.H., Calmano W., Heuss E., Neitzert V.* Neutron activation as a routine method for determination of trace elements in water. — *J. Radionucl. Chem.*, 1977, 37, N 2, p. 717–726.
126. *Melnikova R.D., Anoshin G.N., Gilbert E.N., Veriovin G.V.* Neutron activation determination of gold and palladium in natural waters. — In: *Intern. 76. Sum. Pap., Prague, 1976: Plenary Lect. Prague, 1976*, p. 93.
127. *Monien H.* Inversvoltametrische Bestimmung kleiner Goldmengen über die Messung der Peakpotenziale. — *Ztsch. anal. Chem.*, 1968, 237, N 6, S. 409–419.
128. *Schiller P., Cook B.* Determination of trace amounts of gold in natural sweet waters by non-destructive activation analysis after preconcentration. — *Anal. Chim. acta*, 1971, 54, N 2, p. 364–368.
129. *Zlatkus A., Bruening W., Bayer E.* Determination of gold in natural waters at the parts per billion level by chelation and atomic absorption spectrometry. — *Anal. Chem.*, 1969, 41, N 12, p. 1692–1695.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I	
Методы определения содержания золота в природных водах	8
Глава II	
Концентрации золота в пресных поверхностных и подземных минеральных водах Забайкалья	12
Глава III	
Золото в водных потоках рассеяния золоторудных месторождений	23
Глава IV	
Поведение золота в условиях зоны окисления золото-сульфидных месторождений	32
Глава V	
Формы нахождения золота в природных водах Забайкалья	39
Заключение	43
Литература	47

Юрий Федорович Погребняк

ЗОЛОТО
В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ
ЗАБАЙКАЛЬЯ

Утверждено к печати
Геологическим институтом
Бурятского филиала СО АН СССР

Редактор *А.И. Жилина*
Редактор издательства *Т.А. Николаева*
Художник *С.А. Смирнова*
Художественный редактор *М.В. Версоцкая*
Технический редактор *Г.И. Астахова*
Корректор *О.А. Пахомова*

ИБ № 24162

Подписано к печати 12.05.83. Т — 09335
Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 1
Печать офсетная. Усл.печ. 3,5 + 0,3 вкл.
Усл.кр.-отт. 4,1. Уч.-изд.л. 4,2
Тираж 1000 экз. Тип.зак. 320
Цена 65 коп.

Издательство "Наука",
117864 ГСП-7, Москва, В-485,
Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"

готовятся к печати

Биотит-гранат-кордиеритовые равновесия и эволюция метаморфизма/ Л.Л. Перчук, И.В. Лаврентьева, Л.Я. Аранович, К.К. Подлесский.

В монографии приводятся результаты экспериментальных калибровок биотит-гранатового и кордиерит-гранатового термометров и кордиерит-силлиманит-кварцевого барометра. Они использованы для оценки термодинамических параметров эволюции метаморфизма пород Ханкайского, Алданского, Чогарского массивов и ряда других формаций. В работе обобщен оригинальный материал по микрозондовому определению составов равновесных минералов.

Карпухина В.С., Баранов Э.И. Формы нахождения элементов-индикаторов в ореолах колчеданных месторождений

В книге рассмотрены формы нахождения элементов-индикаторов в эндогенных ореолах колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая и Кавказа, закономерности изменения этих форм и возможности их использования при поисках и оценке колчеданного оруденения.

Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий.

В монографии устанавливаются эволюционные ряды метеоритов и закономерности изменения их состава в части петрогенных элементов, элементов-примесей и изотопов гелия и кислорода. Доказывается магматическая природа метеоритов, по аналогии с которыми рассматриваются образование планет земной группы и их первичное магматическое расслоение.

Негрей Е.В. Петрология верхнепалеозойских гранитов Центрального Казахстана.

В монографии рассматриваются закономерности развития гранитного магматизма Центрального Казахстана на заключительном этапе развития региона. На примере трех гранитных

комплексов — калдырминского, рудоносного акчатауского и кызылрайского — разбираются вопросы их внутреннего геологического строения и эволюции минерального и химического состава пород в зависимости от флюидного режима. Обсуждается вопрос об объеме и структуре понятия "интрузивный комплекс". Приведены данные радиологического возраста пород, составы полевых шпатов, биотитов, магнетитов, содержания рубидия и элементов-примесей.

Тугаринов А.И. Эволюция земной коры и процессы рудообразования.

Книга содержит избранные труды автора по важнейшим проблемам эволюции земной коры, вопросам докембрийской геохронологии материков, процессам рудообразования в геологической истории Земли и формирования рудных месторождений.

Условия формирования кор выветривания и их минеральных месторождений.

В книге освещено современное состояние учения о корях выветривания и связанных с ними минеральных месторождениях. Особое внимание уделено вопросам образования, размещения и сохранности рудоносных кор выветривания. Рассмотрены коры выветривания отдельных регионов Советского Союза, а также физико-химические условия формирования кор выветривания и результаты экспериментальных исследований этих процессов.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов "Книга-почтой" "Академкнига":

480091 Алма-Ата, 91, Фурманов, 91/97; 370005 Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320093 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.

65 коп.

3979