

Р.М.КОНСТАНТИНОВ

ОСНОВЫ
ФОРМАЦИОННОГО
АНАЛИЗА
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ
РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

553. 065

Р. М. Константинов

ОСНОВЫ
ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

825



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1973.



В работе рассматриваются методы сравнительного изучения гидротермальных месторождений применительно к задачам металлогении рудных районов и прогнозной оценки месторождений и рудопроявлений на начальных стадиях их геологического изучения. Обосновывается необходимость применения для этих целей рудных формаций — единиц систематики месторождений, основанных на объективных признаках вещественного состава и геологической обстановки.

Приводятся способы, позволяющие получить количественные характеристики, определяющие роль отдельных минералов и геологических признаков в образовании месторождений различных рудных формаций и разных масштабов. Формулируются задачи и содержание последовательных этапов работы при формационном анализе гидротермальных месторождений, а также делаются некоторые частные выводы, касающиеся геологических особенностей и оценки оловянных, золотых, молибденовых и других гидротермальных месторождений.

Работа рассчитана на геологов, научных работников и производственников, занимающихся геологической съемкой, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых, студентов геологических специальностей.

Ответственный редактор

Г.А. СОКОЛОВ

В данной монографии изложены результаты многолетних исследований рудных формаций, которые ранее освещались в различных опубликованных статьях. Тем не менее целесообразно в специальной работе дать более развернутое изложение методов формационного анализа гидротермальных рудных месторождений.

Повышенный интерес к рудным формациям естествен, так как их изучение должно способствовать интенсивно развивающимся металлогеническим исследованиям, в особенности актуальной в настоящее время крупномасштабной металлогении, призванной осуществлять перспективную оценку отдельных рудных районов и давать более локальные прогнозы, относящиеся к рудным полям и отдельным месторождениям. Именно в связи с задачами металлогенических исследований появилась необходимость особого, специфического подхода к изучению рудных месторождений.

Эта специфика заключается в выявлении такой классификационной единицы месторождений, которая позволяет точно определить их принадлежность к тому или иному классу, устанавливать степень сходства между месторождениями, а также определять взаимосвязи минерального состава и геологических условий образования.

Конечная цель таких исследований — выделение важных в промышленном отношении классов рудных месторождений и выявление присущих им особенностей.

На необходимость особого, специфического подхода к изучению рудных месторождений в связи с задачами металлогенических исследований указывал еще Ю.А.Билибин, который считал, что "в задачу металлогенического изучения месторождений должно входить выяснение специфических особенностей их, которые могли бы служить отличительными или диагностическими признаками для месторождений различных рудных комплексов" (стр. 390, 1959).

Еще более отчетливо необходимость разработки специальных методов исследования рудных месторождений для целей металлогении была подчеркнута позднее А.Д.Щегловым (1960).

В 1959 г. в ИГЕМ АН СССР была начата работа по созданию методических основ металлогенических исследований рудных районов, трудность которой заключалась в отсутствие специальных методов изучения рудных месторождений применительно к требованиям металлогении. Методические исследования в этом направлении автор начал в 1959 г. в составе коллектива группы металлогении рудных районов под руководством Е.А.Радкевич и И.Н. Томсона. Из этого коллектива позднее обособилась группа изучения рудных формаций, которой автор руководит с 1935 г.

При разработке методов изучения рудных месторождений, применительно к требованиям металлогении, были критически рассмотрены самые распространенные из существующих классификаций рудных месторождений.

Наиболее отвечающими предъявляемым требованиям оказались рудно-формационные классификации, несмотря на отсутствие единодушия различных исследователей в определении понятия "рудная формация". В 1962 г. автор дал соответствующее определение, опираясь на работы С.С.Смирнова, А.Г.Бетехтина, О.Д.Левицкого, Е.А.Радкевич, В.А.Кузнецова, И.Г.Магакьяна, Е.Е.Захарова и других.

Одновременно были сформулированы минералогические и геологические критерии рудных формаций. Основным критерием выделения группы месторождений, образующих рудную формацию, была признана связь их минерального состава с особенностями геологических условий.

Предложенное автором понятие о рудной формации позволило разработать комплекс разнообразных методов формационного анализа, которые подразделяются на собственно геологические и на информационно-логические, основанные на специальных разделах математики и кибернетики.

Информационно-логические методы, в дополнении к традиционным геологическим, нашли применение на самых различных этапах рудно-формационных исследований. Они позволили более обоснованно определить признаки рудных формаций, разработать рудно-формационные классификации месторождений олова и золота путем обработки больших объемов разнородной геологической информации с помощью ЭВМ; наконец, были уточнены возможности применения информационно-логических методов для определения совокупности геологических признаков крупных месторождений в рамках отдельных промышленно важных рудных формаций.

Собственно геологические методы исследования включают определение устойчивых минеральных ассоциаций, повторяющихся геологических признаков и в особенности — изучение рядов рудных формаций. Вместе с широко использованными автором определениями абсолютного возраста месторождений они позволили обнаружить некоторые новые закономерности в пространственных и временных соотношениях месторождений различных формаций.

Правильность выбора рудной формации в качестве основной классификационной единицы месторождений была подтверждена и всем дальнейшим ходом развития металлогенических исследований.

В настоящее время наиболее совершенные металлогенические построения основываются на формационном анализе геологических образований (Кузнецов Ю.А. и др., 1964), поскольку формационный подход позволяет определить сложные взаимосвязи геологических явлений и создать объективные предпосылки для прогнозных оценок.

Вопрос о методах и критериях выделения рудных формаций оказался в центре внимания в связи с его особым практическим значением. Дело в том, что выявление месторождений промышленно-важных рудных формаций, произведенное на ранних этапах геологических исследований, может в значительной степени повысить эффективность дальнейших поисково-разведочных работ.

Определив, например, еще на стадии поисковых работ, что найденное в восточной части Приморья оловянное месторождение относится к галенит-сфалеритовому типу касситерит-сульфидной формации, геолог в значительной степени предопределяет его вероятную промышленную значимость. Или, установив в Забайкалье свинцово-цинковое месторождение, и определив принадлежность его к колчеданной или к гидротермальной галенит-сфалеритовой формации, предопределяют возможные масштабы оруденения, морфологию и наиболее рациональные методы разведки.

Разработанный автором комплекс геологических и математических методов изучения рудных месторождений, назван нами вслед за В.А.Кузнецовым и другими (1966), формационным анализом рудных месторождений.

Задачи формационного анализа по мнению автора заключаются, во-первых, в обоснованном выделении рудных формаций и их разграничении с выяснением особенностей, отличающих промышленные формации от непромышленных; во-вторых, в определении формационного типа отдельных месторождений и их прогнозной оценке, выполняемой специальными методами формационного анализа; в-третьих, в выяснении закономерных соотношений различных рудных формаций в пространстве и времени, и основанное на изучении этих соотношений, определение перспектив отдельных рудных районов.

Автор руководствовался известными указаниями Ю.А.Билибина (1947) считавшего, что для целей металлогении, в частности для установления глубинности рудных месторождений, большое значение имеет сравнительное их изучение, включающее структуры рудных полей и характер разрыва, структуры и текстурные признаки руд, окислительные изменения вмещающих пород, минералогический состав руд. То, что металлогеническое изучение месторождений должно исходить из их сравнительного анализа, подчеркнули позднее и А.Д.Щеглов (1960), И.Н.Томсон, Р.М.Константинов (1961).

Именно поэтому в основу методов формационного анализа рудных месторождений положена сравнительная характеристика месторождений, определение степени аналогии между ними. По справедливому замечанию Ю.А.Воронина и Э.А.Еганова (1968) весь формационный анализ базируется на принятии решения по аналогии.

Между тем аналогии, давно и широко использующиеся в различных отраслях геологии, в том числе и в учении о рудных месторождениях, не основываются на какой-либо разработанной системе исследований. Успешность их выбора в значительной мере зависит от кругозора и научной интуиции геолога. Яркие примеры такого рода использования аналогий дал в свое время С.С.Смирнов, выдвинувший на основании лишь немногих факторов блестяще затем подтвердившуюся идею о преобладающем промышленном значении месторождений касситерит-сульфидной формации.

Автору представлялась реальной разработка методов сравнительного изучения месторождений, использующих такие средства математики, которые позволяют дать количественную оценку сходству месторождений. Количественное определение сходства большого числа месторождений, потребовавшее применение ЭВМ и специальной разработки программ, является существенным элементом рудно-формационного анализа.

Положение облегчается тем, что работы по применению математики в геологии начаты и ведутся широким фронтом. Здесь следует назвать исследования, основанные на математической статистике и теории вероятностей (Д.А.Родионов и др.); исследования, связанные с применением статистических методов распознавания образов (А.А.Куклин, П.А.Шехтман и др.); использование математической логики (Ю.А.Журавлев, А.Н.Дмитриев, Ф.П.Кренделев, С.В.Яблонский, В.Б.Кудрявцев); теории информации, множественных корреляций и других методов.

Возможности математических методов в геологии и основные вопросы, возникающие в связи с этим, в наиболее отчетливой форме были сформулированы таким видным математиком, как А.А.Дородницын (1968). Он подчеркнул, что открытие новых месторождений полезных ископаемых по косвенным признакам является по существу задачей распознавания образов.

Необходимо упомянуть, что на пути развития формационного анализа рудных месторождений имеются многочисленные препятствия. Среди них наиболее значительным является отсутствие количественных данных для многих важнейших характеристик, таких, например, как минеральный состав месторождений, распространенность различных текстурных разновидностей руд, литологический состав вмещающих пород и т.п. Другое немаловажное препятствие – отсутствие достаточно строгой, логически выдержанной системы определений главнейших понятий. Наконец, очень трудно оценить качество обработки материала, который кладется в основу исследований.

В данной работе эти трудности в какой-то мере были преодолены благодаря применению полуколичественной оценки в баллах минерального состава месторождений, подбору месторождений, находящихся в равной степени изученности, специальной формулировке необходимых понятий.

Разработка методов рудно-формационного анализа осуществлялась на эталонных месторождениях Восточного Забайкалья и Приморья; для месторождений других рудных районов Востока СССР использовались в основном литературные данные.

Выбор месторождений восточных районов в качестве эталонных определялся следующими соображениями:

1. Изучение геологии и оруденения восточных районов Союза внесло неизмеримый вклад в развитие учения о рудных месторождениях благодаря исключительному разнообразию в геологическом строении регионов и типах гидротермальной минерализации.

После открытий месторождений олова и золота, связанных с именами С.С.Смирнова и Ю.А.Билибина, эта огромная территория подвергалась интенсивному геологическому изучению. Полученные данные послужили основой для создания оригинальных научных концепций, на многие годы предопределивших направления геолого-поисковых работ и научных исследований.

Следует напомнить, что в результате изучения особенностей размещения оруденения восточных районов С.С.Смирновым, Ю.А.Билибиным, Е.А.Радкевич, Е.И.Шаталовым, В.Т.Матвеевко и другими появилась новая ветвь учения о рудных месторождениях – металлогения. Изучение оловянных месторождений Востока СССР дало основание С.С.Смирнову,

О.Д.Левицкому и Е.А.Радкевич для создания первой рудно-формационной классификации, сыгравшей выдающуюся роль в открытии и освоении новых оловорудных месторождений и по существу заложившей основу современных представлений о рудных формациях. Именно изучение Восточного Забайкалья привело В.Н.Козереенко к выводу о существенном влиянии структурно-фациальных зон на размещение оруденения.

Новые данные о геологических особенностях некоторых рудных регионов Востока СССР позволили Е.А.Радкевич, А.Д.Щеглову, В.И.Казанскому и другим исследователям доказать значительное влияние на размещение и типы оруденения процессов тектоно-магматической активизации, а Е.А.Радкевич, Д.И.Горжевскому, Н.А.Фогельман, И.Н.Томсону — роль глубинных разломов и блоковой тектоники.

2. В связи с решениями XXII и XXIII съездов КПСС о развитии производительных сил восточных районов в Сибири и на Дальнем Востоке нарастают темпы поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых. Это позволяет быстро проверить на практике новые гипотезы и новые методы изучения месторождений и придает им особую актуальность.

Как уже упоминалось, разработка методов формационного анализа рудных месторождений была начата автором в 1959 г. За это время были осмотрены все наиболее интересные месторождения Приморья и Восточного Забайкалья, а также многие месторождения других районов СССР. В процессе полевых и камеральных исследований особое внимание уделялось минеральному составу руд, околорудным изменениям, геологоструктурной позиции месторождений, возрастным соотношениям месторождений различных рудных формаций. Материалы этих исследований отражены в соответствующих разделах работы.

Содержание работы в основном сводится к следующему:

1. Критически рассматриваются некоторые понятия учения о рудных месторождениях и обосновывается необходимость применения в металлогении выдвинутых автором представлений о рудных формациях.

2. Характеризуются методы изучения геологических и минералогических критериев рудных формаций на основе сопоставления сходных месторождений. Даются простые статистические способы проверки обоснованности выделения этих критериев.

3. Формулируются основные правила подготовки геолого-минералогических данных о месторождениях для последующего хранения их на перфокартах и обработки на ЭВМ.

4. На примере месторождений олова и золота рассматриваются методы создания рудно-формационных классификаций с помощью относительно простых способов распознавания образов, дающих количественные характеристики степени сходства месторождений и некоторые преимущества их по сравнению с обычными геологическими классификациями.

5. Уточнены возможности применения методов дискретного анализа при оценке перспектив оловорудных месторождений. В результате обработки этими методами геологических характеристик касситерит-сульфидных месторождений Тихоокеанского пояса и Приморья выделена совокупность геологических признаков, присущих крупным месторождениям. Это открывает новые возможности прогнозной оценки месторождений,

находящихся в стадии предварительной разведки и при выборе первоочередных объектов для ревизии.

6. Излагаются основы метода изучения рядов рудных формаций. Этот метод позволяет обнаружить связь исследуемых особенностей состава руд с определенными геологическими факторами. Приводятся соображения по поводу возможностей дальнейшего совершенствования предложенного метода на основе использования результатов математической обработки геологических данных.

7. В работе суммированы сведения о возрастных соотношениях месторождений различных рудных формаций, которые позволили обнаружить закономерности в последовательности их образования во времени.

8. Приводится классификация рудных районов по типам ассоциирующихся рудных формаций, составу и глубинности магматических пород.

9. В специальном разделе рассматриваются возможности применения методов формационного анализа гидротермальных рудных месторождений для оценки перспектив отдельных месторождений и рудоносных территорий.

В заключительной главе приводятся основные выводы и направления дальнейших исследований.

Автор считает, что изложенные в работе методы формационного анализа гидротермальных рудных месторождений будут использованы геологами, занимающимися поисками и освоением месторождений как в восточных, так и в других районах СССР.

Некоторые разделы основаны на исследованиях, проводившихся автором совместно с А.Н.Дмитриевым, О.П.Поляковой, Н.В.Петровской, С.В.Сиротинской и другими, а также на работах В.А.Кузнецова, Д.И.Горжевского, Ив.Ф.Григорьева, В.Н.Дубровского и других.

Значительная часть материалов в работе подготовлена с помощью С.В.Сиротинской, В.Я.Кузнецовой и других, которым автор выражает свою признательность.

В работе учтены ценные советы В.В.Аристовой, Н.Г.Демидовой, В.И.Казанского, В.Б.Кудрявцева, И.Н.Томсона, Е.Т.Шаталова, С.В.Яблонского, которым автор выражает свою сердечную благодарность.

Особую благодарность автор приносит профессору Е.Е.Захарову, лекции которого в свое время пробудили интерес к теме, инициатору постановки исследований по рудным формациям в ИГЕМ АН СССР, чл.-корр. АН СССР О.Д.Левичкому и профессору Г.А.Соколову, в течение многих лет являвшемуся научным руководителем работ.

СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ О РУДНЫХ ФОРМАЦИЯХ, КРИТЕРИЯХ И МЕТОДАХ ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ

Разработка сравнительных методов, которые в основном применяются при формационном анализе рудных месторождений, требует прежде всего формализации наших знаний в соответствующей области. Совокупность понятий, которые используются в соответствующей отрасли науки, должна быть приведена во взаимосвязанную систему и соотношения между этими понятиями должны быть соответствующим образом уточнены.

Рассматривая с этих позиций положение, сложившееся в учении о рудных месторождениях, можно убедиться, что в этой области существует большое количество различных понятий, часто в значительной мере тождественных или частично совпадающих. В то же время многие из них оказываются несовершенными, границы их являются спорными (Константинов, 1963).

Основным понятием в учении о рудных месторождениях является понятие о месторождении. Это понятие формулировалось многими авторами (Линдгрэн, 1934; Усов, 1931; Крейтер, 1961 и др.).

Наиболее приемлемым представляется следующее определение месторождения: "Месторождением полезного ископаемого называется участок земной коры, в котором в результате тех или иных геологических процессов произошло накопление минерального вещества, по количеству, качеству и условиям залегания, пригодного для промышленного использования (В.И. Смирнов, 1965).

Это определение наиболее приближается к предложенному М.А. Усовым (1931). Близкое по смыслу определение было предложено также и Е.Е. Захаровым (1965), который предлагает считать рудное месторождение синонимом промышленного рудного месторождения. Применяются и другие понятия, с помощью которых среди обширного класса месторождений производят группировку по тем или иным признакам. Самым общим является разделение месторождений на эндогенные — образовавшиеся "под воздействием внутренней энергии Земли в связи с магматическими процессами коры в более глубоких частях планеты" (В.И. Смирнов, 1965) и экзогенные — являющиеся продуктами процессов, происходящих на земной поверхности и в приповерхностной зоне Земли в результате химической, механической и биогеохимической дифференциации вещества, возникающей в конечном итоге за счет деятельности Солнца. Далее следуют более подробные подразделения. К ним относится понятие о генетическом типе месторождения, характеризующемся физико-химической системой, породившей

месторождения, например, выделяются следующие генетические типы месторождений: магматические, пегматитовые, послемагматические "глубинные", послемагматические "поверхностные", осадочные, метаморфические (С.С. Смирнов, 1947).

Таким образом, месторождения разбиваются на группы по признаку характера физико-химической системы, вызвавшей рудообразование: происходила ли кристаллизация рудного вещества из расплава, газов или раствора при высоких или низких температурах, при высоких или низких давлениях и т.п. Имеющиеся в настоящее время представления о параметрах этих систем не являются достаточно определенными, что приводит к многочисленным дискуссиям о механизме рудообразования в каждом отдельном типе, о границах отдельных генетических типов.

Очевидно, что предполагаемое понятие позволяет разделить месторождения лишь в самых общих чертах. Магматические, пегматитовые, постмагматические "глубинные" и постмагматические "поверхностные" месторождения нередко объединяются в группу магматогенных месторождений, образовавшихся в результате магматической деятельности за счет внутренней тепловой энергии земного шара (Бетехтин и др., 1964).

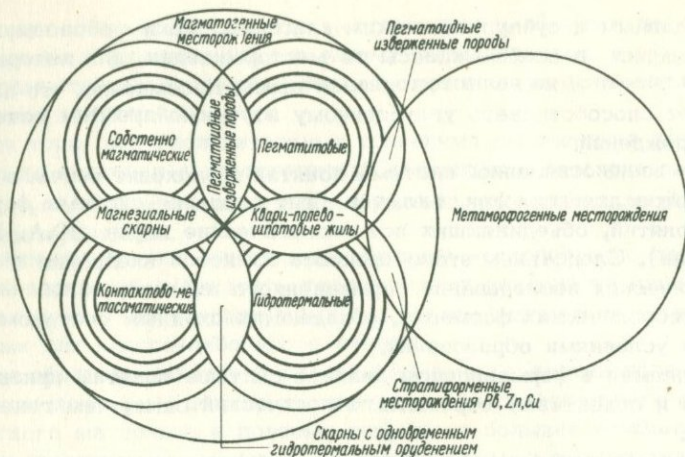
Легко убедиться, что понятие о магматогенных месторождениях оказывается в отношении частичного совпадения с понятием о метаморфических месторождениях, возникающих в условиях высоких давлений и температур, приводящих к появлению новых минералов, представляющих промышленный интерес, образующихся за счет первичных минералов и пород. Оно перекрывается также с понятием о метаморфизованных месторождениях, появившихся в результате действия высоких давлений и повышенных температур на скопления полезных ископаемых, образовавшихся осадочным путем.

Поскольку для решения вопроса об источнике рудного вещества (магматогенном или осадочном) в большинстве случаев не имеется методов, позволяющих дать однозначное суждение, границы понятий магматогенных и метаморфогенных месторождений в целом оказываются непреодоленными и в общей для обоих понятий области оказываются так называемые месторождения спорного генезиса.

Под магматическими месторождениями понимаются месторождения, которые, являясь дифференциатами магмы, образуют рудные скопления в массивах самих изверженных пород, не выходя за их пределы (Бетехтин и др., 1964).

Отсюда следует, что магматические (собственно магматические) месторождения характеризуются двумя существенными признаками: образованием в результате процессов дифференциации магмы и нахождением внутри массивов изверженных (рудоносных) пород. Введение в формулировку понятий в качестве данного признака процесса при недостаточной изученности последнего делает границы этого понятия неопределенными.

В частности, неясно, где проходит граница собственно магматических и пегматитовых месторождений. Представления о генезисе последних в настоящее время дискуссионны, а в то же время несомненно большая часть пегматитов является достаточно самостоятельными образованиями. Точно так же остается неясной граница между собственно магматическим и гидротермальным процессами для ликвационных месторождений.



фиг. 1. Схема соотношения генетических типов эндогенных месторождений.

Не останавливаясь здесь на определении других понятий, отметим лишь, что между большинством из них существуют области частичного совпадения, обусловленные несовершенством наших представлений о процессах рудообразования и методов их изучения, а также конвергентностью признаков самих месторождений. Для наглядности соотношения между понятиями о различных генетических типах месторождений показаны на фиг. 1. На ней же показаны области частичного совпадения этих понятий, куда попадают месторождения, генезис которых по-разному трактуется различными исследователями. Сколько-нибудь подробное рассмотрение этой схемы уводит далеко за рамки настоящей работы. В данном конкретном случае ее задача — продемонстрировать несовершенство основных генетических понятий, которыми пользуются при попытках создания генетических классификаций эндогенных месторождений. Еще менее определенные соотношения генетических понятий внутри каждого генетического типа. Попытки разделить месторождения в зависимости от физико-химических параметров процессов возможны лишь с весьма значительными субъективными допущениями.

Однако следует отметить, что все сказанное выше вовсе не отрицает значение генетической классификации эндогенных месторождений, которая, несомненно, будет совершенствоваться по мере углубления знаний о процессах рудообразования методов исследования. В этом отношении несомненным значительным шагом вперед является классификация рудных месторождений, предложенная В.И.Смирновым (1965), который выделяет серии, группы, классы и для некоторых классов — подклассы месторождений. Так, в эндогенной серии различаются магматическая группа с классами ликвационным, раннемагматическим, позднемагматическим; пегматитовая группа с классами простых, перекристаллизованных, метасоматически замещенных и десицированных пегматитов; карбонатитовая группа с классами магматическим и метасоматическим; скарновая группа гидротермальная группа с грейзеновым, эндотермальным, телетермаль-

ным, колчеданным и субвулканическим классами. Таким образом, В.И. Смирнов выделил в особые классы те месторождения, для которых представления о генезисе не являются однозначными. Несомненно, что подобный подход будет способствовать углубленному изучению проблем генезиса этих месторождений.

Создание взаимосвязанной системы понятий происходит сейчас в самых различных отраслях геологии, включая опыт создания системы формализованных понятий, объединяющих все геологические науки (Ю.А. Косыгин, Ю.А. Воронин). Следствием этого процесса является внедрение в практику геологических исследований формационного анализа, основанного на выделении геологических формаций, обладающих сходным составом и геологическими условиями образования.

Потребляемая в формационном анализе система понятий призвана более полно и объективно отражать геологический опыт, чем генетические понятия.

В то же время появление и развитие новой отрасли учения о полезных ископаемых — металлогении, в ряде случаев поставило геологов перед необходимостью четкого разделения рудных месторождений по относительно небольшому количеству объективных признаков и к поискам методов обоснованного сопоставления отдельных месторождений друг с другом, как это следует из приведенного критического обзора. Генетические классификации в современном своем состоянии такого разделения месторождений дать не могут. В связи с этим автором было предложено приведенное ниже классификационное понятие о рудных формациях, которое основывается целиком на эмпирических, доступных непосредственному изучению признаках. Подобного же рода предложения делались и другими исследователями как в СССР, так и за рубежом.

Использование представления о рудных формациях и основанного на нем формационного анализа рудных месторождений особенно актуально в связи с большой практической значимостью правильного определения формационной принадлежности месторождений при металлогенических исследованиях.

В СССР использование в металлогении понятия о рудных формациях, издавна существующего в учении о рудных месторождениях, признается целесообразным многими исследователями, хотя многими для этого предлагаются другие понятия.

Развитие учения о рудных месторождениях с использованием формационного анализа представляется имеющим самостоятельное значение перспективным направлением, которое должно развиваться параллельно с генетическими исследованиями.

Применение понятий о рудной формации в современной теории рудообразования и особенно в металлогении вполне оправдано. Очевидно также, что в это понятие необходимо вкладывать максимально объективную информацию о минеральном составе в геологической обстановке, в которой происходило формирование рудных месторождений.

В связи с этим автором было предложено под рудными формациями понимать группы месторождений со сходными по составу минеральными ассоциациями и близкими геологическими условиями образования (Константинов, 1963).

К этому можно добавить, что месторождения, образующие одну рудную формацию (принадлежащие к одному формационному типу), отличаются набором стадийных минеральных ассоциаций и могут иметь самый разный геологический возраст.

Кроме того, под геологическими условиями образования имеются в виду только сведения о геологической обстановке, фиксируемые непосредственными наблюдениями, т.е. по существу геологические условия нахождения месторождений.

Существенные признаки рудных формаций – сходство по составу минеральных ассоциаций и близость геологических условий не изменяются, имеем ли дело с месторождениями собственно магматическими, гидротермальными или какого-либо иного генезиса.

Таким образом, понятие о рудной формации, в противоположность генетическим понятиям, должно вытекать из непосредственного обобщения фактического материала и поэтому открывает большие возможности при попытках построения сравнительной характеристики рудных месторождений и их классификаций, а в конечном итоге – дает больший фактический материал для характеристики промышленно-важных рудных формаций и для генетических построений.

На первых стадиях развития рудно-формационного анализа в качестве рудных формаций были выделены наиболее распространенные по минеральному составу рудные тела. При этом рудные тела группировались в формации на основании наиболее ярко проявленных и однозначно принимаемых свойств, что стало образцом для дальнейших формационных исследований.

Но развитие изучения рудных месторождений вскоре вскрыло неточность такого подхода. Одни и те же месторождения стали относиться различными исследователями к разным формациям и, как будет показано ниже, появилось много классификаций со значительно различающимся количеством рудных формаций.

В этом отношении формационный анализ рудных месторождений прошел те же этапы развития, что и весь формационный метод в геологии (Воронин, Еганов, 1969).

Для того чтобы избежать возникающих трудностей в выделении рудных формаций, необходимо было сформулировать цель формационного анализа. Исходя из приведенного выше определения, основной целью рудно-формационного анализа является выделение групп месторождений со взаимосвязанным минеральным составом и геологическими условиями нахождения.

Невозможно определить принадлежность месторождения к какой-либо формации, не сравнив его минеральный состав и сопутствующую его образованию геологическую обстановку с соответствующими характеристиками формаций или с другими конкретными месторождениями, для которых известна их формационная принадлежность.

Сравнительный метод находится в основе формационного анализа рудных месторождений, а главнейшим условием выделения формаций является повторяемость признаков для определенных групп месторождений. Кроме того, следует отметить, что выделение рудных формаций в каком-либо рудном районе или узле основано на взаимосвязанных особенностях

как в минеральном составе, так и в геологической ситуации. Если установлены отличия лишь в одной группе признаков, то выделение рудных формаций является менее обоснованным, иногда спорным.

Критериями выделения рудных формаций являются следующие особенности месторождений:

1. Наиболее полно проявленные устойчивые (т.е. повторяющиеся на месторождениях данной формации) минеральные ассоциации.
2. Повторяющиеся на исследуемой группе месторождений геологические особенности, относящиеся к магматическому контролю оруденения, региональной и локальной тектонике, составу и свойствам вмещающих пород.
3. Околорудные изменения, типоморфные особенности минералов, элементы-примеси в рудах.

Следует учитывать, что для разных формаций могут оказаться характерными разные группы геологических факторов; например, для одних формаций более характерна связь с каким-либо типом вмещающих пород, а для других – с определенными магматическими формациями. Выявить ведущее значение того или иного геологического фактора можно лишь установив его повторяемость во всей группе месторождений, имеющих сходный минеральный состав.

4. Наконец, основным критерием обоснованности выделения рудных формаций является подтверждение взаимосвязи между устойчивыми минеральными ассоциациями и геологическими условиями нахождения.

Для того чтобы выявить функционально связанные особенности минерального состава и геологических условий нахождения месторождений, что является основным критерием выделения рудных формаций, необходимы были методы, позволяющие находить соответствующие взаимосвязи.

В работе рассмотрены две группы таких методов, а именно собственно геологические и информационно-логические.

К собственно геологическим методам, позволяющим обоснованно выделить рудные формации по характеристикам минерального состава и геологических условий нахождения, относится исследование повторяемости свойств месторождений, прежде всего реконструкция рядов рудных формаций, рассматриваемая в специальном разделе.

Применяемые в работе информационно-логические методы основаны на относительно простых способах обработки геологических данных методами распознавания образов и математической статистики. Они позволяют обосновать выводы, полученные в результате применения геологических методов и дают возможность эффективно определить критерии рудных формаций и формационную принадлежность месторождений, опираясь на минимальное количество геологических данных. Таким образом, рудную формацию можно считать установленной, если в результате обработки предлагаемыми методами большого количества данных по многочисленным объектам-месторождениям удается выделить взаимно соответствующие классы месторождений по минеральному составу и по геологическим условиям нахождения. Именно при таком направлении исследований – при создании статистически обоснованной рудно-формационной классификации, становится необходимо для обработки огромного количества данных использовать современные средства сбора и обработки информации – перфокарты и электронно-вычислительные машины.

В связи с тем, что для многих металлов разработаны рудно-формационные классификации, используя их, следует первоначально исходить из пометального деления месторождений. В этих условиях неизбежно выделение двуметальных и многометальных рудных формаций. В то же время неизбежно выделение сложных (переходных) рудных формаций, к которым будут относиться месторождения с совмещением минерального состава и геологических условий нахождения, характерных для месторождений простых рудных формаций, но образовавшихся в результате единого процесса происходившего без значительных перерывов во времени. Эти сложные рудные формации в классификации будут являться как бы связующими звеньями между простыми формациями.

Таким образом, в зависимости от минерального состава и геологических условий нахождения выделяются простые и сложные (переходные) рудные формации, в зависимости от наличия полезных компонентов — одно-двух и многометальные рудные формации. Так же как для формаций магматических пород (Ю.А. Кузнецов, 1964), следует различать конкретные рудные формации, для которых может быть указан возраст и местонахождение в определенных рудных районах и потому отличающиеся некоторыми местными особенностями (например, колчеданная формация Среднего Урала) и абстрактные рудные формации (формационные типы) — общее классификационное подразделение формаций, отражающее взаимосвязанные особенности минерального состава и геологических условий нахождения, характерные для всех конкретных рудных формаций, принадлежащих к данному типу (например, колчеданная формация).

Представления об абстрактных и конкретных рудных формациях имеют большое значение для оценки месторождений. Последние нередко изменяются по мере детализации исследований. Например, несмотря на то, что в Средней Азии, на Кавказе и в Южной Корее известны вольфрамовые месторождения формации шеелитоносных скварнов, в восточных районах Союза такие месторождения известны не были, а фиксировавшиеся рудопроявления этой формации внимание не привлекали. Однако в последние годы здесь было установлено крупное месторождение формации шеелитоносных скварнов, что привело к необходимости переоценки всех рудопроявлений этого типа.

Похожим случаем было открытие месторождений колчеданной формации в Забайкалье, заставившее пересмотреть перспективы целого ряда восточных районов.

В качестве примера изменения промышленной роли конкретных рудных формаций, в зависимости от металлогенических провинций, можно привести формацию галенит-сфалерит-содержащих скварнов и галенит-сфалеритовую гидротермальную формацию в Приморье и в Забайкалье. Если в Приморье основная часть свинцово-цинковых руд содержится в скварнах, а гидротермальная галенит-сфалеритовая формация имеет подчиненное значение, то в Забайкалье исключительным распространением пользуются гидротермальные галенит-сфалеритовые месторождения, а развитые в тех же рудных полях скварны стерильны на свинец и цинк.

Так как не всегда удается установить взаимное соответствие между геологическими признаками и минеральным составом месторождений, то по особенностям минерального состава внутри рудных формаций сле-

дует выделять минеральные типы. Этот принцип был с успехом применен, например, С.С.Смирновым, О.Д.Левицким и Е.А.Радкевич в классификации оловянных месторождений, где в касситерит-кварцевой формации выделялись минеральные типы: грейзеновый, кварц-топазовый, кварц-полевошпатовый и кварцевый.

Как показали исследования рудных формаций, выполненные в самое последнее время, геологические условия их нахождения также могут изменяться в определенных пределах, не сопровождаясь видимыми изменениями минерального состава руд. Поэтому можно предложить, по аналогии с минеральными типами, называть подобные разновидности внутри рудных формаций геологическими типами месторождений.

Следовательно, полная характеристика рудной формации должна включать ее деление на минеральные и геологические типы.

В свою очередь рудные формации группируются в комплексы, группы и серии (Горжевский, 1964).

Под комплексом рудных формаций, по Д.И.Горжевскому, следует понимать совокупность рудных формаций, связанных с определенной формацией магматических, метаморфических или осадочных пород и обладающих в связи с этим определенными чертами сходства. Для магматогенных рудных формаций это понятие близко к "рудному комплексу" Ю.А.Билибина (1955).

Под группой рудных формаций понимается совокупность рудных формаций, характерных для структурно-фациальной зоны определенного типа. Обычно группа рудных формаций связана уже не с одной, а с несколькими формациями горных пород.

Серия рудных формаций – совокупность рудных формаций, характерная для наиболее крупных структурных элементов земной коры, таких как платформы, геосинклинальные области, глыбовые зоны.

Рудные формации, как это указывал С.С.Смирнов (1947), должны выделяться внутри крупных генетических категорий – генетических типов, которые определяются характером физико-химической системы, обусловившей появление руды. Очевидно, для того, чтобы сохранять принципиальное отличие формационного анализа месторождений, основанного на исследовании и систематизации данных о минеральном составе руд и геологических факторах, от генетических исследований следует взять за основу разделение рудных формаций наиболее объективно устанавливаемые генетические категории. Например, следуя предложению Г.А.Соколова (устное сообщение), делить эндогенные рудные формации на две группы: а) собственно магматические и б) прочие эндогенные (включая экзогенные, подвергшиеся эндогенным преобразованиям). Выделение этих двух групп в большинстве случаев можно произвести достаточно объективно. При таком подходе, в частности, месторождения, сопровождающиеся определенными метасоматическими процессами (скарновые, грейзеновые, пропилитовые и др.) и нередко классифицированные по этому признаку, рассматриваются не как месторождения определенного генетического типа, а как месторождения с характерными геолого-минералогическими признаками (абстрагируясь от генезиса).

Касаясь соотношений понятия рудных формаций с другими, рассмотрим сначала их соотношения с промышленными типами месторождений. Как

известно, В.М.Крейтер (Крейтер, 1960) под промышленным типом месторождений понимал "...природное геолого-минералогическое проявление, которое при эксплуатации в сумме (для всего мира) дает добычу, выражающуюся целыми процентами" и относит к ним только такие, суммарная годовая добыча из которых дает не менее 1% мирового продукта. Он отмечал, что в этом определении "...отражены природная повторяемость ценного геолого-минералогического комплекса и международный горно-эксплуатационный и технологический опыт.

Если при этом качество полезного ископаемого выразить как принадлежность данного типа к той или иной рудной формации, промышленная группировка одновременно становится и генетической в широком геологическом смысле слова (стр. 10)". Из этого следует, что понятие о промышленных типах месторождений по В.М. Крейтеру находится, пользуясь терминологией логики, в отношении частичного совпадения с понятием о рудной формации.

Промышленные типы месторождений отвечают тем рудным формациям, которые удовлетворяют еще и специальным геолого-экономическим требованиям, предъявляемым к промышленным типам.

В этом легко убедиться, рассмотрев примеры конкретных промышленных типов месторождений, выделяемых В.М.Крейтером. Так, среди оловянных месторождений он выделял касситерит-кварцевые и касситерит-сульфидные, но не выделял месторождения, соответствующие касситерит-силикатной формации, среди вольфрамовых месторождений - шеелитоносные скарны и кварц-вольфрамовые жилы, но не выделялась здесь ферберит-антимонит-киноварная формация.

Следовательно, промышленные типы месторождений по В.М.Крейтеру отвечают некоторым, наиболее промышленно-важным рудным формациям. Понятие о рудных формациях шире, оно охватывает все месторождения, в том числе и такие, которые в настоящее время не образуют промышленных типов, но могут быть ими в недалеком будущем.

Такова система основных понятий, связанных с группировкой рудных формаций, в зависимости от их генетических особенностей, от промышленной ценности и от связи с определенными формациями магматических и осадочно-метаморфических пород и структурных элементов земной коры. Ниже она дополняется понятиями, характеризующими связи отдельных рудных формаций одна с другой и с различными геологическими факторами рудообразования. Эти понятия в совокупности существенно дополняют представления, рассмотренные автором ранее (Константинов, 1964).

Понятие о рудных формациях не может прямо сопоставляться с понятиями о магматических и геологических формациях, существующими в геологической литературе. Дело в том, что представления о рудных формациях исторически складывались независимо от двух других и поэтому каких-либо прямых соподчинений здесь быть не может. Однако рассмотрение содержания понятия о геологической, и особенно о магматических формациях вскрывает в них много общего с рудными формациями.



Е.Е.Захаров (1965) указывает, что вначале появилось понятие "жильная формация", которую Г.А.Вернер определял как совокупность одинаково возникших жил, встречающихся как на близких расстояниях в какой-либо одной области, так и в различных, удаленных друг от друга областях. А.Брейтгаупт при отнесении жилы к той или иной формации или типу указывал на необходимость рассматривать их таким образом, чтобы при сравнении отдельных жил целого района можно было сделать заключение об их едином характере.

Термин "рудная формация" был, по-видимому, впервые применен А.Гродеком (1889), который, однако, считал рудной формацией "... минералы, осаждавшиеся одновременно в виде одной корки или целой системы корок".

В то же время А.Гродек отмечал целесообразность этого понятия, позволяющего связывать оруденение с геологическими условиями его залегания и, в частности, определять его относительный возраст.

Широкое внедрение в русскую литературу термина "рудная формация" началось после появления классификации рудных месторождений по формациям, предложенной Штельцнером-Беком (Beck, 1901).

Следует отметить, что в немецкой литературе деление месторождений на формации производилось и производится в настоящее время на основании наличия в жилах минерального комплекса идентичного состава параллельно с разделением месторождений на более крупные генетические категории. Рудные формации выделяются главным образом среди жильных гидротермальных месторождений ("жильные формации"). Г.Шнейдерхен (1958), касаясь рудных формаций, писал: "Среди бесчисленного многообразия гидротермальных рудных проявлений выделяются постоянно встречающиеся устойчивые минеральные парагенезисы, послужившие основанием для классификации жильных формаций" (стр. 164). Однако П.Нигли (1933) считал, что рудные формации в учении о рудных месторождениях являются аналогами петрографических формаций и с этих позиций должны пониматься и изучаться.

В русской геологической литературе это понятие впервые введено Ф.Ю. Левинсоном-Лессингом в 1911 г., взявшим за основу (в курсе рудных месторождений) классификацию жильных месторождений по формациям, предложенную Штельцнером-Беком (Beck, 1901). Ф.Ю.Левинсон-Лессинг для некоторых формаций уже отмечал связь их минерального состава с составом вмещающих пород и другими геологическими факторами, влияющими на формирование месторождений, тем самым подчеркивая необходимость изучения этих факторов для решения вопроса о причинах образования месторождений различных формаций. В дальнейшем в той или иной модификации оно встречается в трудах Е.И.Богдановича (1912) и В.А.Обручева (1928).

Следующий шаг в более тесной увязке геологических условий возникновения месторождений с их составом в понятии "формации" был сделан М.А.Усовым (1931), который подразделил месторождения на жильные, контактовые, метасоматические и вкрапленные, а каждую из этих групп - на формации месторождения ("по преобладающему металлу или

вообще по минералогическому составу"). При этом оказалось, что целый ряд выделенных формаций повторяется в различных группах месторождений.

Позднее представления о рудных формациях были использованы С.С. Смирновым, О.Д. Левицким и Е.А. Радкевич. При построении классификации месторождений олова С.С. Смирнов писал, что рудные формации, выделяемые на основании химико-минералогических особенностей руд, должны являться непременным членом классификации эндогенных рудных месторождений (С.С. Смирнов, 1947).

Как известно, С.С. Смирнов, О.Д. Левицкий и Е.А. Радкевич под "формацией" понимают группы месторождений, отличающиеся друг от друга различными минеральными ассоциациями, устойчивыми для каждой из этих групп. Например, месторождения касситерито-кварцевой формации характеризуются в первую очередь ассоциацией кварца с касситеритом, щелочными полевыми шпатами, мусковитом (лепидолитом), топазом. Однако наряду с этим ведущим признаком формации они учитывают и некоторые геологические особенности формирования, сближающие месторождения данной формации между собой (отчетливую генетическую связь этих месторождений с кислыми и ультракислыми гранитоидными интрузиями, положение месторождений или непосредственно в материнском интрузиве или в его экзоконтактах, наличие автопневматолитических изменений в интрузиве и т.п.). В пределах каждой формации ими выделяются минеральные типы месторождений, отличающиеся друг от друга какими-либо более частными особенностями.

С.С. Смирнов особенно подчеркивал значение исследований рудных формаций для металлогении, когда писал: "Совершенно бесспорно наличие закономерностей в соотношении отдельных типов рудных формаций, закономерностей, имеющих всеобщее значение. И если закономерности эти до сих пор не установлены еще с достаточной полнотой и очевидностью, то потому только, что выяснением металлогении отдельных, если можно так выразиться, тектономагматических комплексов, мы в сущности не занимались" (1955, стр. 185).

Большое значение исследованию рудных формаций при металлогенических работах придавал Ю.А. Билибин (1947).

В то же время Ф.И. Вольфсон, ссылаясь на устные высказывания С.С. Смирнова, указывает, что С.С. Смирнов называл рудными формациями близкие ассоциации минералов, образовавшихся в сходной геологической обстановке, независимо от времени (Вольфсон, 1962, стр. 276). Ф.И. Вольфсон, использует это понятие для классификации гидротермальных месторождений, связанных с гранитоидами.

А.Г. Бетехтин (1945), касаясь вопросов систематики руд, отождествлял понятия "рудной формации" и "семейство руд", хотя и указывал на нежелательность такой трактовки. Он отмечал, что "в семействе" объединяются руды, хотя и отличающиеся в той или иной степени друг от друга, но обладающие рядом характерных общих черт, которые вместе с другими данными позволяют считать их образовавшимися в более или менее одинаковых условиях" (стр. 11-12). А.Г. Бетехтин проводил аналогию между рудами и породами и считал, что в основу классификации руд, так же как и горных пород, должны быть положены следующие главные признаки: 1) минералогический и химический составы, 2) структурно-тек-

стурные особенности, 3) условия залегания и взаимоотношения между собой и с вмещающими породами. Систематика руд, по его мнению, должна одновременно являться и систематикой месторождений.

Взгляды А.Г.Бетехтина были положены в основу классификации рудных месторождений, предложенной в 1950 г. И.Г.Магакьяном. К понятию о рудных формациях и к использованию его для классификации месторождений и при металлогенических построениях неоднократно обращался и Е.Е.Захаров (1953, 1955, 1953, 1959, 1965), построивший свой курс "полезных ископаемых", читавшийся им в Московском геолого-разведочном институте, на характеристике рудных формаций и на сравнении их друг с другом.

Особенно отчетливо представления Е.Е.Захарова о понятии "рудная формация", о свойствах рудных формаций, о группировках рудных формаций и т.д., сформулированы в последней из упомянутых работ.

Он определяет рудную формацию как группу месторождений, которые характеризуются специфическим и присущим только данной формации комплексом свойств. В числе важнейших свойств отмечаются особенности вещественного состава (химического и минерального состава руд и парагенезиса минералов); особенности вмещающих пород и их различные изменения; геологические условия залегания рудного месторождения и закономерности размещения оруденения, морфология оруденения, положение рудных месторождений в региональных геологических структурах и металлогенических провинциях; вторичные изменения руды; генетический возраст оруденения; масштабы оруденения; технологическая характеристика руды.

Е.Е.Захаров отмечает необходимость всестороннего изучения месторождений полезных ископаемых с целью выяснения всего комплекса их свойств независимо от генезиса месторождений. Он считает, что "важным является выяснение относительного значения отдельных свойств, особенно тех, которые могут быть использованы в качестве признаков для определения типа месторождения, причем имеются в виду только свойства месторождения, которые непосредственно доступны наблюдению и изучению" (стр. 18).

Л.А.Быков (1959) предлагает считать геологической формацией оруденения или иной рудной формацией всю совокупность руд и околорудноизмененных пород региона, имеющих один и тот же возраст, одну и ту же верхнюю границу в виде региональной поверхности несогласия. Как легко видеть, это определение, согласно которому рудная формация не тип месторождения, а совокупность самых разнообразных по составу, происхождению и возрасту проявлений оруденения, заключенных внутри геологических образований одного возраста, резко расходится с другими определениями этого понятия и потому вряд ли может быть принято. По существу Л.А.Быков предлагает совершенно новое понятие, называя его старым термином "рудная формация".

В.Т.Матвеев и Е.Т.Шаталов (1964) выделяют гидротермальные рудные формации, под которыми понимают группы гидротермальных рудных месторождений, где месторождения объединяются:

а) сходной тектоно-магматической обстановкой образования и генетической связью со сходными типами магматических пород (или в

некоторых случаях отсутствием видимой связи с магматическими породами);

б) сходными пределами глубин и температур образования (при наличии непрерывных переходов в глубине и температуре образования между отдельными месторождениями внутри формации);

в) сходными парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов и металлов, определяющих промышленную ценность месторождений (при наличии постепенных переходов в минеральном составе между возможными крайними типами);

г) сходными чертами промышленной характеристики.

На наш взгляд в этом определении, помимо необходимых, фигурирует также много признаков (глубинность образования, связь с определенным типом магматических пород и т.д.), часто устанавливаемых с большим трудом или гипотетически и потому лишающих понятие о рудной формации основного его достоинства — объективности.

Как это следует из опубликованных в последнее время работ с теми или иными видоизменениями, большинством авторов под рудными формациями понимаются группы месторождений с минеральными ассоциациями сходного состава, образовавшиеся в близких геологических условиях, независимо от времени возникновения. Можно отметить тенденции к сужению границ этого понятия или, напротив, их расширению.

Так, Н.В.Петровская (1965) считает, что главным критерием классификации гидротермальных месторождений должны служить одностадийные минеральные ассоциации, каждая из которых образуется в отдельную стадию прерывистого гидротермального процесса. При этом ведущее значение должны иметь ассоциации неизменно повторяющиеся — устойчивые. Сопровождающие их изменчивые минеральные ассоциации меняют свой состав под влиянием вмещающих пород.

Количественные соотношения устойчивых минеральных ассоциаций сохраняются на всех месторождениях, формировавшихся в сходной геологической обстановке, и закономерно отличаются для месторождений, образованных в разных условиях.

Вместе с тем Н.В.Петровская указывает, что нужно выделить "формации руд", а не "формации месторождений", хотя и отмечает, что "индивидуальность выделенных формаций отражается в пространственной общности областей их развития, в различных условиях локализации и связей с магматизмом" и подчеркивает определенную зависимость от факторов глубинности. Внутри "формаций руд" Н.В.Петровская по несколько меняющимся соотношениям рудных минералов в устойчивых минеральных ассоциациях предлагает выделять типы руд, появление которых тесно связано с чертами геохимической специализации рудных районов, т.е. одна и та же формация умеренно-сульфидных руд может быть представлена в одних районах пиритовыми, в других — арсенопиритовыми, в третьих — полиметаллическими типами руд.

Не трудно заметить большое сходство между предложениями Н.В.Петровской и нашими, но тот значительный акцент, который Н.В.Петровская делает на вещественный состав месторождений, обуславливает меньшее внимание к факторам геологической обстановки рудообразования.

Напротив, по В.С.Домареву (1968), под рудной формацией следует понимать группы месторождений, близких по их геологическим особенностям и обладающих присущим только этой группе комплексом геологических признаков. Выделенные по указанным критериям формации объединяют месторождения, характеризующиеся сходной морфологией рудных залежей, их приуроченностью к определенным формациям горных пород, одинаковым соотношением с вмещающими породами и их околорудно-измененными разностями и т.д.

В.С.Домарев считает, что выделение формаций на основе минерального или металлического состава руд в качестве главного классификационного признака мало пригодно для целей металлогении. Он вполне справедливо отмечает, что ведущими геологическими факторами, определяющими рудную формацию, могут быть различные элементы геологического строения месторождений. Для одних это будет состав вмещающих пород, для других – ассоциирующие магматические тела, для третьих – характерные рудовмещающие структуры. В.С.Домарев считает также нецелесообразным включать в определение формации понятия о генезисе месторождений.

По-видимому, трактовка рудных формаций по В.С.Домареву слишком далека от традиционного их понимания. В упомянутой статье сам же он выделяет некоторые формации, например хромитовых залежей в ультраосновных породах, месторождений сульфидных, медно-никелевых руд, стратифицированных месторождений свинцово-цинковых руд и так далее. Следовательно, В.С.Домарев фактически признает необходимость учета связи между вещественным составом руд и геологическими условиями их образования при выделении рудных формаций.

Приведенные различные представления о содержании понятия о рудной формации лишь утверждают то, что при выделении рудных формаций нужно рассматривать параллельно особенности вещественного состава и геологических условий.

Лишь при наличии взаимосвязи между этими двумя группами факторов можно уверенно говорить об объективном существовании рудной формации.

Большое значение для определения понятия о рудных формациях и для развития формационного анализа рудных месторождений в последние годы имели работы П.Ф.Иванкина, П.В.Иншина, В.С.Кузнецкого (1960), Д.И. Горжевского (1964), В.Т.Покалова (1964), Д.И.Горжевского, В.П.Козеренко (1965), А.А.Малахова и других (1968), Г.А.Твалчрелидзе (1966), В.А. Кузнецова, Э.Г.Дистанова и других (1966), И.Г.Магакьяна (1967), а также прошедшая в 1964 г. в Новосибирске конференция, посвященная рудным формациям Сибири и Дальнего Востока (Эндеогенные рудные формации . . . , 1966) и конференция по геологическим формациям в Ленинграде в 1968 г.

Подробный анализ роли изучения рудных формаций в последнее время был дан А.Д. Щегловым (1968).

Во всех указанных выше монографиях, статьях и докладах содержится представление о рудной формации, как о группе месторождений, характеризующейся сходным минеральным составом руд и близкими геологическими условиями нахождения.

формационный подход позволил П.Ф.Иванкину и др. (1960) отметить и объяснить ряд интересных особенностей месторождений Рудного Алтая. Г.А. Твалчрелидзе (1966), соглашаясь с предложенными автором (Константинов, 1965) критериями выделения рудных формаций, считает, что необходимо также учитывать стадию развития металлогенической зоны и ее тип.

А.А.Малахов (1966) считает, что под рудной формацией нужно понимать группы месторождений с типичными для нее экономически важными устойчивыми минеральными ассоциациями, образовавшимися в сходных физико-химических и геологических условиях.

Вслед за нами (Томсон, Константинов, 1961) А.А.Малахов и руководимый им коллектив геологов при характеристике рудных формаций Узбекистана широко использовали представление о семействе родственных рудных формаций. По их предложению, в семейства родственных рудных формаций следует объединять группы рудных формаций, имеющих общее происхождение, хотя минеральный и металлический состав их может иметь существенные различия. У эндогенных семейств рудных формаций предполагается генетическая или парагенетическая связь с магматическим источником, формирование которого происходит в определенной фазе (близкого родства) или на определенном тектоно-магматическом этапе (более далекого родства). При определении родственных взаимоотношений между рудными формациями наиболее важными критериями считаются: зональное распределение их в пространстве в областях последовательного развития разновозрастных структур; зональное размещение рудных формаций внутри или около петрохимически однотипных магматических образований, иногда являющихся рудогенерирующими; минералогическое сходство и геохимическое родство рудных формаций с определенного типа интрузиями, образовавшимися в литологически сходной геологической обстановке; одинаковую последовательность стадий сходных парагенетических рудных ассоциаций в предположительно родственных рудных формациях и т.д. А.А.Малахов и другие справедливо полагают, что выделение семейств рудных формаций дает возможность, зная хорошо условия формирования и размещения одной формации, в зависимости от изменения геологической среды и физико-химической обстановки формирования, прогнозировать возможности появления других родственных рудных формаций.

В свою очередь семейства рудных формаций подразделяются на две группы по глубинности образования: гипабиссальную (интрузивную) и вулканогенно-субвулканическую (поверхностную).

В семейства рудных формаций, образовавшихся в гипабиссальных условиях, включены те, образование которых связано с внедрением батолитовых интрузий, их сателлитов и малых интрузий. Здесь выделяются формации, связанные с внедрением ультраосновных и основных интрузий (хромитовая, титаномagnetитовая и другие); связанные с диоритами и умеренно-кислыми гранитами (молибденит-халькопиритовые скарновые, кварц-серицит-молибденитовые и другие гидротермальные); связанные с гранодиоритами и гранитами (шеелитоносные скарны, пегматитовые и грейзеновые формации и другие); связанные со щелочными породами (волластонитовые скарны) и удаленные от интрузий (пластовые свинцово-цинковые и ртутные месторождения).

Семейства родственных рудных формаций, образовавшихся в приповерхностных (0,0-1,5 км) и поверхностных (до 2,2 км) глубинах подразделяются

на вулканогенно-плутонические семейства (рудные формации во вторичных кварцитах, свинцово-цинковые, флюоритовые и прочие месторождения) и вулканогенно-осадочные (марганцевые месторождения).

И.Г.Магакьян (1967), развивая основные положения своих предыдущих исследований (Магакьян, 1950), справедливо считает, что рудные формации должны выделяться внутри генетических групп, предложенных В.И.Смирновым (1964). В то же время по И.Г.Магакьяну под рудной формацией следует понимать группы эндогенных рудных образований, объединенных общностью минерального состава, генетических особенностей, геологических условий проявления и сходным экономическим значением. По нашему мнению, вводя в критерии выделения рудной формации представления о генетических особенностях и экономическом значении, И.Г.Магакьян делает понятие рудной формации весьма неопределенным. Он предлагает классификацию эндогенных и экзогенных рудных формаций СССР, насчитывающую 48 различных типов. Для каждого типа дается краткая характеристика минерального состава руд, комплекса полезных ископаемых, магматический и стратиграфо-литологический контроль, генетический тип, структурный контроль, типы рудных провинций, этапы развития, геологический возраст, связь с другими рудными формациями, а также их поисковые признаки и методы поисково-разведочных работ. И.Г.Магакьян отмечает, что для создания формационной классификации рудных месторождений необходимо выделить ряды рудных формаций, связанные с определенными магматическими комплексами или экзогенными и метаморфогенными процессами. Он приводит несколько примеров подобного рода рядов рудных формаций. Близкие соображения высказывались ранее и нами (Константинов, 1965).

Особую точку зрения на содержание понятия "рудная формация" имеет В.С.Кормилицын (1969). Не отвергая необходимости выделения рудных формаций на основе сходных по составу, устойчивых минеральных ассоциаций и близких геологических условий образования месторождений, В.С.Кормилицын считает, что для целей региональной металлогении рудные формации по своему объему должны соответствовать геохимическим или рудным комплексам, возникшим на определенных стадиях развития тектонических структур в связи с определенными магматическими комплексами или формациями. "Каждой продуктивной магматической формации должна соответствовать одна связанная с ней рудная формация". Это определение фактически повторяет определение рудного комплекса, под которым по Ю.А.Билибину (1947) следует понимать "совокупность генетических типов, связанных генетически с данным магматическим комплексом (как с комплексом в целом, т.е. с глубинным магматическим очагом, так и с отдельными членами комплекса)".

В результате границы понятия "рудная формация" чрезвычайно расширяются. В одну формацию попадают месторождения различных генетических типов, например, пегматиты, скарны и гидротермальные жилы различных температур и глубин образования. Фактически единственным признаком формации по В.С.Кормилицыну является связь ее с одной и той же магматической формацией.

Не говоря уж о том, что проблема такой связи сама по себе часто дискуссионна, представляется неправильным столь значительное отступление от традиционных исторически сложившихся представлений о рудных

формациях, как о понятиях, формирующихся на основании многих объективных признаков и прежде всего на основании вещественного состава руд и геологической обстановки.

Вероятно, нужно выделять такие группы месторождений, которые постоянно связаны с одной и той же магматической формацией и называть их или рудными комплексами или комплексами рудных формаций (Горжевский, 1964) и не называть это совершенно особое понятие термином "рудная формация".

Особо следует остановиться и на предложениях В.А.Жарикова (1968), который считает неоправданным применение понятия "рудная формация" к группам месторождений, сходных по своим минералогическим и геологическим чертам и, по аналогии с метасоматической формацией считает целесообразным под рудной формацией понимать совокупность рудных фаций, возникающих в одном, генетически едином геологическом процессе. Или иначе: "рудная формация представляет собой совокупность парагенезисов, сложенных рудными и петрогенными минералами, которые образованы в различных (по температуре, глубинности, подвижности компонентов и активности вполне подвижных компонентов) фациальных условиях, но возникли в одном, генетически едином рудном процессе.

Сопоставив это определение с приведенным выше определением генетического типа месторождений по С.С.Смирнову (1947), легко убедиться в их значительной аналогии.

В то же время В.А.Жариков под генетическим типом месторождений предлагает понимать "четко индивидуализированный и повторяющийся в земной коре тип минерального скопления, образованный в результате закономерного сочетания нескольких геологических процессов и характеризующихся сходством: а) минерального состава и парагенетических ассоциаций; б) состава вмещающих пород, в) структурно-геологической обстановки формирования".

Таким образом, то, что нами и многими другими геологами-рудниками называется рудной формацией, В.А.Жариков предлагает называть генетическим типом, а то, что считается генетическим типом - рудной формацией.

Необходимость в такой перестановке понятий далеко не очевидна, особенно, если учесть то обстоятельство, что принятое в данной работе определение рудной формации складывалось исторически, независимо от понятий о геологических, магматических или метасоматических формациях, и вытекает из упоминавшихся выше классических трудов по геологии рудных месторождений.

В.А.Жариков предлагает также ввести понятие о "рудных фациях", представляющих собой совокупность парагенезисов, сложенных рудными (промышленно-ценными) и петрогенными минералами, образованными в определенных, одинаковых геологических и физико-химических условиях, или по другому: рудная фация или фация руд представляет совокупность парагенезисов, сложенных рудными (промышленно ценными) и петрогенными минералами, которые образованы при различных соотношениях содержаний инертных компонентов в определенных, одинаковых условиях температуры, давления (т.е. глубинности), подвижности компонентов и активности (химических потенциалах) вполне подвижных ком-

понентов. Касаясь предложенных В.А.Жариковым определений, можно заметить, что вопросы о температуре, глубине и поведении при рудообразовании различных компонентов являются очень сложными и на отдельных конкретных месторождениях далеко не всегда могут быть решены современными методами исследований. Не ясно, что понимать под "одним, генетическим единым, геологическим процессом". Следовательно, выделение рудных формаций, сделанное в соответствии с предложением В.А.Жарикова пока еще будет допускать много гипотетических моментов и классификационное положение целого ряда месторождений не сможет быть однозначно определено.

Расхождение в вопросах выделения рудных формаций и определение формационного типа месторождений у отдельных исследователей иллюстрируют данные табл. 1, в которой показано количество рудных формаций, выделяемых различными исследователями. Как легко заметить, оно изменяется от 50 до 104.

Таблица 1

Распределение эндогенных рудных формаций по генетическим типам и общее их количество у различных авторов (по А.А.Малахову с дополнениями)

Автор	Год	Генетический тип					Всего выделе- но фор- маций
		собст- венно маг- ма- тиче- ский	пегма- тито- вый	кар- бона- тито- вый	скар- новый	гидро- тер- маль- ный	
Н.И.Богданович	1912- 1913	7	-	-	6	-	13
Ф.Бейшлаг,	1914-	7	-	-	6	72	85
П.Круш, И.Г.Фогт	1921		11				
В. Линдгрэн	1928	8	9	-	9	49	77
В.А.Обручев	1934	6	10	-	9	53	77
Г.Шнейдерхен	1941	14	4	-	12	68	104
А.Г.Бетехтин и др.	1946	6	7	-	7	43	60
И.Г.Магакьян	1950	5	8	-	10	28	50
Е.Е.Захаров	1953	5	7	-	10	59	82
И.Г.Магакьян	1955	5	14	-	12	40	64
Г.Шнейдерхен	1955	5	13	-	10	75	104
В.И.Смирнов	1965	9		3	12	52	89
Д.И.Горжевский,		8					
В.Н.Козеренко	1965	7	3	-	7	29	47
Р.М.Константинов	1965	3	6	1	9	37	60
Г.А.Твалчредзе	1966	8	-	-	7	36	46
И.Г.Магакьян	1967		1	1	1	19*	

* И.Г.Магакьяном как особая генетическая группа (типа) выделяются грейзеновые месторождения.

Это обстоятельство свидетельствует об отсутствии четких критериев в выделении рудных формаций и о том, что разными исследователями используются различные по объему и детальности геологические материалы. По-видимому, нужны более четкие критерии формаций и выделение отдельных формаций необходимо основывать на анализе максимального объема сведений о месторождениях.

Следует отметить, что сам вопрос об использовании понятия о рудных формациях и определение этого понятия до настоящего времени остаются до некоторой степени дискуссионными. Отдельные исследователи с тех или иных позиций критикуют это понятие и сам термин, предлагая вместо него другие понятия.

Среди этих исследователей наибольший интерес представляют, по нашему мнению, предложения В.В.Иванова (1963, 1969) и Ф.Н.Шахова (1966). В.В.Иванов считает целесообразным классифицировать месторождения по минералого-геохимическому составу руд. Он выделяет следующие семейства и типы руд: окисно-кремниевые с силикатами и без них, силикатно (сульфидно)-кремнево-железистые с сульфидами и без них, сульфидно (окисно)-железистые с силикатами, карбонатами или без них, сложного изменчивого состава с типами: а) окисно-карбонатным с сульфидами, сульфоантимонитами, сульфоарсенидами или без них; б) окисно-фторидным с сульфидами, карбонатами или без них; в) окисно-сульфатным с сульфидами, карбонатами или без них; г) карбонат-сульфидными с силикатами, окислами или без них; д) сульфатным с сульфидами или без них.

Легко видеть, что каждое из выделяемых В.В.Ивановым семейств руд отвечает определенной группе рудных формаций. Предполагаемая им система подчеркивает при этом геохимическую общность этих групп. Например, окисно-кремниевое семейство объединяет месторождения кварцево-касситеритовой, кварцево-вольфрамитовой, кварцево-молибденитовой и некоторых других формаций.

Предложенная В.В.Ивановым классификация, по своему существу представляющая минералого-геохимическую классификацию руд, по-видимому, хорошо может служить соответствующим целям, но не может заменить формационной классификации месторождений, основанной на группировке месторождений, как геологических тел, имеющих определенные взаимосвязанные минеральный состав и геологические условия нахождения.

Ф.Н.Шахов (1966) считает, что выделение формаций по принципу минеральных парагенезисов (устойчивых минеральных комплексов) возможно лишь применительно к гидротермальным метасоматическим породам. Соответственно могут быть выделены формации скарновых руд, фельдшпатизированных пород, карбонатизированных пород (доломитов), каолиновых пород и опалитов. Для жильных и штокверковых месторождений использование устойчивых минеральных комплексов затруднительно, так как руды здесь имеют сложный минеральный состав и в них можно установить сосуществующие разнообразные устойчивые минеральные комплексы. Поэтому для жил Ф.Н.Шахов рекомендует выделять формации по принципу геохимических ассоциаций элементов.

Несмотря на справедливость большей части высказываний Ф.Н.Шахова, все же можно заметить, что выделение формаций по принципу геохимических ассоциаций элементов требует такой степени детальности исследо-

вания месторождения, какой не нужно при выделении формаций с использованием минеральных ассоциаций и геологических условий образования.

В.В.Богацкий (1966), подвергая критике существующие представления о рудных формациях и отрицая их полезность для решения прогнозно-металлогенических задач, предлагает следующие новые понятия: металлогеническое семейство, объединяющее месторождения, связанные единым образованием с тектономагматическим режимом развития геологической структуры (металлогенический ареал) и металлогенический тип, объединяющий однородные металлогенические семейства месторождений (независимо от их возраста), когда они порождены принципиально-сходными тектоническими режимами.

Можно отметить некоторую неопределенность в формулировках, предложенных В.В. Богацким, новых понятий, хотя и нельзя отрицать справедливость части критики по адресу содержания понятий о рудных формациях. Но в то же время можно указать, что предложенные новые понятия не заменяют понятия о рудной формации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сущность понятия рудных формаций, как и исторически сложившийся подход к их изучению, требуют в первую очередь получения достаточно полной характеристики минерального состава. Сходный минеральный состав, как было сказано выше, является необходимым признаком месторождений одной рудной формации.

Начинать следует с минерального состава хотя бы и потому, что эта характеристика может быть дана более объективно, чем характеристика геологических условий их нахождения, так как в ней могут быть использованы полуколичественные или даже количественные данные содержания минералов в рудах. В связи с тем, что основные понятия, которыми пользуются при описании пространственных и временных соотношений минералов в рудах, не являются общепринятыми, представляется целесообразным сначала уточнить эту систему понятий применительно к поставленным задачам.

Некоторые основные понятия, характеризующие вещественный состав руд и возрастные категории процессов рудообразования, необходимые для выделения рудных формаций

Автор ранее уже касался систематизации понятий, относящихся к вещественному составу руд и возрастным категориям процессов рудообразования, в связи с выделением рудных формаций (Р.М. Константинов, 1963, 1965). В данной работе определения этих понятий приводятся с учетом некоторых критических замечаний (Горжевский, Бородаевский, 1966; Твалччелидзе, 1966), сделанных по поводу упомянутых работ автора в печати. Учтены также новые публикации в печати, посвященные этим вопросам, среди которых особо следует отметить работы Н.В.Петровской (1965), Д.В.Рундквиста (1965), В.А.Кузнецова, Э.Г.Дистанова и др. (1966₁, 1966₂), А.Д.Шеглова (1966), И.Г.Магакьяна (1967).

Прежде всего при определении формационной принадлежности месторождений имеет значение группа минералов, типичная для данной формации, повторяющаяся на всех относящихся к ней месторождениях.

В качестве метода определения роли различных групп минералов и определения среди них типичных, необходимых для выделения рудных формаций, автором было принято предложение Н.В.Петровской (1960),

которое было развито им применительно к нуждам формационного анализа месторождений. В соответствии с предложением Н.В.Петровской, реализованным ею на примере золоторудных месторождений, минералы, слагающие рудные тела месторождений, могут быть подразделены на следующие группы:

1. Устойчивые (состоящие из рудных и жильных минералов), повторяющиеся не только по составу, но и по характеру соотношений с другими минералами в самых различных месторождениях.

2. Изменчивые, состоящие главным образом из нерудных минералов, виды которых меняются в месторождениях различных районов в связи с изменением состава вмещающих пород.

3. Чуждые, не имеющие прямой генетической связи с главными рудными минералами и являющиеся результатом наложения других процессов.

Кроме этих групп минералов автором была выделена еще одна группа, образование которой не связано с влиянием вмещающих пород или какими-либо наложенными процессами и в то же время не типичная для данной формации, и как бы намекающая переход к другим рудным формациям, где она является устойчивой. Это группа минералов, появление которой связано с закономерным развитием процесса минералообразования для месторождений данной формации, как бы несущих в своем минеральном составе признаки, характерные для других, близких формаций. Она может быть названа переходной группой минералов.

Рудную формацию при таком подходе в основном характеризуют устойчивые группы минералов, которые должны быть положены в основу сравнительного минералого-геохимического изучения близких по типу месторождений и выделения рудных формаций. Эта устойчивая минеральная группа должна состоять, во-первых, из количественно преобладающих минералов, во-вторых, из минералов, определяющих практическую значимость месторождений и, в-третьих, иногда из некоторых минералов, количество которых может быть незначительно, но которые являются важными для определения формационной принадлежности месторождения, как бы "типоморфными" для данной формации. Так, например, к ним могут быть отнесены адуляр в золото-серебряно-адуляровой формации или зеленый турмалин в редкометалльных пегматитах.

В качестве примеров можно указать, что для касситерит-кварцевой формации отчетливой устойчивой минеральной группой являются кварц, мусковит, топаз, арсенопирит, пирит; для кварцево-вольфрамитовой - кварц, мусковит, вольфрамит; для галенит-сфалеритовой - галенит, сфалерит, кварц, кальцит. Выявление подобного рода устойчивых минеральных групп, приводящее к определению формационной принадлежности данного месторождения, легче всего производится путем сравнения состава данного месторождения с составом других месторождений района и провинции.

Для количественной характеристики вещественного состава руд минералы, установленные на одном каком-либо месторождении, обычно подразделяются на главные, второстепенные и редкие или на главные, распространенные, мало распространенные и редкие. Более подробно вопрос о шкале оценки содержания минералов в рудах будет рассмотрен ниже.

Однако следует постоянно учитывать, что одно лишь сравнение минерало-геохимических особенностей месторождений не позволяет выделить рудные формации или определить формационный тип месторождения. Обязательным является тщательное изучение геологической ситуации нахождения этих месторождений, методы которого также будут рассмотрены ниже в специальных разделах.

Важное значение для выделения рудных формаций и определения формационного типа месторождения может иметь последовательность сменяющих друг друга во времени минеральных ассоциаций. В связи с этим, а также для удобства дальнейшего изложения приведем определения некоторых понятий, характеризующих возрастные категории процессов рудообразования и их вещественное отображение в минеральном составе рудных тел.

Наиболее длительным здесь является период, называемый циклом рудообразования, генетическим циклом (Жариков, 1956, 1965; Томсон и др., 1964; Р.М. Константинов, 1965). Под циклом рудообразования понимается отрезок времени, в котором появились группы рудных формаций, закономерно сменяющие друг друга во времени, составляющие "рудную серию" по С.С.Смирнову (1944). Более высокотемпературные месторождения сменяются более низкотемпературными, состав рудообразующих растворов изменяется от щелочных к кислым и затем снова к щелочным. Примеры генетических циклов и соответствующих им "рудных серий" рассмотрены ниже в разделе о возрастных соотношениях месторождений различных рудных формаций. Эти примеры основаны на материалах исследования рудных формаций Забайкалья. Анализ литературных данных показывает существование таких же "рудных серий" в других металлогенических провинциях.

Подробнее вопрос о "рудных сериях" и соответствующих им периодах - циклах, так же как и данные об их длительности, полученные в результате большого количества определений абсолютного возраста пород и руд в Восточном Забайкалье и Приморье, будет освещен ниже. Здесь же отметим, что длительность каждого соответствующего цикла достигает 20-30 млн. лет (Константинов, 1965). Эти циклы являются проявлением общей цикличности геологических процессов в сфере магматогенного рудообразования, на которую обратил внимание Д.В.Рундквист (1965, 1968).

Переходя к этапам минерализации, следует указать, что понятие это не является в настоящее время строго определенным, и большинством геологов разделяются часто скорее интуитивно, чем на основании четких критериев.

Под этапом минерализации многими понимается часть цикла рудообразования, характеризующаяся определенными ограниченными изменениями физико-химических параметров процессов (например, рудообразование вызывалось преимущественно высокотемпературными щелочными растворами). По А.Г.Бетехтину (Бетехтин и др., 1958) этапы минерализации бывают связаны с деятельностью одних и тех же магматических источников.

Как показывают исследования абсолютного возраста рудных образований, проводившиеся в Восточном Забайкалье и Приморье, материалы

которых подробнее изложены ниже, этапы минерализации бывают разделены значительными промежутками времени (5-10-20 млн. лет; Константинов, 1966, Константинов и др., 1967) и делятся 900-750 тыс. лет (Котляр, 1966), но продолжительность их, по-видимому, сильно изменяется в зависимости от глубины, на которой происходят процессы рудообразования. Для месторождений по мере уменьшения глубины их образования длительность этапов минерализации, вероятно, значительно сокращается.

Н.В.Петровская (1965) указывает, что периоды между рудными этапами местами отмечаются признаками оживления магматической деятельности - внедрениями даек, секущих руды раннего этапа и несущих признаки более поздней рудной минерализации (колчеданные месторождения Южного Урала, некоторые золоторудные месторождения Забайкалья и др.). Иногда этапы минерализации бывают разделены периодами мощных тектонических движений, которые вызывают интенсивный метаморфизм более ранних руд и расщепление вмещающих пород. Более поздние минеральные агрегаты не несут следов тектонического воздействия, а особенности их расположения позволяют предполагать изменение плана деформаций, обусловившие возникновение или раскрытие рудовмещающих трещин.

Обычно в результате одного этапа минерализации образуются месторождения одной рудной формации, однако при наличии зональности и пространственного разобщения различных по составу рудных тел, могут одновременно образоваться месторождения двух и более рудных формаций.

Следующий, важной для формационного анализа возрастной категорией процессов рудообразования является стадия минерализации. Под стадией минерализации, по А.Г.Бетехтину (Бетехтин и др., 1958) понимаются процессы минерализации, разделенные во времени относительно короткими интервалами, но протекающие в течение одного какого-либо этапа минерализации. Как уже указывалось, понятие этапа минерализации не является строго определенным. Это в ряде случаев затрудняет и выделение стадий минерализации. С.С.Смирнов (1937) подчеркивал связь стадий рудоотложения с периодами отделения магматических дистиллятов, поступающих отдельными порциями из рудогенерирующего магматического очага.

Подробный анализ определения стадии минерализации дан З.А.Образцовой (1962), Н.В.Петровской (1965), Ю.Г.Григорчуком (1965), И.Н.Кицаем (1966) и другими авторами. В соответствии с предложением Н.В.Петровской минеральная ассоциация, являющаяся вещественным выражением стадии минерализации автором называется стадийной минеральной ассоциацией. Здесь отметим лишь, что в порядке обсуждения можно предложить следующий путь для выделения стадии минерализации.

Обычно возникает вопрос, нужно ли при определении стадии минерализации исходить из каждого нового момента внутриминерализационного тектонического дробления, приводившего к появлению новых минеральных агрегатов (даже если они по составу существенно не отличаются от предыдущих или последующих), или основываться на возникновении новых, отличающихся по составу ассоциаций. Очевидно, что стадия ми-

нерализации должна прежде всего характеризовать отрезок времени, соответствующий заметной эволюции состава гидротермальных растворов.

Как известно, вопрос о характере отделения рудоносных растворов от магматического очага — пульсирующем или непрерывном — также является дискуссионным. Однако обе точки зрения признают эволюцию состава растворов во времени путем изменения состава каждой отдельной порции или в процессе непрерывного отделения и изменения по мере охлаждения рудоносного интрузива. Параллельно и, возможно, в какой-то степени взаимосвязанно с процессом отделения магматогенных растворов идет процесс образования тектонических нарушений. Если при этом раствор эволюционирует медленно, а частота внутриминерализационных тектонических дроблений, вызывающих появление новых полостей и выпадение новых порций минералов, велика, то наблюдается почти полное повторение одних и тех же минеральных ассоциаций. Напротив, если частота внутриминерализационных подвижек по отношению к скорости эволюции состава раствора мала, то каждая новая подвижка будет совпадать с новым состоянием раствора и соответственно будет появляться новая минеральная ассоциация.

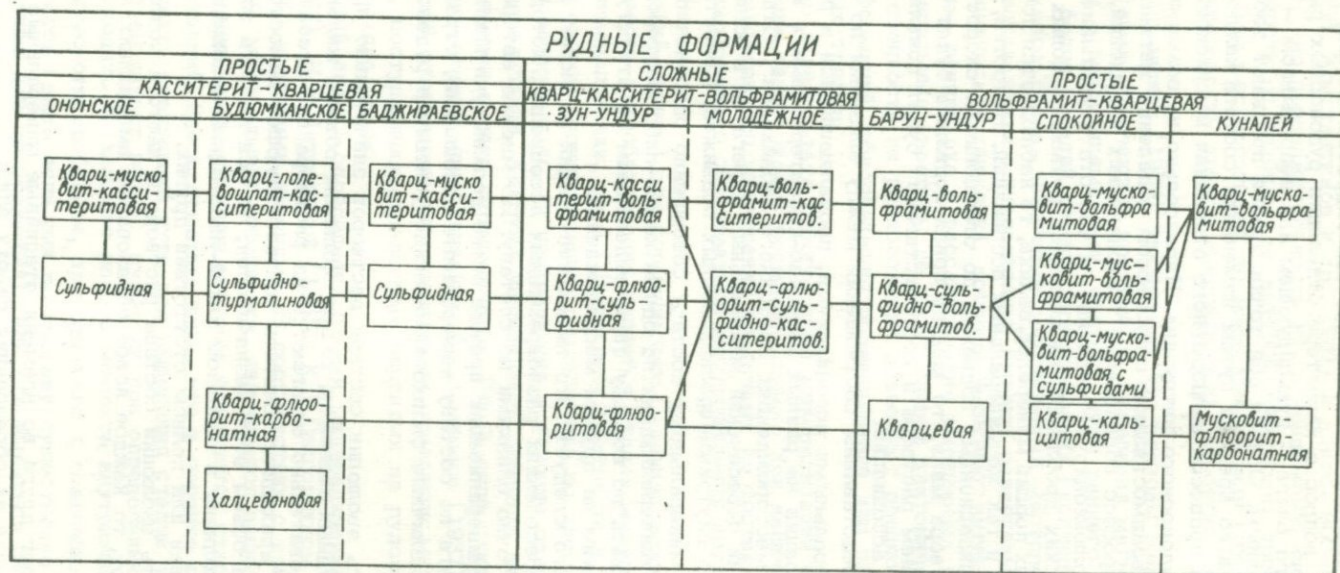
На фиг. 2 представлены соотношения между близкими по составу стадийными минеральными ассоциациями, проявляющимися в различные стадии минерализации на разных кварцево-касситеритовых и кварцево-вольфрамитовых месторождениях Восточного Забайкалья¹. Стадии выделены на основании пересечений минеральных агрегатов в жилах, возникших в результате внутриминерализационных подвижек. Сопоставление этих стадий по минеральному составу совершенно однозначно показывает, что одна стадия минерализации на одном каком-либо месторождении может соответствовать по составу двум выделенным по структурным пересечениям стадиям на другом месторождении.

Из сказанного следует, что выделение стадий не может быть основано лишь на пересечениях разновременных ассоциаций, которые могут оказаться достаточно близкими по составу. По мнению автора, при выделении стадий минерализации прежде всего должны учитываться сменяющие друг друга по составу минеральные ассоциации, отражающие принципиально различные физико-химические условия в рудоносных растворах.

Если скорость эволюции состава растворов значительно превосходит частоту интравудных подвижек, то при большом объеме жильной полости в ней последовательно отлагаются из раствора все ассоциации, каждую из которых приходится считать соответствующей самостоятельной стадии. Если же объем этот незначителен, то вся полость жильной трещины будет выполнена в основном какой-либо одной ассоциацией при слабом проявлении или полном отсутствии других.

Если скорость эволюции состава раствора и частота подвижек примерно совпадают, то каждое новое образование вмещающих минерализа-

¹Сменяющие друг друга во времени стадийные минеральные ассоциации показаны в порядке их образования сверху вниз.



Фиг. 2. Соотношение стадий минерализации в оловянных и вольфрамовых месторождениях Восточного Забайкалья

цию полостей будет соответствовать новому составу растворов. Однако состав растворов не всегда отвечает составу какой-либо одной ассоциации, обычно наряду с выпадением одной главной ассоциации в меньших количествах образуются и другие. Соответственно со сменяющимися друг друга одновременными и различными по составу ассоциациями выделяются стадии минерализации.

Наконец, если скорость эволюции растворов значительно меньше частоты подвижек, что часто отмечается в рудных штоках, то наблюдаются взаимные пересечения прожилков, иногда очень близких по своему минеральному составу. В таких случаях, помимо стадий минерализации для пересекающихся, но мало отличающихся друг от друга по составу минеральных ассоциаций, приходится выделять подстадии (или "субстадии").

В согласии с изложенным находятся и принципы выделения стадий минерализации, сформулированные Г.А.Бетехтиным, А.Д.Генкиным и другими (1958). По их мнению, стадии минерализации можно выделять по следующим признакам: 1) по пересечению ранних минеральных отложений жилками и прожилками новой стадии минерализации, отличающимися по своему составу и прослеживающимися в забоях горных выработок на разных горизонтах месторождений; 2) по брекчированию ранее отложенных руд, обломки которых сцементированы минеральными массами, выпавшими из позднее поступивших растворов в связи с образованием тектонических подвижек.

Сложнее выделение стадий минерализации на метасоматических месторождениях, где изменение ассоциаций минералов происходит в зависимости от пространственного положения. В этом случае выявление одновременных ассоциаций возможно лишь на основании отчетливых пересечений более древних более молодыми или при очень резком изменении состава ассоциаций минералов. Здесь чаще приходится говорить о фациальном изменении состава минеральной ассоциации, выпавшей в одну стадию минерализации.

При выделении стадий минерализации, как выяснилось в результате исследований последних лет (Жариков, 1956, 1965; Григорчук, 1965; Кигай, 1965, 1966 и др.), выявилось большое значение околорудных изменений, как для выделения стадий минерализации, так и для познания общих закономерностей изменения процессов рудообразования во времени. Намечается, что на фоне общей эволюции состава гидротермальных растворов, начинающейся с возрастающей кислотности, переходящей затем к кислотному выщелачиванию и нейтрализации, каждая стадия минерализации сопровождается своим небольшим циклом изменения растворов. В результате в одну и ту же стадию в начале происходит кислотное выщелачивание, а в конце — отложение компонентов из раствора.

Для того чтобы яснее представить сказанное о минеральном составе группы месторождений, составляющих рудную формацию, изобразим его следующим образом. Если минералы, слагающие устойчивую минеральную группу, обозначить через "У", минералы, входящие в состав изменчивой группы, связанной с влиянием вмещающих пород, через "В", минералы, возникающие в результате наложения иных процессов, через

"Ч" (чуждая минеральная группа) и минералы, характерные для другой родственной рудной формации, образующие переходную минеральную группу, через "П", то минеральный состав месторождения "М" в оптимальном случае представляет собой сумму: $M = Y + B + Ч + П$.

В то же время, необходимо учесть, что месторождения, принадлежащие к одной рудной формации, образуются обычно в несколько стадий, каждой из которых соответствует своя стадийная минеральная ассоциация. Состав этих стадийных минеральных ассоциаций близок для всех месторождений, принадлежащих к одной формации. Обозначив эти ассоциации индексами 1, 2, 3 . . . n, получаем, что в идеальном случае, когда в каждой стадийной минеральной ассоциации присутствуют все выделенные минеральные группы, минеральный состав месторождения может быть выражен следующей формулой:

$$M = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) + (B_1 + B_2 + \dots + B_n) + (Ч_1 + Ч_2 + \dots + Ч_n) + (П_1 + П_2 + \dots + П_n).$$

Таким образом, устойчивая минеральная группа, имеющая главное значение для выделения рудных формаций, представляет собой устойчивые минеральные группы каждой отдельной стадийной минеральной ассоциации $Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$.

Следовательно, определение формационного типа месторождения по минеральному составу основано на комплексе минералогических исследований, в результате которых должно быть:

1. Установлена принадлежность минерализации месторождений к одному или нескольким этапам. Дальнейшие исследования и определения формационной принадлежности следует вести раздельно для минеральных ассоциаций, образовавшихся в один этап.
2. Выявлены стадийные минеральные ассоциации и соответствующие каждой из них типы гидротермальных изменений вмещающих пород.
3. Выделены преобладающие для данного месторождения и содержащие полезные компоненты стадийные минеральные ассоциации (или, если определение формационного типа происходит на первых этапах исследования месторождения – возможные полезные компоненты).
4. Среди известных рудных формаций, содержащих полезные компоненты, обнаруженные в исследуемом месторождении, установлены такие, которые по своим характерным группам наиболее близки к исследуемому месторождению.

Для дальнейшего уточнения формационной принадлежности месторождения должны быть использованы особенности его геологического формирования.

Рассмотрим несколько примеров использования минерального состава для определения формационной принадлежности месторождений путем простого сравнения его минерального состава и устойчивых минеральных групп соответствующих рудных формаций.

Антоновогорское месторождение в Восточном Забайкалье содержит в качестве главных минералов кварц, вольфрам, мусковит, в качестве второстепенных минералов – пирит, в качестве редких – полевой шпат, сфалерит, висмутин, халькопирит, флюорит. Полезным компонентом в рудах этого месторождения является вольфрамит.

К вольфрамитсодержащим рудным формациям относятся олово-вольфрам-литиевые пегматиты, для которых устойчивой является группа минералов, состоящая из касситерита, вольфрамита, лепидолита, сподумена, полевых шпатов, кварца, мусковита, турмалина; вольфрамит-кварцевая формация, где устойчивая минеральная группа представлена кварцем, вольфрамитом, мусковитом, молибденитом, арсенопиритом и другими сульфидами; вольфрамит-сульфидная формация, для которой характерны кварц, вольфрамит, сфалерит, жильбертит, микроклин, шеелит (Константинов, 1965).

После обычного визуального сравнения минерального состава Антоновгородского месторождения с составом вольфрамитсодержащих рудных формаций становится очевидным, что по этим признакам месторождение близко к кварцево-вольфрамитовой формации.

Однако, если исходить только из минерального состава, не всегда удастся прийти к однозначному решению и потребуется применение некоторых специальных приемов, рассмотренных ниже.

Так, например, для свинцово-цинковых месторождений Силезии характерны сфалерит, вюрцит, галенит, пирит, марказит, кальцит, доломит (Звижицкий, 1951). Такой минеральный состав может быть или в галенит-сфалерит-карбонатной формации стратиформных месторождений или в галенит-сфалеритовой формации жильных гидротермальных месторождений в карбонатных породах (Константинов, 1965, Магакьян, 1967). Таким образом, в этом случае решить вопрос о формационной принадлежности месторождений невозможно без учета геологической обстановки.

Рассмотренные два примера являются крайними случаями, обычно же минеральный состав месторождения позволяет высказать соображения о вероятной формации, к которой оно относится и затем эти соображения подкрепляются или опровергаются геологическими данными.

К качестве последнего примера рассмотрим минеральный состав Хрустальненского оловорудного месторождения (Приморье). На этом месторождении можно выделить четыре стадии минерализации. Состав соответствующих минеральных ассоциаций показан в табл. 2, в которой подчеркнуты главные минералы. Список главных минералов в последовательности их образования следующий: кварц, касситерит, пирротин, пирит, касситерит; сфалерит, галенит, кварц, кальцит.

Наиболее распространены первая (кварцево-касситеритовая) и вторая (пирротиновая) минеральные ассоциации. Однако в верхних горизонтах рудных тел преимущественным развитием пользуются кварцево-карбонатная и галенит-сфалеритовая ассоциации. Поскольку промышленным минералом является касситерит, очевидно, данное месторождение должно найти свое место среди оловорудных формаций, характеристика минерального состава которых известна из литературы (Геология олова, 1947; Радкевич, 1953, 1956; Материкив, 1964; Константинов, 1965).

Вопрос о классификации оловорудных месторождений будет освещен ниже подробнее, здесь же отметим, что в упомянутых работах выделяемые формации оловорудных месторождений отличаются главным образом в деталях. Обычно выделяются следующие оловорудные формации гидротермальных месторождений.

Минеральные ассоциации, соответствующие стадиям минерализации на месторождении Хрустальненском (Приморье)

Стадии минерализации Ассоциации	Кварцево-касситеритовая	Пирротиновая	Галенит-сфалеритовая	Кварцево-карбонатная
Минеральные ассоциации жильного выполнения	Кварц Касситерит Хлорит Турмалин Сфалерит Галенит Арсенопирит	Пирротин Пирит Касситерит Сфалерит Арсенопирит Халькопирит Станнин Магнетит	Сфалерит Галенит Арсенопирит Хлорит Марказит Сидерит	Кварц Флюорит Кальцит Хлорит Шеелит
Минеральные ассоциации окорудных измененных пород	Турмалин Кварц Хлорит Альбит Эпидот Апатит	Серицит Кварц	Хлорит Кварц	Кальцит Сидерит

Редкие минералы различных стадий минерализации: кубанит, валлериит, висмутин, самородный висмут, магнетит, апатит, рутил, золото, серебро, вюртцит, монтмориллонит, блеклая руда, лёллингит.

1. Касситерит-кварцевая формация, где главными минералами являются кварц, касситерит, топаз, мусковит, иногда калиевый полевой шпат, вольфрамит, арсенопирит.

2. Касситерит-силикатная формация, где главными минералами являются турмалин (или хлорит), кварц, касситерит, арсенопирит, пирротин, пирит.

3. Касситерит-сульфидная формация, в которой главные минералы представлены кварцем, касситеритом, арсенопиритом, пирротинном, галенитом, сфалеритом, кальцитом.

Таким образом, простым визуальным сравнением выясняем, что Хрустальненское месторождение по валовому минеральному составу ближе всего стоит к касситерит-сульфидной формации, отличаясь от типичных месторождений этой формации пониженными концентрациями арсенопирита. Соответствует этой формации и порядок минералообразования, так как в месторождениях касситерит-сульфидной формации обычно различаются четыре стадии: кварц-касситерит-арсенопиритовая, пирротинная (с пиритом, касситеритом, сфалеритом, галенитом и др.), галенит-сфалеритовая и кварцево-карбонатная. Таким образом, особенности минерального состава Хрустальненского месторождения близки к особенностям состава месторождений касситерит-сульфидной формации. Окончательное подтверждение этому выводу может быть получено из сравнительного анализа геологической обстановки, сопутствовавшей образованию Хрустальненского месторождения и геологических ситуаций, типичных для перечисленных выше оловорудных формаций.

Применение простых методов распознавания образов для исследования минерального состава месторождений при формационном анализе

По известному минеральному составу рудных формаций или минеральному составу месторождений, формационная принадлежность которых уже известна, можно с помощью простых методов, заимствованных из теории распознавания образов, определить вероятный формационный тип какого-либо нового месторождения, минеральный состав которого достаточно изучен (Константинов, Бунич, 1967; Васильев, 1969). Используемые приемы распознавания образов в общем случае могут дать решения хуже оптимальных, получаемых на основе статистических методов. Однако эти приемы позволяют получать более или менее удовлетворительные результаты там, где неизвестно, каким должно быть оптимальное решение. Кроме того, давая приближенные, но в то же время с геологических позиций вполне оправданные выводы, они выгодно отличаются простотой вычислений. Возможность применения методов математической статистики кратко освещена в конце раздела.

Приступая к изложению существа этих методов, следует сразу же оговориться, что их применение становится целесообразным лишь тогда, когда принадлежность месторождения к определенному минеральному типу или формации вызывает сомнения. Так, например, если рудные тела месторождения сложены в основном сульфидами (допустим пирит-сфалерит-галенитовыми агрегатами, содержащими золото), то нет смысла с помощью разбираемых ниже способов сравнивать их с составом

рудных тел, состоящих почти целиком из кварца. Сначала нужно определить принадлежность месторождения к группе существенно кварцевых, сульфидных или каких-либо других формаций. Разбираемые ниже методы помогают выявить сходство и различия минерального состава месторождений внутри одной такой группы.

Количественная оценка степени близости между объектами — месторождениями определяется ниже как коэффициент сходства. Последний является термином свободного пользования.

Самый простой метод при этом заключается в следующем. Минеральный состав каждого из сравниваемой пары месторождений (или нового месторождения и рудной формации) изображается в виде цифр, отражающих в какой-то условной системе относительное содержание соответствующего минерала; отсутствие минерала обозначается нулем. Соотношения оценки содержания минералов в баллах с их процентным содержанием даны ниже в табл. 3.

Для примера приведем два оловорудных месторождения, в которых содержание присутствующих минералов характеризуется в пятибалльной системе (табл. 4). Коэффициент близости этих месторождений по минеральному составу вычисляется по формуле:

$$\rho = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_{\max}},$$

где σ — сумма модулей разностей содержаний одноименных минералов, а $\sigma_{\max}$ — максимальная сумма модулей разностей для данной группы месторождений. Результаты подсчетов приведены в табл. 5.

Из всех предложенных ранее методов (Константинов, Бунич, 1967) сравнение составов месторождений, по-видимому, наиболее точно можно произвести следующим простым способом, известным из теории распознавания образов (Васильев, 1969).

Прежде всего отметим, что минеральный состав месторождения может быть охарактеризован перечислением слагающих минералов и указанием их относительных количеств. В этом случае минеральный состав месторождения есть сложный вектор, т.е. величина, имеющая определенное количество компонентов или составляющих (Эшби, 1959). Так, предположим, что по радио дается характеристика положения бегунов на маратонской дистанции в определенный момент времени. Перечень бегунов и характеристика их положения, дающие представление о состоянии бега в целом, также будет вектором.

Представим таким методом минеральный состав сравниваемой пары месторождений в виде двух сложных векторов $((h_1, h_2 \dots h_n)(h'_1, h'_2 \dots h'_n))$. Каждый компонент (h) соответствует вполне определенному минералу и его количеству в рудных телах месторождения, т.е. является вектором, для которого минерал — ось координат, а его содержание — компонент вектора. Таким образом получаем соответствие между минеральным составом месторождений и сложными векторами, состоящими из n -компонент. Тогда коэффициент сходства между минеральным составом пары каких-либо месторождений может быть охарактеризован косинусом угла между этими n -мерными векторами, соответствующими минеральному составу сравниваемой пары и вычисляется по формуле (Хедли, 1968):

$$\rho_{hh'} = \frac{\langle hh' \rangle}{|h| |h'|} \quad (1)$$

где $\rho_{hh'}$ — коэффициент сходства; $\langle hh' \rangle$ — скалярное произведение вектора "n" с компонентами $(h_1 h_2 \dots h_n)$ на вектор "n" с компонентами $(h'_1, h'_2, \dots, h'_n)$, равное $h_1 h'_1 + h_2 h'_2 + \dots + h_n h'_n$; $|h|$ и $|h'|$ равны соответственно

$$|h| = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2} \quad \text{и} \quad |h'| = \sqrt{h_1'^2 + h_2'^2 + \dots + h_n'^2}$$

Например, коэффициент сходства между минеральными составами Хапчеранги и Этыки I, представленными в табл. 4, будет подсчитываться следующим образом.

1. Подсчитывается сумма квадратов компонент. Для Хапчеранги она равна $h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2 = (4)^2 + (4)^2 + \dots + (1)^2 = 125$. Для Этыки I сумма квадратов $(h'_1)^2 + (h'_2)^2 + \dots + (h'_n)^2 = 88$.

2. Получаем скалярное произведение векторов, т.е. $h_1 h'_1 + h_2 h'_2 + \dots + h_n h'_n$. Для Хапчеранги и Этыки I это произведение равно 55.

3. Дальнейший подсчет ведем по формуле (1):

$$\rho_{hh'} = \frac{\langle h; h' \rangle}{|h| |h'|}$$

Для Хапчеранги и Этыки I

$$\rho = \frac{55}{\sqrt{125 \cdot 88}} \approx 0,50.$$

Расчет по этому методу степени сходства между составами Этыки I и Этыки II, приведенными в табл. 5, дает $\rho = 0,86$ (кварц-кассите-

Таблица 3

Соотношения между содержанием минерала, оцененным в баллах, и его весовым содержанием в процентах для оловорудных месторождений

Вес. содержание, %	Кварц	Альбит	Арсе-нопи-рит	Ба-рит	Гале-нит	Каль-цит	Пи-рит	Си-де-рит	Сфа-ле-рит	Тур-ма-лин	Хло-рит	Осталь-ные мине-ралы в рудах
Свыше 10	4											
От 10 до 0,5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
От 0,5 до 0,1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
От 0,1 до 0,01	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Менее 0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Количественные характеристики минерального состава сульфидно-месторождения Хапчеранга и кварц-касситеритового месторожде

Месторождения	Кварц	Касситерит	Арсенопирит	Хлорит	Пирит	Пирротин	Станнин	Халькопирит
Хапчеранга	4	4	3	4	2	3	1	2
Этыка I	4	3	3	0	2	1	1	1
Разность	0	+1	0	+4	0	+2	0	+1

Примечание: 4 - много, 3 - среднее количество,

ритовое и кварц-касситеритовое месторождения); Смирновское (сульфидно-касситеритовое) и Этыка I (кварц-касситеритовое) дает $\rho = 0,27$; Смирновское (сульфидно-касситеритовое) и Синанчинское (сульфидно-касси-ритовое) дает $\rho = 0,65$.

Полученные результаты хорошо отражают ранее известные по геологическим данным формационные типы месторождений.

Можно здесь отметить, что все сказанное применимо и для сопоставления многих других групп признаков, имеющих качественные или количественные характеристики.

Методами математической статистики степень сходства между минеральными составами месторождений может быть определена путем сравнения многомерных средних (Миллер, Кан, 1965).

ДРУГИЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Среди минералого-геохимических критериев выделения рудных формаций, помимо рассмотренных выше соотношений минералов и различных минеральных ассоциаций, существенное значение могут иметь окolorудные изменения вмещающих пород, элементы-примеси в рудных и жильных минералах, текстуры и структуры руд, состав и температуры декрепитации газово-жидких включений в минералах, соотношения изотопов свинца, серы в рудных минералах, геохимические особенности ореолов рас-сеивания и многие другие факторы.

касситеритового
ния Этыка I

Сфалерит	Галенит	Карбонаты (кальцит, сидерит и др.)	Кубанит	Валерит	Топаз	Флюорит	Вольфрамит	Мусковит	Марказит	Кал. пол. шпат	Берилл
4	4	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	4	3	1	4	1	1	1
+3	+3	+4	+1	+1	-4	-3	1	4	-1	-1	-1

2 - мало, 1 - минерал редкий, 0 - минерал отсутствует.

Все эти критерии обычно являются дополнительными к минеральному составу руд, но в отдельных случаях могут приобретать решающее значение. Это особенно часто случается при необходимости определения формационного типа месторождения, находящегося в начальной стадии изучения, для которых не решен вопрос о составе первичных руд.

Ниже рассматривается значение окolorудных изменений и элементов-примесей в рудах. Роль этих двух критериев в формационном анализе представляется в настоящее время наиболее изученной. Другие перечисленные критерии также имеют большое значение, как, например, ореолы рассеивания, но возможности их использования для формационного анализа представляют темы для специального исследования и выходят далеко за рамки данной работы.

Следует также отметить, что анализ роли изучения элементов-примесей и типоморфных особенностей минералов не претендует на какую-либо полноту. Он носит сугубо предварительный характер и опирается на круг исследований, с которыми автор в той или иной мере соприкасался лично.

Необходимость использования окolorудных изменений связана с целым рядом обстоятельств. Прежде всего важно отметить, что благодаря работам Д.С. Коржинского и его учеников стало возможным точное, объективное определение формаций и фаций метасоматически измененных и в том числе гидротермально измененных пород.

Гидротермально измененные породы многими исследователями использовались в качестве одной из основных категорий при построении классификации месторождений (например, В.И. Смирнов, 1964; Вольфсон, 1962; Горжевский, 1962; Хрушов, 1959).

Иультин	кв. кас.	0,53	0,47	0,75	0,70	0,71	-	0,53	0,41	0,44	0,48	0,38	0,59	0,56	0,26
Индустри- ально-Ха- таренское	сил. кас.	0,52	0,53	0,70	0,77	0,65	0,68	-	0,44	0,35	0,43	0,41	0,56	0,49	0,35
Депутат- ское	сил. кас.	0,64	0,59	0,21	0,87	0,62	0,70	0,78	-	0,46	0,43	0,27	0,32	0,33	0,28
Льялья- гуа	слф. кас.	0,57	0,53	0,77	0,71	0,63	0,67	0,51	0,73	-	0,70	0,54	0,43	0,40	0,34
Морококо- ло	слф. кас.	0,49	0,47	0,73	0,60	0,55	0,55	0,40	0,75	0,74	-	0,54	0,51	0,52	0,47
Оруро	слф. кас.	0,53	0,62	0,57	0,52	0,56	0,49	0,47	0,54	0,69	0,51	-	0,41	0,46	0,36
Этыка I	кв. кас.	0,52	0,27	0,57	0,56	0,56	0,66	0,51	0,50	0,54	0,50	0,42	-	0,79	0,28
Этыка II	кв. кас.	0,53	0,38	0,55	0,53	0,71	0,63	0,48	0,45	0,43	0,45	0,43	0,86	-	0,34
Синанчин- ское	слф. кас.	0,87	0,65	0,77	0,64	0,51	0,50	0,53	0,56	0,54	0,54	0,51	0,40	0,44	-

Примечания: слф.-кас. - сульфидно-касситеритовое месторождение,
кв.-кас. - кварц-касситеритовое,
сил.-кас. - силикатно-касситеритовое.

Таблица 5

Результаты подсчета корреляции между минеральными составами некоторых оловянных месторождений
 [верхняя правая часть - результаты подсчетов по формуле $\rho = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_{\max}}$ (Константинов, Бунин, 1967),
 нижняя левая часть - результаты подсчетов по формуле (1)]

Место- рождения		Хапчеранга	Смирновское	Лифудзинское	Хрустальненское	Валькумей	Иульгин	Индустриально- Хагаренское	Депутатское	Льяльягуа	Морококоло	Оруро	Этыка I	Этыка II	Синанчинское
	слф. кас.	слф. кас.	сил. кас.	слф. кас.	сил. кас.	кв. кас.	сил. кас.	слф. кас.	сил. кас.	слф. кас.	слф. кас.	слф. кас.	кв. кас.	кв. кас.	слф. кас.
Хапчеран- га	слф. кас.	2	0,56	0,73	0,75	0,40	0,50	0,59	0,46	0,52	0,58	0,52	0,64	0,58	0,56
Смирнов- ское	слф. кас.	0,62	-	0,45	0,35	0,32	0,34	0,45	0,39	0,40	0,46	0,54	0,37	0,42	0,36
Лифудзин- ское	слф. кас.	0,77	0,58	-	0,72	0,54	0,59	0,58	0,56	0,68	0,65	0,50	0,62	0,49	0,43
Хрусталь- ненское	слф. кас.	0,71	0,66	0,84	0,34	0,45	0,66	0,66	0,45	0,45	0,45	0,45	0,33	0,33	0,34
Вальку- мей	сил. кас.	0,56	0,51	0,70	0,62	-	0,50	0,42	0,40	0,45	0,39	0,37	0,40	0,49	0,25

Роль околорудных изменений в формационных исследованиях рудных месторождений в последнее время показана Г.А. Тананаевой (1970) на примере золотых, молибденовых, галенит-сфалеритовых и оловорудных месторождений Восточного Забайкалья и Приморья.

Значение типоморфных особенностей минералов и особенно элементов-примесей при определении рудных формаций было замечено уже при составлении первых формационных классификаций. Так, их значение было отмечено в ставших классическими работах по типоморфизму касситерита Я.Д.Готмана, Ив.Ф.Григорьева и Е.И.Доломановой. Результаты этих исследований суммированы и дополнены в работе Е.И.Доломановой, Р.В. Боярской, А.Д.Ракчеева, Т.А.Яковлевской (1969) и сводятся, в частности, к следующему: а) химический состав касситеритов зависит от их генезиса. В касситеритах пегматитовой формации содержания Та и Nb превышают 1% и достигают 6%; в касситеритах из полевошпат-кварцевых месторождений содержания Та + Nb около 1%; в касситеритах из касситерит-кварцевых месторождений содержания Та 0, п-0,00п %, содержания Nb невелико, появляется примесь вольфрама; в кварц-сульфидных месторождениях примесь Nb в касситеритах содержится в количестве менее 0,1%, тантала - 0,0п - 0,00п %, вольфрам отмечается редко, индий, сурьма и свинец устанавливаются часто, но в малых количествах. В касситеритах сульфидной формации ниобия 0,0п - 0,00п %, тантала 0,00п %, обычны индий, сурьма, свинец, цинк, мышьяк; б) отмечается широкое распространение коленчатых и полисинтетических двойников кристаллов касситерита из полевошпат-кварцевых и кварцевых месторождений, коленчатых и более сложных двойников (тройников, шестерников и т.д.) в кварц-сульфидных месторождениях, "звездчатых" агрегатов - в кварц-сульфидных и сульфидных месторождениях.

И.И.Четырбоцкая (1967, 1968) исследовала содержания различных элементов-примесей в касситерите и вольфрамите из различных месторождений. В частности, ею было установлено, что максимальные концентрации тантала характерны для касситерита из пегматитов, вольфрамитов и касситерита из грейзенов и кварцевых жил, сопровождающихся зонами грейзенизации. В этих месторождениях вольфрам и касситерит содержат также наибольшие количества ниобия и скандия.

Дальнейшие исследования по геохимии редких и рассеянных элементов, к числу которых принадлежит большинство элементов-примесей, позволят уточнить их роль при образовании отдельных рудных формаций. Но проблема использования элементов-примесей при рудно-формационных исследованиях остается достаточно сложной и заслуживает специальной разработки. Автором отмечаются лишь некоторые из исследований последних лет, дающие материал для формационного анализа.

В частности, к таким относятся работы В.В.Иванова (1966) по геохимии индия, кадмия, таллия и германия, которые позволили установить, что повышение содержания индия характерно не только для касситерита касситерит-сульфидных месторождений, где он нередко представлен колломорфными разновидностями (деревянистым оловом), но и для других минералов этих месторождений: сфалерита, халькопирита, станнина.

Кадмий характерен как элемент-примесь не только в сфалеритах контактово-метасоматических галенит-сфалеритовых месторождений, но и в сфалеритах галенит-сфалеритовых, золото-серебряных и других месторождениях.

Наибольшие концентрации германия характерны для топаза из грейзенов, сопровождающих месторождения касситерит-кварцевой и вольфрамит-кварцевой формации. Однако больше всех своей специализацией выделяется германий, типичный для связанных с эффузивами олово-серебряных месторождений боливийского типа (галенит-сфалеритовый "вулканический" тип касситерит-сульфидной формации). В них концентрация германия настолько велика, что появляются германиевые минералы - аргирардит, канфилдит. Заметные содержания германия наблюдаются и в медьсодержащих оловорудных месторождениях касситерит-сульфидной формации. В рудах этих месторождений германий концентрируется в халькопирите и станнине. Высокие концентрации германия характерны также для халькопирит-галенит-сфалеритовых месторождений в карбонатных породах.

Таким образом, элементы-примеси несомненно могут оказать помощь при формационном исследовании месторождений, позволяя более уверенно судить о принадлежности их к определенной рудной формации. Однако проблема их использования значительно сложнее, чем это представляется на первый взгляд.

Прежде всего содержания элементов-примесей подвержены значительным колебаниям в зависимости от регионально-геохимических особенностей территории.

Н.В.Петровская (1969^{1,2}), характеризуя типоморфные особенности самородного золота из месторождений различных формаций, отмечает изменения содержания некоторых элементов. Ею отмечается, что в близповерхностных месторождениях убогосульфидной формации продуктивные ассоциации отличаются от аналогичных ассоциаций в месторождениях других формаций. В них существенную роль играют минералы селенбра (пираргирит, миаргирит, фрейбергит) и сурьмы (блеклые руды). В ходе рудообразования возрастали концентрации этих элементов, а также теллура. В колчеданных месторождениях преобладает тонкодисперсное золото, в то время как в золото-сульфидно-кварцевых золото разнообразно и по размерам и по формам выделения.

Однако Н.В.Петровская указывает, что высокие концентрации теллура характерны лишь для месторождения отдельных металлогенических провинций, где главную роль приобретают золото-теллуридовая ассоциация.

Эта важнейшая особенность в распределении элементов-примесей отмечается и для других элементов.

Все индиеносные месторождения, например, приурочены к районам, обрамляющим Тихий океан, таллиевые провинции выделяются в юго-восточной Европе, на Кавказе, в Восточном Забайкалье и Средней Азии (В.В. Иванов, 1966).

Определенные изменения в концентрации элементов-примесей будут вносить и особенности их накопления в различные металлогенические эпохи.

Значение вопроса об изменчивости и устойчивости состава минералов из отдельных минеральных месторождений и типов горных пород при исследовании типоморфных свойств минералов в последнее время подчеркнуто Ф.В.Чухровым (1969).

Он упоминает случаи, когда было установлено, что состав и другие свойства турмалинов в пегматитовом теле зависели от пространственного положения турмалиновых выделений. Для ильменорутила, вольфрамит, слюд (Чухров, Ермилова, 1964) было выявлено непостоянство состава одновозрастных выделений этих минералов.

Автором (Константинов, 1956) было установлено, что состав элементов-примесей в касситерите сильно изменяется в зависимости от парагенетической ассоциации минералов. В кварц-полевошпатовых жилах Этыкинского месторождения в первой стадийной минеральной ассоциации было установлено две генерации касситерита. Касситерит первой генерации ассоциирует с кварцем, топазом, слюдой, имеет темную окраску, изометричные очертания зерен. В нем содержатся примеси ниобия, тантала, вольфрама. Касситерит второй генерации встречается в парагенезисе с галенитом, в котором образует петельчатые колломорфные выделения. В этом касситерите были установлены заметные концентрации индия, в то время как примеси тантала, ниобия, вольфрама полностью отсутствовали.

Таким образом, даже в пределах одной жилы и в одной стадийной минеральной ассоциации элементы-примеси и прочие типоморфные особенности касситерита могут резко изменяться в зависимости от ассоциирующих с ним минералов.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что использование типоморфных особенностей минералов при рудно-формационных исследованиях может быть важным дополнением к прочим методам выделения рудных формаций. С этой целью необходимо провести специальное исследование, причем типоморфные свойства минералов изучать в плане их изменчивости и устойчивости, а также с точки зрения способности минералов изменять свои свойства в зависимости от локальных отклонений в ходе процессов минералообразования.

Определение геологических критериев при формационном анализе месторождений

Близкие геологические условия образования, как и минеральный состав, являются комплексом признаков, характеризующим рудные формации. Выявление сходных на всех месторождениях той или иной формации геологических факторов возможно после сравнения большого количества месторождений, предварительно сгруппированных на основании данных о минеральном составе, поскольку, как это совершенно справедливо замечает В.А.Кузнецов (1967), одним из признаков геологических формаций вообще и рудных, в частности, является повторяемость их геологических признаков.

Геологические факторы, контролирующие оруденение, гораздо многообразнее, чем устойчивые минеральные группы, характеризующие сос-

тав рудных формаций. К тому же в некоторых случаях геологическая обстановка на рудных месторождениях, принадлежащих к одной рудной формации, характеризуется не отдельными признаками, а их определенным набором. Поэтому найти комплекс геологических факторов, постоянных для одной рудной формации, значительно труднее, чем выявить группы месторождений, сходных по минеральному составу.

Таким образом для формационного анализа должна иметься достаточно представительная по количеству объектов группа месторождений со сходным минеральным составом для того, чтобы начать поиски геологических признаков, являющихся общими для месторождений этой группы. При этом приходится выйти за рамки одного рудного района или даже одной рудной провинции и сравнивать месторождения из разных рудных провинций.

Если же постоянно повторяющиеся признаки в этой группе не выявляются, то, по-видимому, можно представить себе следующие причины, обусловившие этот случай.

1. Соответствующие геологические признаки для всех сходных по минеральному составу месторождений не были учтены при сравнительном изучении месторождений в силу несовершенства примененных методов или еще каких-либо причин.

2. Рассматриваемая группа месторождений, несмотря на сходство минерального состава, неоднородна, так как в нее оказались включенными месторождения, имеющие различные геологические условия возникновения. Следовательно, среди этих месторождений по геологическим характеристикам могут быть выделены два или более геологических типа в рамках рудной формации. Наличие подобных явлений описано в литературе как явление конвергенции признаков рудных месторождений (В.И. Смирнов, 1960).

Нельзя утверждать, что постоянно повторяющиеся среди месторождений данной формации геологические факторы определяют возникновение месторождений. Эти функции свойственны им лишь частично, так как среди устойчивых, если можно так выразиться, геологических признаков рудной формации могут быть признаки взаимосвязанные или соподчиненные, среди которых лишь часть или лишь определенное сочетание имело значение для рудообразования. В некоторых же случаях выявление главных геологических факторов рудообразования оказывается вне сферы возможностей непосредственного исследования и относится к области гипотез.

Геологические факторы могут быть разнородными, к ним может относиться региональное геологическое положение месторождений, характер магматических пород, ассоциирующих с оруденением, вмещающие породы, локальные рудовмещающие структуры и другие. Все их учесть трудно, а такие факторы, как, например, глубина локализации рудоносного магматического очага в период, непосредственно предшествующий рудообразованию, расстояние между областью отделения растворов до области рудоотложения и расстояние от области локализации оруденения до дневной поверхности часто не могут быть точно установлены. Поэтому в некоторых случаях определение геологических признаков, типичных для рудной формации, отчетливо выделяющихся по минеральному

составу, требует дополнительного изучения большого количества месторождений.

Имеющийся опыт создания рудно-формационных классификаций, в которых при решении вопроса о главенствующих геологических факторах отдается предпочтение одной какой-либо их группе, приводит к необходимости вводить многочисленные исключения. В этом отношении справедливо высказывание В.И.Смирнова (1965), который по поводу классификаций месторождений, основанных на тектономагматических комплексах, отмечает, что общим их недостатком являются использование признаков, заключающихся не в самих месторождениях, а в региональных особенностях геологического строения их широких окрестностей. При этом сходные по строению и минеральному составу месторождения могут формироваться среди разных структурно-магматических комплексов, создавая неуверенность для их распределения по генетическим классам.

Именно поэтому представляется, что для различных рудных формаций роль одних и тех же геологических факторов не одинакова. Для некоторых рудных формаций постоянно повторяющимися будут типы структур, выделяемые внутри тектонических зон и стадий развития этих зон, в других случаях, как, например, для касситерит-кварцевой формации, ведущим, постоянно повторяющимся фактором будет характер магматических проявлений, ассоциированных с оруденением.

Еще раз подчеркнем, что постоянно повторяющиеся геологические признаки, характеризующие рудную формацию и служащие обоснованием для ее выделения, нельзя полностью отождествлять с геологическими факторами, определяющими причины рудообразования, так как при выделении рудных формаций могут быть использованы только объективно существующие геологические признаки, доступные обычным методам исследования.

По-видимому, выявление постоянных геологических признаков для всех рудных формаций или определенных сочетаний этих признаков, присущих только данной рудной формации, во многих случаях требует применения специальных методов исследования при большом объеме фактического материала.

Ниже показаны некоторые возможные направления исследований при решении этих вопросов. В частности, для выявления устойчивых геологических факторов можно воспользоваться простым сопоставлением геологических условий на близких по минеральному составу рудных месторождениях. Как было показано, для этих целей могут быть использованы и более сложные методы обработки геологической информации.

Для выявления устойчивых геологических факторов, характеризующих рудные формации путем сравнения нескольких месторождений, следует подобрать большую группу месторождений, характеризующихся какой-либо одной устойчивой минеральной группой, например, кварцем, топазом, мусковитом (или литийсодержащими слюдами), касситеритом, затем путем сопоставления геологических условий на этих месторождениях оценить устойчивость различных геологических признаков. Кроме того, необходимо последовательно рассмотреть региональное геологическое положение месторождений, вмещающие породы, магматические породы, ассоциирующие с оруденением, и пространственное соотноше-

ние с ними рудных тел, локальные рудовмещающие структуры. Наличие повторяющихся (отождествляющих) признаков подтвердит правомочность выделения рудной формации с указанной устойчивой минеральной группой. В табл. 6 показаны некоторые особенности кварцево-касситеритовых месторождений Чукотки, для минерального состава которых характерны кварц, топаз, светлые слюды. При этом легко убедиться, что для всех этих месторождений характерным является алюмосиликатный состав вмещающих пород, причем преобладают песчаники и глинистые сланцы, все они ассоциируют с гранитами, имеют форму жил, штокверков и реже минерализованных зон. Сопровождаются они грейзенизацией, окварцеванием, серицитизацией, турмадинизацией. Таким образом, намечаются характерные черты этих месторождений. Но для окончательного вывода о том, что эти геологические особенности можно считать действительно характерными, требуется провести ряд дополнительных исследований, о которых речь пойдет в следующих разделах.

Статистическое обоснование геологических характеристик рудных формаций

Формационный анализ рудных месторождений и, в частности, выявление геологических признаков, характерных для рудных формаций, как уже отмечалось, требует анализа большого количества разнородных геологических данных. При этом предполагается установление связей определенной группы месторождений, сходных по своему минеральному составу с составом вмещающих пород или с характером тектонических структур, или с определенными магматическими комплексами, или, наконец, с каким-либо сочетанием этих признаков.

В имеющейся литературе подобные связи, как правило, рассматриваются на основании нескольких, а иногда и просто единичных примеров. Однако в настоящее время в процессе геологических исследований уже накоплен большой фактический материал, позволяющий не только с геологических позиций проверить правильность предположений о связях рудных формаций с определенными комплексами геологических признаков, но и статистически обосновать вновь выдвигаемые предположения.

Одним из статистических методов, позволяющим достаточно просто произвести проверку обоснованности предположений о характерности для рудных формаций определенных геологических признаков, является вычисление критерия согласия χ^2 (критерия Пирсона), используемого в математической статистике для проверки взаимосвязей между какими-либо двумя классификациями или вообще между двумя группами признаков (Ван дер Варден, 1960). Кадиган (Cadigan, 1962) предложил использовать критерий χ^2 для выяснения влияния геохимических факторов на региональное распределение минеральных и геохимических данных. Если наблюдается значимое отклонение этих данных от случайных, то следует искать геологические факторы, вызывающие это отклонение. Но еще больший интерес представляет то обстоятельство, что с помощью критерия χ^2 можно в некоторых случаях опровергнуть принятую гипотезу о взаимосвязи между двумя какими-либо группами признаков или

Признаки месторождений кварц-касситеритовой формации Чукотки (по С.Ф. Лугову, 1965)

Место- рождения	Минеральный состав		Магматические породы, ассоци- ирующие с ору- дением	Вмещающие породы	Рудовмещающие структуры и морфология руд- ных тел	Околорудные изменения
	главные минералы	второстепенные минералы				
Первона- чальное	Кварц, арсе- нопирит, сло- да, сфалерит, касситерит	Топаз, пирро- тин, пирит	Неглубоко за- легающий гра- нитный интрузив, дайки лампрофи- ров, гранитпорфи- ров	Песчаники, глинистые сланцы	Штокверки на пересечении зон трещиноватости с разломами СЗ простира- ния	Турмалинизация, серпичитизация, окварцевание и хлоритизация
Светлое	Кварц, мус- ковит, топаз, арсенопирит, вольфрамит, касситерит	Пирит, флюо- рит, бистит, халькопирит, пирротин, лёл- лингит	Дайки грани- тоидов, гра- нитпорфи- ров, микрогранитов, аплитов	Песчаники, сланцы гли- нистые, гра- нитоиды	Жилы и зоны дробления в метасоматичес- ки измененных дайках	Грейзенизация, ороговикование
Незаметное	Кварц, кали- евый поле- вой шпат, хлорит, кас- ситерит, флюорит, пирит	Альбит, мус- ковит, турма- лин, топаз, сфалерит, вольфрамит, халькопирит	Скрытая интрузия гранитоидов, дайки пироксено- вых керсантитов, сиенит-пор- фи-ров, квар- цевых порфи- ров	Филлитизи- рованные гли- нистые слан- цы, песчаники	Жилы в раз- рывных нару- шениях и мине- рализированные зоны	Окварцевание, слабая пирити- зация, муско- витизация

Нагорное	Кварц, арсено- пирит, пирит, топаз, касси- терит	Сфалерит, пирротин, вольфрамит, слюда	Скрытый на глубине гра- нитный интру- зив	Песчаники и глинистые сланцы	Штокверки в зоне трещи- новатости	Ороговикование, турмалинизация, серицитизация, окварцевание, хлоритизация
Северное	Кварц, муско- вит арсенопи- рит, кассите- рит	Вольфрамит, полевой шпат, пирит, шеелит, то- паз	Дайки гра- нитпорфи- ров, массивы гранитов, дайки габброи- дов	Ороговикова- ные песчани- ко-сланцевые породы, дайки гранитов, габ- бродиабазы	Жилы и ми- нерализован- ные зоны	Ороговикование
Куэйвуньское	Кварц, вольф- рамит, кас- ситерит, мус- ковит	Флюорит, по- левые шпаты	Граниты	Песчаники, песчаные и углисто- глинистые сланцы, гра- ниты	Жилы и шток- верки	Грейзенизация, ослюденение
Грейзеновое	Кварц, свет- лая слюда, топаз, кас- ситерит	Турмалин, альбит, флю- орит	Граниты	Ороговикова- ные песчани- ки и сланцы, граниты	Жилы	Грейзенизация

двумя классификациями, как явно несогласующуюся с опытным данными. В то же время следует учитывать, что если гипотеза согласуется с критерием χ^2 , то ее справедливость не доказывается, а лишь устанавливается, что гипотеза не противоречит опытным данным.

Метод вычисления критерия χ^2 при проверке связи между классификациями или группами признаков состоит из следующих операций:

1. Составляется "таблица сопряженных признаков", объединяющая объекты, участвующие одновременно в обеих сравниваемых группах явлений, каким-либо образом систематизированных, подобная табл. 7. В таблице с одной стороны располагается первая классификация (классы A, B, C), по другой стороне – вторая классификация (классы D, E, F). Значения в клетках таблицы (a, b, . . . j) – количества объектов, одновременно удовлетворяющих требованиям двух классов сравниваемых классификаций.

Таблица 7

Принципиальная схема таблицы сопряженных признаков

Классификация I		Классификация II			Всего
		D	E	F	
Классы	A	a	b	c	a+b+c
	B	d	e	f	d+e+f
	C	q	h	j	q+h+j
Всего		a+d+q	b+e+h	c+f+j	h = $\Sigma a + b + \dots + j$

2. Подсчитываются значения объектов, которые были бы в клетках, если бы связь между классификациями отсутствовала, для сравнения с полученными данными принимается нуль – гипотеза об отсутствии связи между двумя рассматриваемыми классификациями. Подсчет этого значения для клетки с наблюдаемым значением "a" производится по формуле:

$$a_1 = \frac{(a+b+c)(a+d+q)}{\Sigma a + b + \dots + j}, \quad b_1 = \frac{(a+b+c)(b+e+h)}{\Sigma a + b + \dots + j},$$

$$d_1 = \frac{(a+d+q)(d+e+f)}{\Sigma a + b + \dots + j}$$

Таким же образом подсчитываются ожидаемые значения для всех других клеток таблицы ($b_1, c_1, \dots, j$).

3. Следующим этапом является вычисление критерия χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = \frac{(a - a_1)^2}{A_1} + \frac{(b - b_1)^2}{b_1} + \frac{(j - j_1)^2}{j_1} \quad (3)$$

4. Важным моментом является вычисление числа степеней свободы K для χ^2 , т.е. числа независимых связей в таблице сопряженных признаков. Простейшим образом это число определяется по формуле:

$$K = (r - 1)(l - 1) \quad (4),$$

где r - число строк, l - число столбцов в таблице сопряженных признаков.

Следует иметь в виду, что при применении критерия χ^2 вводятся некоторые ограничения, а именно ожидаемые значения не должны быть меньше пяти, число степеней свободы не должно быть больше тридцати. Если же эти условия нарушаются, приходится объединять некоторые строки и столбцы в таблице сопряженных признаков.

После того, как значения χ^2 и K получены, находят по таблицам, имеющимся в соответствующих руководствах (Вентцель, 1964), те вероятности, при которых различия между теоретическими и опытными данными могли бы получиться за счет чисел случайных величин. Могут получиться малые значения такой вероятности, если определенный из опытных данных критерий χ^2 больше указываемого в таблицах значения этого критерия для того же количества степеней свободы и для вероятности 0,1%. Это будет свидетельствовать о том, что нуль-гипотеза, т.е. предположение об отсутствии взаимосвязи между классификациями не подтверждается или, иными словами, что гипотеза о взаимосвязи двух классификаций не противоречит опытным данным.

Рассмотрим примеры применения критерия χ^2 для проверки некоторых представлений, близких к обычным металлогеническим гипотезам. Так, например, при характеристике оловорудных формаций и закономерностей их размещения существует представление о взаимосвязях между различными рудными формациями и составом вмещающих пород. С помощью ручных перфокарт с закодированными сведениями об оловорудных месторождениях различных формаций легко была получена таблица сопряженных признаков, позволяющая исследовать зависимость между оловорудными формациями и составом вмещающих пород (табл.8).

По вертикали в таблице показаны различные оловорудные формации гидротермальных месторождений, по горизонтали - типы вмещающих пород. В клетках этой таблицы показаны количества месторождений определенной оловорудной формации, встреченных в каком-либо одном типе вмещающих пород. В скобках в каждой клетке показано математическое ожидание количества объектов при их равномерном распределении, т.е. то количество объектов, которое было бы при отсутствии взаимосвязей между оловорудными формациями и составом вмещающих пород. Легко видеть, что по имеющимся данным для касситерит-силикатной формации о такой взаимосвязи судить трудно, так как предполагаемое

количество объектов для этой формации близко к фактическому, а фактическое количество объектов не велико. Иное дело для касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формации, где расхождения между фактическими и предполагаемыми значениями велики. Такие расхождения для касситерит-кварцевой формации позволяют говорить о большей благо-

Таблица 8

Зависимость между оловорудными формациями и литологическим составом вмещающих пород

Рудные формации	Известняки, доломиты, мраморы	Углистые и глинистые сланцы, кислые эффузивы	Песчаники	Кислые интрузивы или субвулканические тела, роговики	Всего
Касситерит-кварцевая	7 (17)*	17 (31)	15 (16,9)	41 (13,2)	78
Касситерит-силикатная	4 (4,1)	15 (15)	12 (8,5)	8 (15,7)	39
Касситерит-сульфидная	7 (17,6)	48 (34)	19 (18,6)	12 (25,9)	86
Всего	18	80	44	61	203

* В скобках указаны ожидаемые значения, получаемые при условии наиболее вероятного случайного распределения объектов, т.е. при отсутствии зависимости типа рудной формации от литологического состава вмещающих пород.

приятности для месторождений касситерит-кварцевой формации вмещающих пород типа кислых гипабиссальных интрузивов или субвулканических тел того же состава и роговиков, а для касситерит-сульфидной - углистых и глинистых сланцев и кислых эффузивов.

Вычисление критерия χ^2 , произведенное охарактеризованным выше методом, дает значение 49,3. Число степеней свободы $K=3 \times 2=6$.

Табличное значение χ^2 для шести степеней свободы и для вероятности $p=0,001$ равно 22,5. Поскольку найденное значение χ^2 значительно больше табличного, можно считать, что гипотеза о наличии взаимосвязи между касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной формациями, с одной стороны, и составом вмещающим пород, с другой, может быть предложена, так как она не опровергается имеющимся фактическим материалом.

Другой пример относится к соотношениям между различными типами рудной минерализации.

Соотношение оловянной и золотой минерализации

Месторожде- ния	Касситерит	Золото и золотосодер- жащие минералы	Сумма
Оловянные	250	14	264
Золотые	6	200	206
Сумма	256	214	470

Геологам, занимающимся изучением месторождений олова и золота, хорошо известно, что в оловянных рудах гидротермальных месторождений золото встречается очень редко, почти так же редко обнаруживается касситерит в рудных телах эндогенных золотых месторождений. Такое разделение этих двух элементов в различных рудных телах проявляется даже в тех случаях, когда оловянные и золотые проявления концентрируются в пределах одного рудного узла. И даже в тех случаях, когда в оловянных рудах устанавливается золото, а в золотых — касситерит, они, как правило, имеют характер редких, с трудом выявляемых минералов. Возникает вопрос, является ли такое распределение случайным или можно предполагать эндогенный геохимический процесс, приводящий к их разделению. Проверку последней гипотезы также можно произвести с помощью критерия χ^2 . Для этого ниже использованы сведения, взятые из литературы и обработанные с помощью перфокарт с закодированными данными о минеральном составе оловянных и золотых месторождений различных районов мира. Сведения эти приведены в табл. 9. В этом случае для таблицы "2×2" расчет χ^2 ведется по несколько иной формуле:

$$\chi^2 = \frac{n(ad - bc)^2}{(a+b)(C+d)(a+c)(b+d)} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{470(250 \times 200 - 14 \times 6)^2}{264 \times 206 \times 256 \times 214} = 95.$$

Полученное значение χ^2 значительно превышает все табличные значения χ^2 при $K=1$. Следовательно, полученные данные не противоречат предположению о наличии геохимического процесса, разделяющего в эндогенных условиях олово и золото.

Наконец, рассмотрим еще один пример, где анализируются взаимосвязи между различными характеристиками оловорудных месторождений. Имеется в виду проверка наличия связи между морфологией рудных тел и литологическим составом вмещающих пород. Соответствующие данные представлены в табл. 10.

Таблица 10

Соотношения между литологическим составом пород и морфологией рудных тел оловянных месторождений

Состав вмещающих пород	Штокверки	Жилы	Жильные зоны	Минерализованные зоны дробления	Залежи и штоки	Всего
Известняки, мраморы, доломиты	2 (2)	7 (12)	0 (1,1)	4 (3)	16 (0,9)	13
Сланцы углистые и глинистые	0 (9,4)	59 (55)	6 (5,3)	12 (14,5)	2 (4,3)	90
Песчаники	9 (6,3)	35 (38)	6 (3,6)	10 (9,6)	0 (2,5)	60
Кислые и средние изверженные породы	4 (6,5)	44 (39)	2 (3,8)	9 (0)	3 (3)	62
Всего	24	145	14	37	11	231

В табл. 10, так же и в предыдущих примерах, в скобках приведены значения, соответствующие математическим ожиданиям, получаемым при предположении об отсутствии связи между двумя исследуемыми рядами признаков. Уже простое сравнение этих ожидаемых величин показывает, что они в основном близки к полученным опытным данным. Некоторые заметные отклонения от этих величин наблюдаются для известняков, где количество залежей и труб значительно превышает ожидаемую величину. Однако то обстоятельство, что для известняков во многих случаях, из-за малого количества принятых во внимание примеров, ожидаемые значения меньше 5, критерий χ^2 для рассмотрения всей таблицы применить нельзя.

Имеющиеся данные позволяют проверить правдоподобность предположения связи таких морфологических типов минерализации, как штокверки и жильные зоны, жилы и зоны дробления и минерализации с литологическими типами вмещающих пород с углистыми и глинистыми сланцами, песчаниками и кислыми изверженными породами. Легко убедиться, что в этом случае ожидаемые величины почти полностью совпадают с полученными. Некоторые отклонения наблюдаются лишь для штокверков и минерализованных зон.

Вычисления дают для этого случая $\chi^2 = 4,79$ при числе степеней свободы $K=4$. Табличное значение критерия χ^2 для этих условий при вероятности случайно получить данные, аналогичные расчетным, равной 5%, значительно превышает полученное значение χ^2 и равное 9,49. Поэтому можно считать, что взаимосвязи между принятой классификацией литологического состава пород и морфологией рудных тел отсутствуют.

Если число степеней свободы оказывается при вычислении критерия χ^2 очень велико (больше, чем дается в таблице значение критерия χ^2), то для статистического обоснования возможностей взаимосвязей геологических признаков и рудных формаций можно воспользоваться следующим выражением:

$$d = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2K - 1},$$

где d – переменная, примерно подчиняющаяся нормальному закону и имеющая среднее значение равное единице. При уровне значимости (в соответствии с односторонним критерием), равном 2,5%, если вычисленное значение превышает 1,96, высказанная гипотеза о наличии определенных взаимосвязей имеет право на существование.

Выше, при определении понятия о рудной формации, говорилось, что месторождения одной рудной формации должны отличаться от месторождений другой рудной формации составом минеральных ассоциаций.

С помощью критерия χ^2 можно проверить обоснованность разделения каких-либо рудных формаций по минеральному составу. Например, можно проверить предположение о достаточности различия минерального состава руд касситерит-кварцевых и касситерит-сульфидных месторождений (ниже вопрос об обоснованном выделении оловорудных формаций рассмотрен подробнее). Для этого нужно было получить данные о минеральном составе различных месторождений этих формаций, для чего была использована перфокартотека рудных месторождений. Полученные результаты представлены в табл. 11.

Таблица 11

Проверка статистической обоснованности предположения о наличии связи минерального состава и формационного типа оловянных месторождений

Рудные формации	Арсенопирит	Вольфрамит	Галенит	Мусковит	Пирит	Пирротин	Сфалерит	Топаз	Турмалин	Халькопирит	Хлорит	Сумма
Касситерит-сульфидные	26 (21,7)	13 (16,9)	24 (17,3)	4 (17,7)	37 (29,1)	20 (113)	35 (26,3)	4 (11)	11 (16,1)	21 (17,3)	9 (12,2)	204
Касситерит-кварцевые	43 (41,9)	30 (28)	20 (26,7)	41 (27,3)	37 (44,9)	13 (20)	32 (41)	24 (17)	30 (24,9)	23 (26,7)	22 (18,8)	315
	69	43	44	45	74	33	67	28	41	44	31	515

* В скобках указаны значения, равные математическому ожиданию при равномерном распределении.

Вмещающие породы	Анкерит	Арсено- пирит	Вольф- рамит	Галенит	Молиб- денит	Муско- вит
Песчано-сланцевые отложения	31 (23,6)	54 (58,4)	37 (44,8)	48 (43,6)	13 (24,1)	33 (41,8)
Кислые интрузивы	9 (16,4)	45 (40,6)	39 (31,2)	26 (30,4)	28 (16,8)	38 (29,2)
Сумма	40	99	76	74	41	71

Вычисленное значение $\chi^2 = 48,01$ при $K=10$, табличное значение χ^2 (Вентцель, 1964) при вероятности 0,001 равно 25,59. Поскольку вычисленное χ^2 значительно превосходит табличное значение, гипотеза о связи минерального состава с определенными формациями представляется достаточно убедительной. Более того, в соответствии с приведенными данными можно считать, что из рассмотренных минералов для касситерит-кварцевой формации значительно более характерны мусковит, топаз, турмалин, а для касситерит-сульфидной – галенит, пирротин, сфалерит.

Другое предположение, обоснованность которого легко может быть проверена с помощью критерия χ^2 – это предположение о влиянии вмещающих пород на минеральный состав руд.

Соответствующие данные для оловянных месторождений, располагающихся в песчано-сланцевых отложениях или в кислых гранитоидных интрузивах, приведены в табл. 12. Вычисленное значение χ^2 здесь равно 35,62, при числе степеней свободы $K=12$. Для этого же числа степень свободы при вероятности 0,01 табличное значение $\chi^2 = 32,91$. Таким образом, предположение о взаимосвязи между минеральным составом руд и вмещающих пород не противоречит имеющимся данным. Для месторождений в песчано-сланцевых отложениях более характерны анкерит, галенит, пирит, пирротин, турмалин, халькопирит, хлорит; в кислых интрузивах – арсенопирит, вольфрамит, молибденит, мусковит, топаз.

Однако возникает вопрос, связаны ли выявленные особенности с влиянием вмещающих пород или же с пространственным положением различных формационных типов оловянных месторождений по отношению к интрузиям, или, наконец, с особенностями металлогенической специализации самих интрузий.

Но некоторые данные, приведенные в табл. 12, свидетельствуют о том, что гипотеза о непосредственном влиянии вмещающих пород на сос-

ний и составом вмещающих пород

Пирит	Пирро- тин	Сфале- рит	Топаз	Турма- лин	Халько- пирит	Хлорит	Сумма
84 (77,8)	38 (33)	68 (64,2)	19 (24,8)	44 (40,7)	54 (51,3)	34 (28,9)	557
48 (54,2)	18 (23)	41 (44,8)	23 (16,2)	25 (28,3)	33 (35,7)	15 (20,1)	388
132	56	109	42	69	87	49	

тав руд не может быть отвергнута. В частности, из таблицы очевидно, что молибденит — минерал, характерный только для касситерит-кварцевой формации и поэтому не рассматривавшийся ранее, более характерен для рудных тел, расположенных в кислых интрузивах, топаз, вольфрамит-тоже, в то время как турмалин — для месторождений в песчано-сланцевых отложениях. Арсенопирит, одинаково характерный для касситерит-кварцевых и касситерит-сульфидных месторождений, преобладает, когда вмещающими являются кислые интрузивы; присущий касситерит-сульфидным месторождениям анкерит в основном содержится в рудных телах, залегающих в песчано-сланцевых отложениях.

Таким образом, не противоречит фактическому материалу гипотеза о том, что появление таких минералов, как молибденит, арсенопирит и анкерит в составе оловорудных месторождений, в значительной мере связано с влиянием вмещающих пород и возможно их отнесение к изменчивой группе минералов. Тем не менее для того, чтобы окончательно убедиться в правильности такого предположения, необходимо, во-первых, проверить зависимость между минеральным составом руд и составом вмещающих пород внутри каждой отдельной формации, во-вторых, проверить гипотезу о том, что установленные закономерности в распределении минералов связаны с проявлением рудной зональности по отношению к интрузиям.

Факторы, которые могут вызвать установленные особенности минерального состава руд, достаточно разнообразны.

Рассмотренный пример показывает, что нужно отдавать себе полный отчет в том, какая взаимосвязь проверяется. В данном случае проверялась взаимосвязь между минеральным составом руд, с одной стороны, песчано-сланцевыми отложениями и кислыми интрузивами — с другой. Влияют ли последние своим химическим составом или сказывается температурный режим внутри интрузий и вокруг них, или какие-либо другие факторы — этот вопрос остается открытым.

Геологические признаки кварц-касситеритовых месторождений Чукотки (по С.Ф. Лугову, 1965)

Месторождения	Скрытая на глубине интрузия гранитоидов	Дайки гранит-порфиров и других гранитоидов	Дайки лампрофиров, порфиров	Песчаники	Глинистые сланцы	Гранитоиды	Ороговикованные песчанисто-сланцевые породы	Дайки различного состава	Габброиды	Штокверки	Жилы	Зоны дробления и минерализации	Грейзенизация	Серicitизация	Окварцевание	Турмалинизация	Хлоритизация	Ороговикование	Пиритизация
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Первоначальное	1	1	1	1	1					1				1	1	1	1		
Светлое		1		1	1	1		1			1	1	1					1	
Незаметное	1	1	1	1	1						1	1		1	1				1
Нагорное	1			1	1					1				1	1	1	1		1
Северное		1	1			1	1	1	1		1	1						1	
Куэйвуньское				1	1	1				1	1		1	1					
Грейзеновое					1	1					1		1						

1,2,3 - магматические породы, ассоциированные с оруденением;

4,5,6,7,8,9 - вмещающие породы; 10,11,12 - морфология рудных тел;

13,14,15,16,17,18,19 - околорудные изменения.

Способы обработки геологических данных
для выявления характерных геологических признаков
и определения формационного типа месторождений

При металлогенических исследованиях нередко возникает необходимость сравнивать несколько месторождений по геологическим условиям их образования и выбирать наиболее близкие аналогии. Такая же необходимость может возникнуть при определении формационного типа какого-либо месторождения, особенно в тех случаях, когда минеральный состав руд этого месторождения изучен недостаточно или сравнение минерального состава его руд со средним минеральным составом соответствующих формаций не дает достаточно определенного ответа о формационном типе месторождения.

Нами, совместно с А.Н.Дмитриевым (1971) были предложены некоторые информационно-логические методы, которые могут быть использованы для этих целей при формационном анализе рудных месторождений.

По-видимому, наиболее простым методом является сравнение месторождений по совпадающим признакам. Этот метод рассмотрим на примере некоторых оловянных месторождений Чукотки, представленных выше в табл. 13, где для удобства обработки имеющихся данных геологические признаки этих месторождений представлены в виде ответов на вопрос, присутствует ли данный признак, что в таблице отображается единицей, или его нет. По этой таблице трудно решить, какие месторождения ближе между собой по геологическим признакам, а какие -дальше. Для того чтобы это выяснить, подсчитаем количество совпадающих признаков у каждой пары объектов и полученные данные сведем в табл. 14.

Таблица 14

Количество совпадений геологических признаков у кварцево-касситеритовых месторождений Чукотки

Месторождения	Перво- началь- ное	Светлое	Неза- метное	Нагор- ное	Север- ное	Куэй- вунь- ское	Грей- зено- вое
Первоначальное	10*	3	7	8	2	4	0
Светлое	3	9	5	3	6	5	3
Незаметное	7	5	10	5	4	4	1
Нагорное	8	3	5	9	1	4	0
Северное	2	6	4	1	9	2	3
Куэйвуньское	4	5	4	4	2	7	3
Грейзеновое	0	3	1	0	3	3	4

* По длинной диагонали таблицы от левого верхнего угла до нижнего правого указано количество признаков в каждом месторождении.

Установленные количества совпадений уже более объективно говорят о близости той или иной пары месторождений по геологическим условиям образования. Существенное влияние может здесь оказать различие в количестве признаков, установленных на отдельных месторождениях. Для того чтобы устранить влияние этого фактора, разделим данные каждой строчки таблицы на количество признаков соответствующего объекта, а затем для каждой пары объектов вычислим среднее значение результатов деления. Полученные цифры приведены в табл. 15.

Таблица 15

Коэффициенты близости кварцево-касситеритовых месторождений
Чукотки по геологическим признакам

Месторождение	Перво- началь- ное	Свет- лое	Неза- метное	Нагор- ное	Север- ное	Куэй- вунь- ское	Грейзе- новое
Первоначальное	1	0,81	0,7	0,85	0,21	0,48	0
Светлое	0,31	1	0,53	0,33	0,67	0,64	0,54
Незаметное	0,7	0,53	1	0,53	0,42	0,46	0,17
Нагорное	0,85	0,33	0,53	1	0,11	0,53	0
Северное	0,21	0,67	0,42	0,11	1	0,25	0,54
Куэйвунское	0,48	0,64	0,46	0,52	0,25	1	0,59
Грейзеновое	0	0,54	0,17	0	0,54	0,59	1

Но при этом не следует забывать, что полученные данные достаточно условны, поскольку влияние различных геологических факторов на прочие особенности месторождений может сильно меняться.

Данные табл. 15 могут быть получены и непосредственно из результатов табл. 14 путем расчетов по формуле:

$$K = \frac{n}{2} \left(\frac{N_a + N_b}{N_a N_b} \right), \quad (6)$$

где n — количество совпадений признаков в объектах a и b , N_a — количество признаков в объекте a и N_b — количество признаков в объекте b . Из табл. 15 можно заключить, что по геологическим признакам рассматриваемые месторождения делятся на две группы. В первую группу попадают месторождения Первоначальное, Незаметное и Нагорное. Во вторую — Светлое, Северное, Грейзеновое. Промежуточным между обеими группами является месторождение Куэйвунское.

Вернувшись к данным табл. 14, где показаны признаки этих месторождений, можно убедиться, что разделение на две группы имеет определенный геологический смысл. Для месторождений первой группы характерны скрытые на глубине интрузии гранитоидов, в качестве вмещаю-

ших пород присутствуют только песчаники и глинистые сланцы, очень близок комплекс околорудных изменений (серицитизация, окварцевание, турмалинизация, хлоритизация).

Для второй группы, напротив, гранитоиды являются вмещающими породами и подвергаются грейзенизации, а осадочные породы — ороговикованию.

Этот же метод может быть использован и для выяснения наиболее часто сочетающихся групп признаков. Для этого нужно составить по тому же принципу таблицу, где будет подсчитано количество совпадений единиц, но не по строчкам, а по столбцам, т.е. как бы перевернуть таблицу и поменять местами месторождения и их признаки. Однако для того, чтобы получить достаточно объективные результаты, нужно иметь в исходной таблице большее количество строк, чем в рассмотренном случае.

В табл. 16 показаны геологические признаки некоторых оловорудных месторождений, принадлежащих к различным рудным формациям. Эта таблица составлена по литературным материалам и на основании личных наблюдений автора. Обработав охарактеризованным методом взятые из этой таблицы данные о геологических условиях нахождения десяти оловорудных месторождений и используя для выявления по полученным коэффициентам классов один из способов, описанных в литературе (Миллер, Кан, 1965; Константинов и др., 1968), легко убедиться, что предлагаемый метод позволяет дать такую классификацию месторождений по геологическим признакам, которая оказывается близкой к их формационной классификации. Действительно, в первый класс попадают касситерит-сульфидные месторождения Эге-Хая, Лифудзинское, Хрустальненское; во второй — Хинганское, Начальное, Верхнее Бастойское; в третий — Этыка II, Ингодинское и Иультинское. Исключение составляет попадающее в третий класс месторождение Дальнее, где главные рудные тела принадлежат к касситерит-сульфидной формации, хотя есть и кварц-касситеритовый штокверк. Этот случай, вероятно, связан с несовершенством предлагаемого метода.

Геологические признаки некоторых оловянных месторождений

Номер месторождения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Депутатское	1				1	1			1				1
2 Эге-Хая	1				1	1		1	1	1		1	
3 Лифудзинское	1				1	1	1					1	
4 Хрустальненское	1				1	1		1		1		1	
5 Улахан-Эгеляхское	1				1	1					1		
6 Октябрьское	1				1	1						1	
7 Смирновское (Приморье)	1				1	1						1	
8 Дальнее	1				1	1							
9 Турбальджей		1				1	1					1	1
10 Ингодинское		1		1		1					1		
11 Молодежное													1
12 Террасовое	1			1		1	1						
13 Шумиловское													
14 Базовское	1					1						1	
15 Иультинское	1			1		1						1	
17 Светлое	1					1							
18 Этыка II	1			1		1			1		1		1
19 Кукнейское	1		1			1					1		
20 Индустриальное	1		1			1	1					1	
21 Днепровское	1					1						1	
22 Хинганское	1		1			1	1	1			1		
23 Валькумейское				1							1		
24 Курултейское		1				1	1					1	
25 Начальное	1		1			1							
26 Караколес		1				1							
27 Восточно-Бастойское	1		1			1							
28 Невское	1		1			1	1						
29 Этыка I	1					1	?		1		1		

Таблица 16 (продолжение)

Номер месторождения	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27
1 Депутатское		1		1					1	1		1	1
2 Эге-Хая			1									1	1
3 Лифунзинское		1	1					1		1	1	1	
4 Хрустальненское	1		1					1		1	1	1	
5 Улахан-Эгеляхское			1									1	
6 Октябрьское			1									1	1
7 Смирновское (Приморье)			1								1	1	1
8 Дальнее	1	1						1	1			1	
9 Тарбальджей	1	1				1			1				
10 Игодинское	1		1			1				1	1	1	1
11 Молодежное	1									1			
12 Террасовое	1								1	1			
13 Шумиловское	1									1			
14 Базовское	1								1	1			1
15 Иультинское	1		1					1	1	1			1
17 Светлое	1	1								1	1		1
18 Этыка II	1	1								1			1
19 Кукнейское	1								1				
20 Индустриальное		1								1			
21 Днепровское	1	1				1			1	1		1	
22 Хинганское	1						1		1				
23 Валькумейское	1		1					1		1	1	1	
24 Курултейское		1										1	
25 Начальное		1			1							1	
26 Караколес										1		1	
27 Восточно-Бастойское	1	1										1	
28 Невское		1											
29 Этыка I		1									1		1

Таблица 16 (продолжение)

Номер месторождения	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1 Депутатское	1	1			1				1	1				1
2 Эге-Хая	1	1			1					1				1
3 Лифудзинское	1	1	1						1	1				
4 Хрустальненское	1	1	1	1					1	1	1			
5 Улахан-Эгеляхское	1	1												1
6 Октябрьское	1						1				1	1		
7 Смирновское (Приморье)	1		1											
8 Дальнее	1	1												
9 Тарбальджей														
10 Ингодинское		1			1	1								1
11 Молодежное						1								
12 Террасовое										1		1		1
13 Шумиловское					1	1								
14 Базовское	1	1												1
15 Иультинское	1	1			1									1
17 Светлое	1	1			1									1
18 Этыка II		1			1	1								
19 Кукнейское														1
20 Индустриальное	1				1									
21 Днепровское		1				1	1					1		
22 Хинганское		1				1					1			1
23 Валькумейское	1	1				1		1						
24 Курултейское						1								
25 Начальное		1												
26 Караколес						1				1				
27 Восточно-Бастойское							1				1			
28 Невское	1								1					1
29 Этыка I						1			1		1			1

Таблица 16 (продолжение)

Номер месторождения	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
1 Депутатское	1						1			1		1	1
2 Эге-Хая	1						1		1				1
3 Лифудзинское			1	1	1		1		1				1
4 Хрустальненское			1						1		1		1
5 Улахан-Эгеляхское									1		1		
6 Октябрьское							1		1				1
7 Смирновское (Приморье)			1				1						1
8 Дальнее									1		1	1	1
9 Тарбальджей							1		1				
10 Ингодинское							1						1
11 Молодежное									1				
12 Террасовое									1				
13 Шумиловское									1				
14 Базовское			1						1		1		1
15 Иультинское	1	1							1				
17 Светлое									1				
18 Этыка II			1						1				
19 Кукнейское									1				1
20 Индустриальное	1			1									1
21 Днепровское							1		1				
22 Хинганское					1		1			1			
23 Валькумейское					1				1				
24 Курултейское	1								1		1		
25 Начальное							1						
26 Караколес							1				1		
27 Восточно-Бастойское			1						1				
28 Невское	1						1						
29 Этыка I							1						

Таблица 16 (продолжение)

Номер месторождения	55	56	58	59	60	61	63	64	65	66	67	68	69	70
1 Депутатское	1			1	1							1	1	1
2 Эге-Хая		1		1				1					1	
3 Лифудзинское	1				1								1	1
4 Хрустальненское	1	1											1	1
5 Улахан-Эгеляхское	1	1												1
6 Октябрьское	1												1	1
7 Смирновское (Приморье)	1	1	1	1							1	1	1	1
8 Дальнее		1			1									1
9 Тарбалджей										1		1		1
10 Ингодинское	1			1	1				1	1		1		
11 Молодежное									1			1		
12 Террасовое					1						1			1
13 Шумиловское									1			1		
14 Базовское	1				1							1		1
15 Иультинское				1	1	1						1		
17 Светлое					1	1						1		1
18 Этыка II									1			1		
19 Кукнейское	1				1							1		
20 Иидустириальное					1									1
21 Днепровское									1				1	1
22 Хинганское		1			1				1				1	1
23 Валькумейское						1			1			1	1	1
24 Курултейское	1				1				1					
25 Начальное	1				1								1	1
26 Караколес									1				1	
27 Восточно-Бастойское									1			1	1	1
28 Невское		1			1							1		
29 Этыка I		1		1	1				1					

Таблица 16 (окончание)

Номер месторождения	71	72	73	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86
1 Депутатское	1	1	1	1	1			1		1				
2 Эге-Хая	1		1		1			1						
3 Лифудзинское	1	1		1	1			1		1	1			
4 Хрустальненское	1	1		1	1		1	1			1			
5 Улахан-Эгеляхское				1	1									
6 Октябрьское					1				1					
7 Смирновское (Приморье)		1			1			1			1	1		
8 Дальнее		1						1		1			1	
9 Тарбальджей														
10 Ингодинское								1						
11 Молодежное					1									
12 Террасовое		1			1				1					
13 Шумиловское									1					
14 Базовское		1		1				1						
15 Иультинское		1		1	1			1						
17 Светлое														
18 Этыка II														
19 Кукнейское							1		1					
20 Индустриальное		1							1					
21 Днепровское		1			1	1			1					
22 Хинганское					1	1	1						1	
23 Валькумейское				1			1	1						
24 Куркултейское					1									
25 Начальное		1			1	1		1						
26 Караколес		1			1									
27 Восточно-Бастойское	1			1	1	1		1						1
28 Невское									1					
29 Этыка I														

I. Региональные геологические структуры. 1. Терригенные геосинклинали. 2. Срединные массивы — поднятия внутри антиклинориев. 3. Прогибы с инверсией, кислым вулканизмом и андезитами. 4. Антиклинории. 5. Синклинории. 6. Глубинные разломы, в том числе скрытые разломы фундамента. 7. Пересечения скрытых разломов.

II. Локальные рудовмещающие структуры. 8. Брахискладки. 9. Линейные складки. 10. Поперечные перегибы складок, флексуробразные изгибы. 11. Ядра и шарниры антиклиналей. 12. Крылья антиклиналей. 13. Крылья синклиналей. 14. Трещины отрыва. 15. Трещины односистемного скола и субпараллельные нарушения неясного генезиса. 16. Трещины двухсистемного скола и пересекающиеся трещины неясного генезиса. 17. Кольцевая система трещин. 18. Межпластовые срывы. 19. Пересечения трещин. 20. Вулканические жерла, взрывные брекчии. 21. Зоны расланцевания и трещиноватости.

III. Морфология рудных тел. 22. Штокверки. 23. Отдельные жилы (простые жилы). 24. Жильные зоны; преимущественно выполнение открытых трещин. 26. Зоны дробления и минерализации (полностью или частично метасоматические). 27. Угол падения до 50° . 28. Угол падения от 50 до 75° . 29. Угол падения свыше 75° .

IV. Особенности размещения оруденения. 30. Ртутные проявления на флангах. 31. Свинцово-цинковые проявления. 32. Кварц-касситеритовые проявления. 33. Наличие прожилков аксинита. 34. Рудный интервал больше 200 м. 35. Рудный интервал свыше 400 м. 36. Зональность внутри рудных тел. 37. Зональность внутри рудного поля. 38. Столбовое распределение минерализации. 39. Гнезда. 40. Равномерное распределение.

V. Магматические породы, ассоциированные с оруденением. 41. Аляскитовые граниты, порфировидные и другие (штоки и массивы в удалении до 3 км). 42. Аляскитовые граниты, порфировидные и другие под рудными телами. 43. Гранодиориты и кварцевые диориты вмещают оруденение. 44. Гранодиориты и кварцевые диориты в удалении до 3 км. 45. Гранодиориты и кварцевые диориты под рудными телами. 46. Кислые субвулканические тела, вмещающие оруденение в удалении до 3 км. 47. Основные и средние субвулканические тела, вмещающие оруденение и в удалении до 3 км. 48. Отдельные дайки порфиритов, гранодиорит-порфиров, андезито-базальтов, спессартитов, диоритовых порфиритов, андезитов, диабазовых порфиритов. 49. Дайковые поля порфиритов. 50. Отдельные дайки кварцевых порфиров, фельзитов, липаритов. 51. Дайковые поля кварцевых порфиров. 52. Внутрирудные порфириты. 53. Внутрирудные кварцевые порфиры. 85. Лавобрекчии, игнимбриты кварц-порфиров вблизи рудных тел.

VI. Вмещающие породы. 54. Песчаники. 55. Сланцы углистые и глинистые, алевролиты. 56. Переслаивание песчаников и углисто-глинистых сланцев. 82. Переслаивание песчаников и сланцев в тектонической зоне "тектониты". 58. Линзы известняков и известковистых пород в песчано-сланцевой толще. 59. Прослой конгломератов и граувак в песчано-сланцевой толще. 60. Биотитовые и другие роговики. 61. Кислые эффузивы и их туфы. 63. Дайки кислого состава. 64. Дайки основного и среднего состава. 65. Граниты - массивы и штоки. 66. Кристаллические сланцы, филлиты. 83. Кремнистые сланцы.

VII. Околорудные изменения. 67. Скарнирование. 68. Грейзенизация. 69. Серицитизация. 70. Окварцевание. 71. Турмалинизация. 72. Карбонатизация (сидеритизация, кальцитизация). 73. Биотитизация. 75. Сульфидизация. 76. Хлоритизация. 77. Каолинизация. 78. Альбитизация. 86. Пирофиллитизация.

VIII. Возрастные соотношения. 79. Стадий минерализации больше трех. 80. Стадий минерализации меньше трех и три. 87. Этапы минерализации (две и более).

К тому, что при сравнении отдельных объектов он может быть принят лишь как вспомогательный, приводит и сопоставление полученных парных коэффициентов сходства объектов по данным их минерального состава и геологическим особенностям.

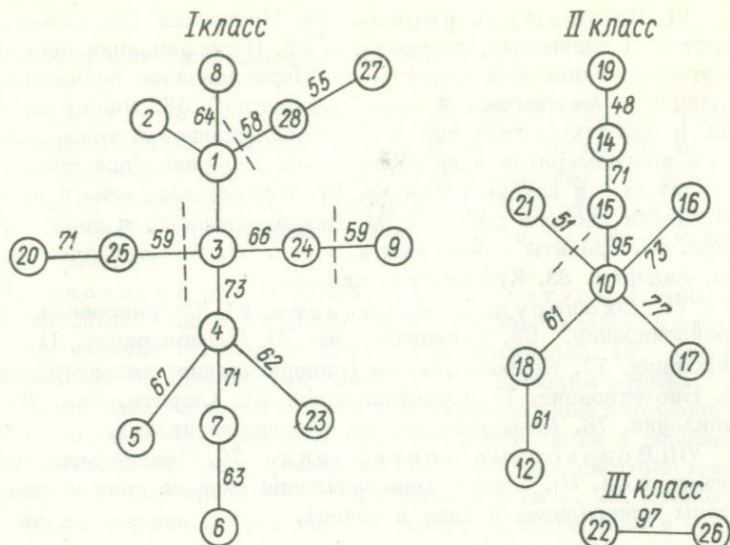
Предлагаемый метод не учитывает различной роли отдельных признаков и потому может приводить к неточным результатам. Это обстоятельство следует постоянно иметь в виду.

Еще более наглядную характеристику метода удалось получить, обработав данные всей табл. 16, из которой были взяты сведения о геологических признаках рассмотренных выше месторождений. Полученные в результате расчетов коэффициенты близости приведены на фиг. 3. Используя для классификации метод, описанный в разделе о применении ЭВМ для классификации месторождений по минеральному составу и освещенный в литературе (Константинов и др., 1968), можно установить, что все перечисленные в табл. 16 объекты распадаются на два крупных класса. Соотношения месторождений, попадающих в эти классы и коэффициенты, связывающие отдельных представителей, могут быть представлены в виде следующих схем (см. фиг. 3).

На этих схемах в кружочках показаны номера месторождений в соответствии с табл. 16, цифры около линий, соединяющих кружочки, - коэффициенты близости между месторождениями, подсчитанные по формуле (6). Пунктиром, перпендикулярным линиям, показаны отрезки с минимальными близостями. Можно предполагать, что месторождения, разделенные пунктирной линией, относятся к разным рудным формациям или геологическим типам.

Полученные таким образом соотношения должны быть подвергнуты критическому анализу на основе имеющихся геологических данных изученных месторождений.

Зная геологическое определение формационной принадлежности месторождений, показанных в табл. 16, устанавливаем, что в первый класс



Фиг. 3. Схема соотношений месторождений в однородных классах. Цифры в кружках – номера месторождений, цифры над линиями – коэффициенты сходства

попадают все месторождения касситерит-сульфидной и большинство месторождений, относимых многими исследователями к касситерит-силикатной формации; во второй – все месторождения касситерит-кварцевой формации; в третий – два месторождения касситерит-силикатной формации. Среди месторождений первого класса по минимальным коэффициентам (меньше 0,6) выделяются месторождения, принадлежащие к касситерит-силикатной формации (№№ 20, 25, 28, 27) и сложной касситерит-кварц-сульфидной формации (№ 9). Во втором классе к сложной формации относится по тому же признаку Днепровское месторождение.

Таким образом, предлагаемый метод может быть использован для классификации большого количества месторождений на основании всей совокупности их геологических признаков. Учитывая сказанное выше, для сравнения отдельных месторождений он может быть использован лишь как дополнительный, одновременно со сравнением месторождений по минимальному составу. В то же время можно подчеркнуть, что приведенные результаты исследования геологических признаков оловянных месторождений, принадлежащих к различным рудным формациям, доказывают объективное существование этих формаций как групп месторождений, характеризующихся функционально связанными особенностями состава руд и геологических условий образования, так как по геологическим признакам получается примерно та же классификация, что и по минеральному составу.

В последние годы в геологию и, в частности, в геологию рудных месторождений и металлогению, начали широко внедряться специфические методы обработки геологической информации. Эти методы основаны на математической статистике и на некоторых разделах кибернетики (теории распознавания образов, документалистике), в целом могут быть названы информационно-логическими. Прогрессу в деле их разработки способствовали исследования А.Б. Вистелиуса, Л.А. Родинова, Ю.А. Косыгина и других, и внимание к ним таких видных математиков, как А.Н. Колмогоров, А.А. Дородницын, Ю.В. Прохоров, С.В. Яблонский, Ю.И. Журавлев.

Фронт работ в этой области сейчас чрезвычайно широк и поэтому в данном разделе рассматриваются лишь вопросы, имеющие непосредственное отношение к хранению и обработке геолого-металлогенической информации, связанной с задачами рудно-формационных исследований.

При этом автором, как правило, не дается изложения существа математических методов, выбранных различными исследователями для решения стоявших перед ними задач. Предполагается, что знание этих основ может быть получено из специальной литературы (Миллер, Кан, 1965 и др.), а попытка их изложения в данной работе невозможна, так как задачи ее совершенно иные. В более простых случаях рассматривается порядок операций и способы подготовки геологического материала.

Некоторые примеры применения этих методов, рассмотренные в предыдущих разделах, должны были показать, что для обоснованного формационного анализа месторождений, а именно для создания оптимальной классификации месторождений по рудным формациям, необходимо максимально использовать все имеющиеся характеристики месторождений, которые могут быть получены при полевых и камеральных исследованиях. Эти данные необходимо иметь по возможно большему числу объектов. Полное использование такой огромной массы данных невозможно без применения современных методов обработки информации. В то же время применение этих методов на разных этапах формационных исследований открывает перед последними, как это будет показано ниже, некоторые новые возможности. Однако применение специальных информационных исследований предъявляет особые требования к качеству геологического материала. В частности, в соответствии с излагаемыми ниже правилами должны быть составлены шкалы призна-

ков, характеризующих условия нахождения месторождений и их минеральный состав. Но основным правилом, как и при любых информационных исследованиях, является ясная и четкая формулировка цели этих исследований.

Применение современных методов обработки информации при формационном анализе рассматривается ниже по последовательным этапам работ и в зависимости от применяемых методов. При этом имеется в виду, что в начале разрабатывается систематика для группы месторождений, выделенной по ведущим металлам или минералам (для неметаллических полезных ископаемых). Для каждой такой группы месторождений должен быть разработан список признаков (шкала признаков), с достаточной полнотой освещающих особенности минерального состава руд и геологической позиции месторождения. В соответствии с разработанной шкалой признаков собираются и накапливаются исходные данные по месторождениям той или иной группы и эти данные кодируются и записываются на перфокарты. Первой стадией обработки накопленного таким образом материала являются логические и статистические прикидки, выполненные специалистом по данному виду месторождений с использованием перфокарт.

Извлеченные затем из перфокарт данные служат основой для составления сводных таблиц, в свою очередь обрабатываемых с помощью электронно-вычислительных машин методами математической статистики и дискретного анализа.

Путем оценки полученных результатов выявляются объективные характеристики рудных формаций.

ПРИНЦИПЫ СОСТАВЛЕНИЯ ШКАЛЫ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В связи с активным внедрением в геологию рудных месторождений методов обработки геологических данных, заимствованных из различных разделов математики и кибернетики, возник целый ряд проблем. Среди них одно из первых мест занимает проблема правильного учета всех геологических факторов, оказывающих влияние на формационный тип месторождений, его масштабы и прочие особенности. Возникла необходимость в разработке таких систем признаков, которые максимально полно и объективно отражали бы геологическое строение месторождений.

А.А. Дородницын (1968) указывает, что выбор совокупности признаков представляет серьезную научную проблему, так как необходимо избавиться от "паразитных" признаков, систематически обнаруживающихся в связи с объектом, но не имеющих с ним причинной связи. Поэтому отбор признаков необходимо производить с учетом всех данных, свидетельствующих о причинной связи конкретных признаков с распознаваемыми объектами данного класса.

Эти обстоятельства заставляют коснуться некоторых общих принципов составления подобных списков признаков или, пользуясь термином, заимствованным из психологии и социологии, "шкалирования" геологи-

ческих признаков, т.е. создания соответствующих шкал признаков. Шкалы признаков должны служить достаточной основой для того, чтобы собранный в соответствии с ними материал можно было подвергнуть дальнейшей обработке статистическими или логическими методами.

Положение осложняется отсутствием единой системы геологических понятий, особенно для таких важных факторов, как региональная геология, магматизм и других. А между тем создаваемые для сбора геологических данных шкалы признаков должны позволять учитывать их наиболее объективным образом. Разные исследователи, пользуясь этими шкалами и предлагаемыми методами обработки данных, должны приходить к аналогичным результатам.

Уместно заметить, что, приступая к составлению шкалы геологических признаков, которая будет использована для сбора данных и классификации месторождений, нужно сначала отказаться от мысли, что нам уже известны какие-либо рудные формации и геологические факторы, определяющие их появление. Будем считать, что они скрыты и наша задача – выявить их путем соответствующей обработки геологических данных. По существу при решении задачи выявления геологических признаков, влияющих на появление определенной рудной формации или на масштабы месторождений, мы имеем дело с пока нам не известными свойствами, меняющимися при переходе от одной группы месторождений к другой. Иными словами, шкала – это система вопросов, ответы на которые в совокупности дают возможность судить о принадлежности месторождения к определенной рудной формации.

Это позволяет провести некоторую аналогию между поставленной задачей и рядом социологических задач, заключающихся в измерении "установки" – скрытой, но внутренне последовательной реакции индивида на ряд социальных объектов. Зная "установку", можно с достаточной вероятностью судить о том, как себя поведет индивид в той или иной ситуации. Измерение "установки" также производят с помощью ответов на специально разработанные вопросы. На основании этих ответов оказывается возможным отнести обследуемого человека к той или иной группе и соответственно предусмотреть его наиболее вероятную реакцию на внешние события.

В создаваемых шкалах каждый признак должен иметь строго фиксированное место в шкале, определяемое номером признака и может иметь вес (относительное количество), определяемый в баллах. Отметим, что поскольку каждый признак характеризуется двумя составляющими – местом и в нашем случае – весом, а в совокупности все признаки описывают состояние объекта, месторождения, то он, как уже выше отмечалось, является компонентом многомерного вектора.

При сборе данных о месторождениях учитываются два типа признаков. Во-первых, признаки собственно геологические, для которых какая-либо оценка значимости будет иметь чисто субъективный характер. Так как одним из основных условий формационного анализа является по возможности наиболее полное устранение субъективности в оценках, то эти признаки можно отразить лишь путем ответов на вопросы "есть" признак или его "нет", соответственно проставляя в шкале "1" или "0". Шкалы, содержащие признаки такого типа по Стивенсу, носят название

номинальных. Во-вторых, признаки, отражающие минералого-геохимические особенности руд. Этим признакам может быть дана относительная (полуколичественная) оценка их значимости, а иногда и прямая количественная оценка в данном месторождении. Система таких признаков называется пропорциональной шкалой.

При составлении шкалы признаков вначале необходимо выделить основные группы этих признаков. В случае рудных месторождений все признаки, естественно, делятся на две большие группы – собственно геологические и признаки минерального состава руд. Внутри собственно геологических выделяются группы региональных геологических признаков локальных рудоконтролирующих структур, морфологии рудных тел и их ориентировки в пространстве, магматических пород, ассоциированных с оруденением, вмещающих пород, околорудных изменений, возрастных категорий, характеризующих оруденение, прочих признаков, к которым могут быть отнесены проявления зональности, наличие оруденения других типов, вертикальный размах оруденения, характер распределения рудного вещества и другие признаки.

Затем в каждой из групп указываются все возможные в ней отдельные признаки, составляется общий список признаков и все признаки нумеруются по порядку (табл. 16).

Возможны несколько иные деления признаков. Так, А.Н.Дмитриев, Ю.И.Журавлев, Ф.П.Кренделев (1968) подразделяют все признаки на две большие группы: пространственно-временные, к которым они относят данные о геологических структурах и о возрасте месторождений, и вещественные, куда попадают, помимо признаков минерального состава руд, вмещающие породы, околорудные изменения, признаки характеризующие магматизм.

Г.Тишендорф (Tischendorf, 1968) для определения перспектив месторождений олова считает целесообразным выделять региональные рудоконтролирующие факторы, локальные рудоконтролирующие факторы и рудные индикаторы. В каждой из этих групп в свою очередь рассматриваются вещественные и структурные аспекты.

Оригинальную систему признаков предложил В.Т.Матвеев (1968) в своей классификации оловянных месторождений.

При составлении шкалы признаков минерального состава месторождений необходим несколько иной подход.

Прежде всего, составляется общий список минералов, присутствие которых возможно для руд из месторождений определенных видов минерального сырья. Так, для оловянных месторождений таких минералов оказалось 100, для золотых месторождений – более 170.

Затем вырабатывается система оценки количества каждого минерала в баллах, соответствующая определенным процентным содержаниям этого минерала в руде. Здесь возможны различные пути. Например, для оловянных месторождений нами была сделана попытка определить пропорции между количественным содержанием минерала в руде, полученным в результате минералогического описания технологических проб и визуальной оценкой его содержания, данной при геолого-минералогическом описании месторождения, когда все минералы подразделяются на главные, второстепенные, малораспространенные и редкие. Анализ

этих технологических проб обнаружил определенное соответствие между оценкой содержания минерала в руде по пятибалльной системе и его процентным содержанием, отраженное в табл. 3. Эта таблица была затем использована в качестве основы при сборе данных о минеральном составе оловянных месторождений.

Н.В.Петровской, в распоряжении которой было больше материалов о количественном содержании отдельных минералов в рудах золотых месторождений, была предложена девятибалльная шкала (Петровская и др., 1971). При этом один балл обозначает единичные или очень редкие находки минералов, преимущественно под микроскопом, два балла — минерал встречается сравнительно часто, но в очень малых количествах (0,1% и меньше); три балла — минерал присутствует в заметных количествах (1-3%), четыре балла — минерал присутствует в существенных количествах (3-8%); пять баллов — минерал составляет 9-29% от общей массы рудного вещества; шесть баллов — минерал господствует среди рудных минералов и составляет существенную часть среди жильных минералов (30-50%); семь баллов — минерал резко преобладает (составляет более 50%) от общей жильной массы; восемь баллов — господствующий минерал, составляющий 80-90% от массы жильного вещества.

Для классификации месторождений, особенно содержащих полиметаллические руды, можно использовать также данные о процентном содержании в них различных компонентов, как это с успехом было сделано Д.И.Горжевским (1967) для классификации свинцово-цинковых месторождений. В этом случае для того, чтобы перейти к рудно-формационной классификации, химические анализы проб надо подвергнуть соответствующим количественно-минералогическим пересчетам, а результаты последних использовать для разработки шкалы.

Во всех случаях каждая предложенная шкала признаков должна отвечать следующим требованиям:

1. Она должна позволить собрать сведения по максимальному количеству месторождений и не содержать таких признаков или групп признаков, характеристики которых имеются лишь для отдельных, редких объектов или получены в результате специальных сложных исследований, т.е. шкала должна отвечать среднему уровню изученности месторождений.

2. Она должна быть надежной и обеспечивать сходство результатов повторных исследований. При этом шкала должна быть стабильной, т.е. результаты обработки одних и тех же геологических и минералого-геохимических данных разными исследователями должны иметь минимальные расхождения.

3. Она должна быть обоснованной, т.е. должна состоять из такой системы признаков, которые используются большинством исследователей при характеристике данной группы месторождений. При этом должны быть учтены и такие признаки, которые были выявлены в последние годы в результате специальных геолого-геохимических методов исследования (содержание редких элементов в рудах, данные о температурах гомогенизации газово-жидких включений и т.п.), но которые приобрели широкое распространение и по результатам которых уже накоплен большой материал.

При составлении шкалы геологических признаков вначале необходимо включить все признаки, какие только возможны, на месторождениях данного вида сырья. Этих признаков оказывается значительно больше, чем в окончательном варианте. В последнем должны быть отброшены все допускающие различное толкование и не относящиеся к геолого-минералогической характеристике рудной формации.

В шкале признаков необходимо определять также степень диагностируемости каждого признака. Под степенью диагностируемости понимается количество совпадений при выборе различными исследователями для данного признака одного из возможных вариантов. Выбор признаков производится на основании имеющихся геологических описаний.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО МИНЕРАЛЬНОМУ СОСТАВУ И ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ НАХОЖДЕНИЯ

Возможности, которые открываются при использовании современных методов обработки данных на ЭВМ, для классификации различных геологических объектов привлекают внимание целого ряда ученых. В наиболее полном виде эта проблема была исследована Д.А.Родионовым (1968). Предложенные Д.А.Родионовым статистические методы позволяют решать обширный круг геологических задач, которые подразделяются на следующие основные типы: а) задачи, связанные с разграничениями результатов наблюдений, разграничением на плоскости и в трехмерном объеме. К этому типу задач относятся разнообразные вопросы картирования, сопоставления стратиграфических разрезов, изучения зональности месторождений, перспективной оценки территорий, построения классификаций в палеонтологии и др.; б) задачи сравнения установленных разграничений с целью выявления главных границ, соответствующих наиболее резким различиям, и границ, имеющих меньшую роль, носящих характер детализации; в) задачи выбора наилучшей для различения объектов комбинации признаков из всего их комплекса.

Вопросам классификации геологических объектов по петрохимическим и геохимическим данным посвящены исследования А.Н.Бугайца, Н.Г.Гражданцева и др. (1968).

Однако все эти методы применимы главным образом для обработки количественных данных о химическом составе пород или руд и других подобных признаках. К сожалению, при рудно-формационных исследованиях редко удается использовать такие точные данные. Обычно приходится основываться на качественных характеристиках (присутствует или отсутствует признак) или на полуколичественных данных (например, с оценками содержания минералов в баллах). Для решения задач с подобного рода данными, как это показал А.Б.Вистелиус (1964), более пригодны информационные методы, заимствованные из теории распознавания образов.

Наиболее совершенным из предложенных нами выше методов сравнения минерального состава месторождений был тот, при котором расче-

ты производились по приведенной выше простой формуле (1), используемой в методах распознавания образов:

$$\rho = \frac{\langle h, h' \rangle}{|h| |h'|} \quad (1)$$

Накопленные на перфокартах сведения о минеральном составе большого количества рудных месторождений могут быть обработаны и с использованием этой формулы, а полученные в результате расчетов сходства — послужить основанием для классификации месторождений по минеральному составу.

В то же время расчеты по приведенной формуле являются довольно громоздкими и могут быть выполнены одним человеком в течение рабочего дня максимум для пяти пар месторождений. Поэтому С.В. Сиротинской и З.Е. Королевой была составлена программа для подсчетов коэффициентов сходства (косинусов углов между векторами минерального состава) на электронно-вычислительной машине и последующей классификации объектов по полученным значениям косинусов.

Для классификации месторождений с помощью полученных коэффициентов сходства ниже предложен простой логический способ. Однако этот способ дает лишь приближенные результаты, нуждающиеся в статистической проверке.

Значительно более точной и статистически обоснованной будет классификация, построенная на основании проверки равенства многомерных средних методами, изложенными выше в разделе о способах сравнения месторождений по минеральному составу.

При сравнении месторождений по минеральному составу с получением коэффициентов корреляций между признаками-минералами может быть применен Q-метод факторного анализа (Миллер, Кан, 1965). Согласно Миллеру и Кану, этот метод применим для сильно отличающихся друг от друга месторождений.

О классификации гидротермальных оловорудных месторождений по минеральному составу и геологическим условиям нахождения

Первая попытка использовать математические методы для решения задач рудно-формационного анализа была предпринята с целью разработки, наиболее обоснованной всем имеющимся фактическим материалом, классификации гидротермальных оловорудных месторождений (Константинов, Джабар-Задэ, Сиротинская, 1968, Константинов, Сиротинская, Бортников, 1972).

Это было сделано в связи с тем, что в настоящее время нет общепринятой классификации оловорудных месторождений, а есть разнообразные ее варианты, частично отраженные в табл. 17 (Смирнов и др., 1947; Григорьев, Долманова, 1956, Лугов, 1965; Материки, 1964; Матвеев, 1968; Радкевич, 1968).

С.С.Смирнов, О.Д.Левицкий, 1947		И.Ф. Григорьев, Е.И.Доломанова, 1956		С.Ф.Лугов,
Формация	Тип	Формация	Тип	Формация
		Касситеритовые граниты	Касситеритовые граниты Касситеритовые миоэролитовые граниты	
Оловоносные пегматиты	Кварцево-микроклинный Сподуменово-кварцево-микроклинный	Касситеритовые пегматиты	Касситеритовые грейзенизированные пегматиты Касситерит-сподуменовые (лепидолитовые) пегматиты	Оловоносные пегматиты
		Касситерит-полевошпатовая кварцевая	Касситерит-полевошпатовая кварцевая Касситерит-полевошпатово-топаз-кварцевая	
Касситерит-кварцевая	Оловоносные грейзены Топазово-кварцевый Полевошпатово-кварцевый Кварцевый	Касситерит-кварцевая	Касситеритовые грейзены Касситерит-топаз-кварцевый Касситерит-кварцевый Касситерит-вольфрамит-кварцевый Касситерит-полевошпатово-флогопит-кварцевый	Касситерит-кварцевая

оловорудных месторождений

1965	М.П.Материкив, 1964		Е.А.Радкевич, 1968		
Тип	Группа	Формация	Группа	Формация	Тип
	Силикатно-кварцевая		Кремнeshелочная	Оловоносные грани- ты	
		Оловоносные пегматиты		Пегматито- вая	Микроклин- мускови- товый Сподумен- микроклин- мусковито- вый
Грейзеновый Кварц-альбито- вый Кварцевый Кварц-топазо- вый Кварц-арсено- пирит-вольфра- митовый		Касситерит- кварцевая		Кассите- рит-квар- цевая	Кварцево- полевошпа- товый Кварцево- топазовый Кварцевый Грейзено- вый

С.С.Смирнов, О.Д.Левицкий, 1947		И.Ф.Григорьев, Е.И.Доломанова, 1956		С.Ф.Лугов,
Формация	Тип	Формация	Тип	Формация
		Касситерит-кварц-сульфидная	Касситерит-кварц-арсенопиритовый Касситерит-вольфрамит-(шеелит)-кварц-арсенопиритовый Касситерит-турмалин-кварц-сульфидная	Касситерит-кварц-сульфидная
		Касситеритовые скарны		Оловоносные скарны
Касситерит-сульфидная	Оловоносные скарны Турмалиново-сульфидный Хлоритово-сульфидный Галениново-сфалеритовый	Касситерит-сульфидная	Касситерит-хлоритовый Галенит-сфалеритовый	Касситерит-сульфидная Касситерит-силикатная

Таблица 17 (окончание)

1965	М.П.Материков, 1964		Е.А.Радкевич, 1968		
Тип	Группа	Формация	Группа	Формация	Тип
Кварц-полево-шпатовый Топаз-слюдисто-кварцевый Кварцевый Кварц-сульфидный	Силикатно-сульфидная	Касситерит-кварц-сульфидная	Сульфидно-железистая		
				Оловоносные скарны	
		Касситерит-сульфидная		Касситерит-сульфидная	Арсенопирит-пирротин-сфалеритовый Галенит-сфалеритовый
Турмалиновый Кварц-турмалиновый Турмалин-кварц-сульфидная	Силикатно-карбонатная	Касситерит-силикатная			
				Касситерит-силикатно-сульфидная	Турмалиновый Хлоритовый
		Деревянистое олово (риолитовая)		Деревянистое олово	
		Оловоносные скарны			
		Касситерит-флюорит-силикатная			
		Касситерит-карбонат-сульфидная			

Классификации оловорудных месторождений строятся большинством исследователей на рудно-формационной основе. При этом среди гидротермальных месторождений обычно выделяются формации касситерит-кварцевая, касситерит-силикатная и касситерит-сульфидная, а также сложная (переходная) кварц-сульфидно-касситеритовая и особая группа оловорудных формаций в карбонатных породах.

Автором совместно с С.В.Сиротинской и Н.С.Бортниковым (1972) были собраны данные о минеральном составе 150 гидротермальных оловорудных месторождений из различных районов СССР и зарубежных стран.

Эти данные не были полными. В частности, среди них недостаточно были представлены оловорудные месторождения, залегающие в карбонатных породах, месторождения риолитовой формации и некоторые другие. С другой стороны, естественно, что использование литературных источников также не способствовало точности полуколичественных характеристик распространенности минералов.

Поэтому полученные выводы следует рассматривать больше с методических позиций, так как авторов интересовала в основном возможность использования полуколичественной оценки минерального состава месторождений и расчетов по приведенной выше формуле (1) на электронно-вычислительной машине для целей формационного анализа месторождений.

Предложенный С.В.Сиротинской метод выделения однородных групп на основании полученной матрицы заключается в следующем:

1. Отмечаются максимальные коэффициенты сходства в каждой строке матрицы. Обычно таких коэффициентов имеется один для каждой строки, редко — два или три (в том случае, если максимальные коэффициенты отличаются не более, чем на 0,005).

2. Выписывается индекс столбца с индексами строк, из которых в данный столбец попали максимальные коэффициенты. Причем столбцы выбираются в порядке убывания числа содержащихся в них максимальных коэффициентов из строк.

В результате образуются первичные группы, в которых объекты, соответствующие индексу столбца, служат так называемыми "ядрами" этих групп, а объекты, соответствующие индексам строк, содержащих максимальные коэффициенты, — элементами групп.

3. Среди выделенных первичных групп в первую очередь рассматривается группа, содержащая наибольшее число элементов, затем остальные группы в порядке убывания числа содержащихся в них элементов. Определяют, является ли каждый элемент такой группы ядром другой первичной группы, содержащей меньшее (одинаковое) число элементов. Если является, то последняя присоединяется к группе с большим (одинаковым) числом элементов. Во вновь присоединенной группе таким образом рассматриваются все элементы и т.д., пока цепочка не обрывается. Присоединенные группы из дальнейшего рассмотрения исключаются.

4. Если необходимо выделить более общие группы, то сначала выбирается группа с наименьшим числом элементов и рассматриваются коэффициенты сходства ядра этой группы с ядрами других групп. Выбранная группа присоединяется к той группе, с ядром которой она имеет

наибольшее значение коэффициента сходства. Затем также поступают и с остальными группами в порядке возрастания в них числа элементов. Вновь образованные группы опять включаются в рассмотрение, но уже с новым числом элементов. Процесс продолжается до тех пор, пока не образуется группа (с числом элементов меньшим или равным числу элементов в других группах), ядра которой имеют одинаковое значение наибольшего коэффициента корреляции с ядрами нескольких остальных групп. Если такой группы не будет, то можно прервать этот процесс, когда будут получены достаточно крупные группы, самые маленькие из которых незначительно отличаются по числу элементов друг от друга.

В случае, если есть общий элемент (не являющийся ядром), у выделенных групп он присоединяется к той группе, с ядром которой он имеет большее значение коэффициента сходства. При равных значениях коэффициента сходства этот элемент присоединяется к той или другой группе произвольно.

В результате применения описанного метода и полученной корреляционной матрицы оловорудные месторождения оказались разделенными на группы, которые могут быть названы однородными минеральными группами¹ (табл.18). Они отражают всю изменчивость оловорудных месторождений, которую удастся установить данным методом при принятой пятибалльной полуколичественной оценке содержания минералов. Каждая минеральная группа объединяет наиболее близкие по составу месторождения.

К I группе относятся такие месторождения, как Хапчеранга, Депутатское, Эге-Хая, Лифудзинское и другие, являющиеся типичными представителями касситерит-сульфидной формации по существующей классификации оловорудных формаций. Главными минералами здесь являются кварц, пирит, арсенопирит, галенит, пирротин, сфалерит; меньшим распространением пользуются станнин, халькопирит, марказит, кальцит, сидерит, хлорит, мусковит.

Ко II группе относятся месторождения Омсукчанского рудного района Магаданской области, такие как Индустриально-Хатаренское, Начальное, Невское, Джагынское, Хинганское, Валькумей и другие, которые являются типичными представителями выделенной ранее касситерит-силикатной формации. Здесь главными являются кварц, турмалин, хлорит, распространенными – арсенопирит, пирит, а также мусковит, плагиоклаз, флюорит, каолинит, мусковит.

III группа включает классические представители касситерит-кварцевой формации, например, Циннвальд, Этыка, Иультинское и другие. В эту же группу входят некоторые месторождения сложной касситерит-сульфидной формации (Тарбальджей) и некоторые оловянные месторождения в известняках (Ярославское, Будюмканское, Беатрис). Главные минералы в этой группе – кварц, мусковит, арсенопирит, вольфрамит, топаз, флюорит, распространенные – калиевый полевой шпат (адуляр), пирит, сфалерит, халькопирит, турмалин.

¹В теории распознавания образов подобные группы называются компактными множествами изображений (Васильев, 1969).

Месторождения	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0
I группа (соответствует касситерит-сульфид			
Хапчеранга, Буреломное, Бургавли, Имтанджа, Ново-Монастырское, Нижне-Молодежное, Октябрьское, Таачан, Труд, Депутатское, Галимый, им.Лазо, Эге-Хая, Приморское, Смирновское, Лифудзинское, Хрустальненское, Сохондо, Колкири, Уануни, Льяляягуа, Морококала, Верхне-Молодежное, Синанчинское, Каргуайкольо, Монсеррат, Чокайо, Искайка, Перко, Асунта, Потоси Б, Вилоко, Тасна, Колави, Лаочан II, Курганское, Улахан-Эгеляхское, Поопо.	Кварц-3,23 (0,97)* Пирит -3,31 (0,95)	Арсенопирит-2,54 (0,87) Галенит-2,38 (0,79) Пирротин-2,77 (0,77) Сфалерит-2,97(0,92)	Кальцит-0,18 (0,44) Марказит-1,31 (0,30) Мусковит-0,35 (0,56) Сидерит-1,18 (0,44) Станнин-1,35 (0,67) Халькопирит-1,69 (0,77) Хлорит-1,74 (0,49)
Подгруппа I группы (соответствует галенит-сфалерито формации)			
Ново-Монастырское, Смирновское (Забайкалье), Смирновское (Приморье), Потоси-А, Оруро, Милуни, Попо, Асунта, Порко и другие месторождения	Пирит-3,23 Сфалерит-3,32 Кварц-3,33	Галенит-2,45	Арсенопирит-1,86 Джемсонит-1,14 Пираргирит-1,45 Сидерит-1,05 Станнин-1,5 Халькопирит-1,28 Марказит-1,80

по минеральному составу, в баллах

1,0-0,5	Менее 0,5
ной формации Висмутин-0,18 (0,44) Вольфрамит-0,67 (0,36) Пираргирит-0,72 (0,33) Турмалин-0,95 (0,41) Флюорит-0,51 (0,28)	Адуляр-0,24 (0,15), айкинит-0,15, алунит-0,28; апатит-0,26 (0,36), анкерит-0,41, антимонит-0,08, анатаз-0,13, андалузит-0,05, андорит-0,18, амфибол-0,05, барит-0,13, берилл-0,05, бл.руда-0,31, биотит-0,08, брукиит-0,03, бурнонит-0,25, буланжерит-0,35, валлерит-0,18, висмутин-0,38, вюртцит-0,31, гематит-0,24 (0,18), глаукоцит-0,08, гранаты-0,1, графит-0,1, диопсид-0,05, джемсонит-0,46, золото-0,21, каолинит-0,28 (0,20), канфилдит-0,03, карбонаты-0,1, козалиит-0,08, ксенотим-0,05, кобальтин-0,03, кубанит-0,18, лёллингит-0,1, магнетит-0,29 (0,28), матильдит-0,05, монацит-0,1, молибденит-0,18, олигонит-0,21, ортит-0,03, плагиоклазы-0,38 (0,26), пренит-0,05, родонит-0,05, родохрозит-0,03, рутил-0,24 (0,20), самородное серебро-0,26 (0,23), самородный висмут-0,03, сфен-0,1, тефroit-0,03, тиллит-0,36, топаз-0,13 (0,10), френкеит-0,28, халцедон-0,25, цеолиты-0,05, поизит-0,03, циркон-0,15, цинкеит-0,13, шеелит-0,24 (0,10), эпидот-0,03
вому типу, выделяемому Алунит-0,05 Вольфрамит-0,55 Вюртцит-0,64 Пирротин-0,11	внутри группы, отвечающей касситерит-сульфидной Апатит-0,14, анкерит-0,41, андрадит-0,41, барит-0,36, буланжерит-0,41, висмут-0,22, висмутин-0,36, гитерманит-0,14, доломит-0,14, кальцит-0,14, магнетит-0,18, матильдит-0,14, мусковит-серицит-0,32, олигонит-0,18, родохрозит-0,14, самородное серебро-0,36, тальк-0,14, тиллит-0,45, турмалин-0,27, франкеит-0,45, халькопирит-0,36, хлорит-0,23, цинкеит-0,32

Месторождения	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0
II группа (соответствует касситерит-			
Индустриальное, Начальное, Дне- провское, Хин- ганское, Курул- тей, Хатаренское, Кривое, Айгур, Лесное, Contac- товое, Хивовчан- ское, Водораздел, Брекчия, Карако- лес, Правобас- тойское, Егорлык- ское, Джагынское, Келянское, Остан- цевое, Медычакс- кое, Невское, Охотничье, Чел- бинское, Вальку- мей, Бутугычан- ское, Кукнейское	Кварц-3,58 (1,00)	Турмалин-2,12 (0,88) Хлорит-2,0 (0,88)	Арсенопирит-1,54 (0,80) Каолинит-1,23 (0,27) Мусковит-1,85 (1,000) Плагиоклазы- 0,27 (0,43) Пирит-1,23 (0,88) Флюорит-1,35 (0,81)
III группа (соответствует касситерит-			
Иультинское, Ингон- динское, Лево-Ин- годинское, Будюм- канское, Ярослав- ское, Светлое, Тар- бальджей, Корнуэлл, Зауберг, Шляген- вальд, Гейер, Грау- хен, Купфергрубе, Альтенберг, Цинно- вец, Этыка I, Этыка II, Кестер, Первоначальное, Лиму, Первомай- ское, Пограничное, Воскресенское, Беатрис, Грейзе- новое, Танненберг, Нагорное	Кварц-3,59 (0,98) Мусковит-3,59 Серицит-3,0 (0,81)	Арсенопирит-2,75 (0,92) Вольфрамит-2,16 (0,70) Топаз-2,63 (0,85) Флюорит-2,41 (0,85)	Адуляр-1,25 (0,44) Пирит-1,92 (0,85) Сфалерит-1,41 (0,63) Турмалин-1,41 (0,44) Халькопирит- 1,29 (0,74)

Таблица 18 (продолжение)

1,0-0,5	Менее 0,5
силикатной формации) Апатит-0,87 (0,61) Вольфрамит-0,90 (0,58) Галенит-0,90 (0,77) Гематит-0,61 (0,38) Кальцит-0,58 (0,38) Леллингит-0,61 (0,31) Магнетит-0,77 (0,38) Рутил-0,74 (0,45) Самородный висмут-0,5 (0,38) Сфалерит-0,90 (0,61) Халькопирит-0,92 (0,77)	Анализ-0,15, адуляр-0,46 (0,19), анкерит-0,15, аксинит-0,04, айкинит-0,44, андалузит-0,03, амфибол-0,12, блеклая руда-0,12, биотит-0,12, висмут-0,27, висмутин-0,30 (0,31), джемсонит-0,03, жильбертит-0,04, золото-0,27, ильменит-0,08, карбонаты-0,23, ксенотим-0,08, кобальтин-0,08, марказит-0,27, монацит-0,08, молибденит-0,30 (0,31), накрит-0,12, олигонит-0,08, ортит-0,04, пирротин-0,20 (0,19), пираргирит-0,03 (0,11), цергодолинит-0,08, реальгар-0,04, сидерит-0,04 (0,04), станин-0,35 (0,35), сфен-0,38, тетрадимит-0,03, топаз-0,46 (0,19), фенакит-0,04, франколит-0,04, халседон-0,04, цоизит-0,12, циркон-0,35, шеелит-0,30 (0,31)
кварцевой формации) Апатит-0,52 (0,44) Берилл-0,64 (0,23) Галенит-0,88 (0,63) Кальцит-0,76 (0,41) - слюда-0,72 Молибденит-1,0 (0,59) Плаггиоклазы-0,84 (0,76) Пирротин-0,64 (0,41) Станин-0,64 (0,37) Хлорит-0,64 (0,35) Шеелит-0,52 (0,30)	Антимонит-0,08, анатаз-0,16, ауегелит-0,08, аурипигмент-0,04, барит-0,20, берtrandит-0,04, блеклая руда-0,36, биотит-0,28, брукит-0,04, висмут-0,36, висмутин-0,28 (0,70), гематит-0,32 (0,15), глаукоцит-0,08, гранаты-0,08, жильбертит-0,40, жозеит-0,04, золото-0,03, ильменит-0,08, каолинит-0,20, карбонаты-0,04, колумбит-0,08, ксенотим-0,04, кобальтин-0,16, леллингит-0,12, магнетит-0,08 (0,11), марказит-0,12 (0,11), накрит-0,20, ортит-0,04, пираргирит-0,12 (0,1), реальгар-0,04, родохрозит-0,16, рутил-0,20, самородное серебро-0,04, сидерит-0,28 (0,11), сфен-0,08, тетрадимит-0,04, фенакит-0,28, франколит-0,03, халседон-0,16, цеолиты-0,04, циркон-0,16, эпидот-0,16

Месторождения	4,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0
IV группа (в карбонатных породах, соот			
Такфон, Белая	Гранаты-3,25	Кварц-2,0	Арсенопирит-1,19
Гора, Питкеранта,	Диопсид-3,0	Кальцит-2,36	Галенит-1,10
Майхуринское,		Магнетит-2,46	Сфалерит-1,64
Лаочан, Суншудзяо,		Пирит-2,18	Флюорит-1,18
Аотансань, Тютю-		Пирротин-2,09	Хлорит-1,46
Су, Малага, Бил-		Халькопирит-2,82	Шеелит-1,18
литон, Ханкайский			
массив, Ванчинское			

* Цифрами указано среднее содержание минерала в баллах в месторождениях на количество месторождений в группе. В скобках указаны частоты рождений, в которых установлен минерал на общее количество месторождений

Частота встречаемости наиболее распространенных минералов в оловянных месторождений

Минералы	Минеральные группы (формации)		
	I	II	III
Адуляр	0,154	0,192	0,445
Апатит	0,359	0,615	0,445
Арсенопирит	0,872	0,808	0,926
Берилл	0,051	0,0	0,296
Висмутин	0,333	0,310	0,259
Вольфрамит	0,359	0,580	0,704
Голенит	0,795	0,770	0,630
Гематит	0,179	0,385	0,148
Каолинит	0,205	0,265	0,037
Кварц	0,974	1,000	1,000
Лёллингит	0,051	0,310	0,074
Магнетит	0,283	0,385	0,111
Марказит	0,305	0,231	0,111
Молибденит	0,077	0,310	0,592
Мусковит	0,564	1,000	0,815
Пирит	0,949	0,885	0,852

Таблица 18 (окончание)

1,0-0,5	Менее 0,5
ветствует формации оловоносных скарнов)	
Адуляр-0,55	Амфибол-0,36, блеклая руда-0,18, висмутин-0,46,
Апатит-0,55	вольфрамит-0,09, графит-0,36, джемсонит-0,36,
	молибденит-0,36, мусковит-серицит-0,09, родонит-
	0,18, сидерит-0,27, топаз-0,09, турмалин-0,46, фена-
	кит-0,18, циркон-0,18

группы, полученное как частное от деления суммы всех содержаний минералов встречаемости минералов, полученные как частное от деления количества местов в группе.

Таблица 19

различных минеральных группах (рудных формациях) гидротермальных

Минералы	Минеральные группы (формации)		
	I	II	III
Пирротин	0,770	0,992	0,410
Пираргирит	0,330	0,116	0,074
Плагиоклазы	0,257	0,431	0,259
Рутил	0,205	0,450	0,148
Самородное серебро	0,231	0,385	0,037
Сидерит	0,436	0,038	0,111
Станнин	0,667	0,346	0,370
Сфалерит	0,923	0,615	0,630
Топаз	0,103	0,192	0,852
Турмалин	0,410	0,885	0,445
Флюорит	0,283	0,770	0,741
Халькопирит	0,770	0,770	0,741
Хлорит	0,487	0,885	0,303
Шеелит	0,103	0,310	0,296

В I группе отчетливо выделяется подгруппа месторождений, среди которых находятся многие представители касситерит-сульфидной формации. В эту подгруппу попадают такие месторождения, как Смирновское (Забайкалье), Ново-Монастырское, Синанчинское, Потоси и другие, которые Е.А.Радкевич (1956) относит к галенит-сфалеритовому типу касситерит-сульфидной формации. Здесь главные минералы – кварц, пирит, сфалерит, галенит, распространенные – арсенопирит, станнин, пираргирит, джемсонит, халькопирит, марказит, сидерит.

Наконец, в последнюю сильно обособленную группу относятся месторождения, среди которых находятся некоторые типичные представители оловяносных скарнов. Это такие месторождения, как Питкаранта, Майхуринское, Такфон и другие. Для этой группы главными минералами являются – гранаты, диопсид, кварц, кальцит, магнетит, пирит, халькопирит; распространенные – арсенопирит, галенит, сфалерит, флюорит, хлорит, шеелит. В табл.18 для некоторых минералов, содержащихся в больших количествах, в скобках указана частота их встречаемости в соответствующей минеральной группе, полученная в результате деления числа месторождений, в которых встречен минерал, на общее число всех месторождений, входящих в группу. Величина частоты встречаемости дает представление о распространенности минерала в месторождениях формации.

Частота встречаемости наиболее распространенных минералов показана в табл.19. Обе величины (частота встречаемости и среднее количество в баллах) в совокупности уже позволяют судить о характерности минералов для различных рудных формаций. Устанавливается немаловажный и требующий соответствующего генетического объяснения факт, заключающийся в следующем. Если месторождения первой и третьей групп (касситерит-сульфидной и касситерит-кварцевой формаций) содержат некоторые одинаковые минералы в больших количествах, то нет ни одного случая, чтобы какой-либо из этих минералов содержался в малом количестве во второй группе (касситерит-силикатной формации). Это, возможно, свидетельствует о том, что касситерит-силикатная формация, несмотря на целый ряд присущих ей особенностей минерального состава и геологических условий нахождения, по процессам образования является как бы переходной между касситерит-сульфидными и касситерит-кварцевыми месторождениями. По-видимому, именно эти обстоятельства заставили в свое время С.С.Смирнова воздержаться от выделения касситерит-силикатной формации и позволяют некоторым исследователям (Дубровский, 1969) и сейчас ставить под сомнение целесообразность ее выделения. Так, в детальной классификации оловяно-рудных месторождений, разработанной В.Т.Матвеевко и О.Н.Кабаковым (Матвеевко, 1968), среди гидротермальных месторождений олова выделяются формации касситерит-кварцевая, касситерит-кварцевая, богатая железистыми силикатами или сульфидами, касситерит-сульфидная и формация деревянистого олова, а касситерит-силикатная формация не выделяется.

Однако, как будет показано ниже, изучение геологической позиции оловяно-рудных месторождений в совокупности с данными об их минеральном составе приводит к выводу, что выделение касситерит-силикатной

формации является статистически обоснованным. Там же будут показаны основные отличия полученной классификации от ранее предложенных.

Для того чтобы решить вопрос об обоснованности полученной классификации и возможности ее практического использования, с помощью критерия χ^2 была проверена непротиворечивость классификации фактическим данным. Для этого были использованы данные о частоте встречаемости минерала в месторождениях соответствующих классификационных групп. Расчеты были выполнены для трех главных классификационных групп, так как для последней группы известно слишком мало представителей. Для упрощения расчетов были учтены минералы с заметно изменяющимися в различных группах частотами встречаемости, так как минералы с близкими частотами встречаемости не могли существенно повлиять на конечные результаты. Методы расчета изложены выше в разделе о статистическом обосновании связей металлогенических факторов. Ход расчета отражен в табл. 20.

Для данных, приведенных в табл. 21, $\chi^2 = 183,34$. В связи с тем, что число степеней свободы $K=46$ (по формуле $K = (r - 1) (l - 1)$, где r - число строк, а l - число столбцов в таблице), т.е. $K > 30$ для выяснения значимости полученной классификации используем следующее выражение (Бейли, 1962):

$$d = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2K - 1},$$

где d - переменная, подчиняющаяся нормальному распределению со средним значением, равным "0" и квадратичным отклонением, равным 1. Для разных уровней значимости значения d приведены в таблицах. В исследуемом случае $d = \sqrt{2 \cdot 183,34} - \sqrt{(2 \cdot 46) - 1} = 9,5$. Для уровня значимости 0,001 табличное значение $d = 3,291$. Поскольку полученное нами значение $d = 9,5$ значительно больше этой величины, можно считать, что предлагаемая классификация гидротермальных оловорудных месторождений не противоречит статистическим данным.

Убедившись, что полученная классификация не противоречит статистическим данным, можем средние содержания минералов, указанные в табл. 18 и вычисленные как средние арифметические из содержаний каждого минерала в баллах для месторождений группы, использовать для определения принадлежности к какой-либо минеральной группе нового месторождения, классификационное положение которого неизвестно. Для этого, оценив в баллах количество минералов в рудах месторождения, следует сравнить состав его руд с составами минеральных групп, пользуясь для расчетов приведенной выше формулой (1). Оценив принадлежность месторождений к различным группам и выбрав среди них ту, где коэффициенты сходства максимальны, тем самым решаем вопрос о наиболее вероятном формационном типе данного месторождения.

Определим в качестве примеров, к каким из выделенных минеральных групп принадлежат некоторые месторождения Комсомольского рудного района (Солнечное, Придорожное, Фестивальное, Октябрьское, Перевальное, Лунное), минеральный состав которых дается на основании данных Г.С. Головкова (Головков и др., 1967) и личных наблюдений автора, а также месторождения Дальне-Таежного в Приморье, минераль-

Проверка обоснованности предположения о связи между минеральным оловорудных месторождений

Группа	Минералы, встречающиеся в оловорудных мес											
	Адуляр	Апатит	Берилл	Вольфрамит	Гематит	Каолинит	Леллингит	Магнетит	Марказит	Молибденит	Мусковит	Пирротин
1	6 (9)	14 (15)	2 (4)	14 (9)	7 (8)	8 (6)	2 (5)	11 (9)	19 (11)	3 (10)	22 (27)	30 (18)
2	5 (8)	16 (14)	0 (3)	15 (16)	10 (16)	7 (5)	8 (4)	10 (8)	6 (10)	8 (9)	26 (24)	5 (6)
3	12 (6)	12 (13)	8 (3)	19 (13)	4 (7)	1 (5)	2 (3)	3 (7)	3 (7)	16 (8)	22 (19)	11 (12)

Примечание. Цифры – количества месторождений, в которых присутствует данный минерал, цифры в скобках – количества место-

Полуколичественная характеристика минерального состава руд олово (по материалам Г.С.Головкова, И.Н.Васильевой, А.Б.Павловского)

Месторождения	Айкинит	Аксинит	Анагаз	Апатит	Арсенопирит	Блеклая руда	Вурнонит	Буланжерит	Валерит	Висмут самородный	Висмутин	Вольфрамит	Галенит	Джемсонит
Солнечное	0	1	0	0	3	1	0	1	0	1	1	1	4	1
Придорожное	0	1	0	0	4	0	0	1	0	0	0	1	3	1
Фестивальное	1	2	0	0	4	1	1	2	1	1	1	2	2	1
Сентябрьское	0	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Перевальное	0	3	0	0	2	1	1	2	0	1	1	2	4	1
Лунное	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	1	3	1
Дальне-Таежное	0	2	1	1	4	2	0	1	1	0	0	0	3	1

составом и выделенными минеральными группами

торожждениях в наибольших количествах

Пираргирит	Плагиоклазы	Рутил	Самородное серебро	Станнин	Сфалерит	Топаз	Турмалин	Флюорит	Хлорит	Шеелит	Сидерит	Всего
13 (7)	10 (11)	8 (11)	9 (8)	26 (11)	36 (27)	4 (12)	16 (20)	11 (21)	19 (20)	4 (7)	17 (8)	311
3 (6)	12 (10)	17 (7)	10 (15)	9 (23)	16 (11)	5 (17)	23 (19)	21 (17)	23 (7)	8 (7)	1 (7)	274
2 (15)	7 (8)	4 (8)	1 (5)	10 (13)	17 (19)	23 (9)	12 (14)	23 (15)	9 (14)	8 (16)	3 (6)	232

рождений, в которых минерал должен был присутствовать при условии его равномерного распределения (математическое ожидание).

Таблица 21

рудных месторождений Комсомольского района и Приморского края

Кальцит	Касситерит	Калиевый полевой шпат	Кварц	Кобальтин	Магнетит	Марказит	Мельниковит	Пирит	Пирротин	Сидерит, анкерит	Серпент	Серебро самородное	Станнин	Сфалерит	Тиллит	Турмалин	Франкелит	Флюорит	Халькопирит	Хлорит	Цеоциты	Шеелит	Эпицит
2	4	0	4	0	1	0	1	3	4	0	4	0	2	4	0	4	0	1	2	2	0	1	1
2	4	0	4	0	1	0	1	2	2	0	4	0	1	2	0	4	0	1	2	2	0	1	1
2	4	0	4	1	1	0	1	2	2	0	3	1	2	3	1	4	1	2	4	2	0	1	1
2	4	0	4	0	1	0	1	2	1	0	3	0	1	1	0	4	0	0	4	2	0	0	1
4	4	0	4	0	1	0	1	2	2	0	4	1	1	4	0	4	0	1	3	4	0	1	2
2	4	0	4	0	1	0	1	2	2	0	3	0	2	4	0	4	0	1	3	3	0	1	1
2	0	2	4	0	1	3	0	4	4	1	2	0	2	3	0	0	1	2	2	2	2	1	1

ный состав которого дается по Н.Н.Васильковой и А.Н.Павловскому (1960) и материалам автора (табл. 22).

В отношении формационной принадлежности оловянных месторождений Комсомольского рудного района в настоящее время ведется дискуссия. Е.А.Радкевич и другие исследователи (1967) относят эти месторождения к турмалин-сульфидному типу касситерит-силикатной формации. Но поскольку в этих месторождениях наряду с силикатами – турмалином и хлоритом – широким развитием пользуются сульфиды (арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит и др.), В.В.Онихимовский (1964), а за ним и Г.С.Головков и другие (1967) считают, что эти месторождения соответствуют турмалин-сульфидному типу касситерит-сульфидной формации по классификации С.С.Смирнова.

Таблица 22

Примеры определения формационного типа оловорудных месторождений по их минеральному составу

Минеральные группы-рудные формации	Месторождения						
	Солнечное	Придорожное	Фестивальное	Октябрьское	Перевальное	Лунное	Дальне-Таеж- ное
I	0,88	0,62	0,81	0,74	0,78	0,84	0,82
II	0,76	0,81	0,78	0,78	0,75	0,80	0,59
III	0,75	0,78	0,76	0,70	0,68	0,71	0,65
IV	0,74	0,67	0,67	0,59	0,63	0,71	0,75
V	0,68	0,58	0,60	0,58	0,57	0,61	0,59

Подсчеты сходства минерального состава этих месторождений с минеральным составом групп (табл. 23) показали, что большинство из этих месторождений принадлежит к минеральной группе, отвечающей по своему составу касситерит-сульфидной формации и лишь месторождение Октябрьское – касситерит-силикатной. Эти данные позволяют принять точку зрения В.В.Онихимовского и Г.С.Головкова и считать более вероятным принадлежность этих месторождений к касситерит-сульфидной формации. В то же время следует иметь в виду, что для месторождений Придорожное, Фестивальное, Перевальное различия в сходстве с группами, отвечающими касситерит-сульфидной и касситерит-силикатной формациям, очень малы. В данном случае необходимо максимально уточнить данные о количестве минералов в рудах этих месторождений и привлечь для окончательного решения геологические характеристики месторождений.

Месторождение Дальне-Таежное, как и предполагалось всеми его исследователями, по своему минеральному составу ближе всего к группе, отвечающей касситерит-сульфидной формации.

Для того чтобы получить формационную классификацию оловорудных месторождений, необходимо было установить взаимосвязь между минеральными группами оловянных месторождений и группами, выделяемыми по геологическим условиям нахождения.

С этой целью в соответствии с разработанной шкалой (табл. 3) была составлена таблица признаков, отображающая их наличие или отсутствие для более, чем 60 оловянных месторождений из различных районов мира, но главным образом из районов Тихоокеанского рудного пояса.

На основании этой таблицы по приведенной выше формуле были подсчитаны первые коэффициенты сходства между месторождениями. Полученные коэффициенты были затем использованы для классификации этих месторождений. При этом было выделено семь групп, однородных по геологическим условиям нахождения. Сопоставление этих групп с однородными минеральными группами, полученными ранее, приведено в табл. 23.

В этой таблице по горизонтали указаны рудные формации, отвечающие определенным минеральным группам, а по вертикали – классификации месторождений на группы, однородные по геологическим условиям нахождения. В клетках таблицы указаны определенные места в первой и второй классификации.

С помощью критерия χ^2 была проверена непротиворечивость данных, приведенных в таблице, гипотезе о наличии связи между классификациями на однородные минеральные группы и на группы, однородные по геологическим условиям нахождения. Методы такой проверки были изложены ранее.

Расчеты, приведенные в табл. 23, показали, что критерий χ^2 равен здесь 56,8 при десяти степенях свободы. Табличное значение критерия χ^2 при десяти степенях свободы и уровне значимости 0,06 равно 18,31. Следовательно, гипотеза о связи однородных минеральных групп гидротермальных оловянных месторождений и групп этих же месторождений, однородных по геологическим условиям нахождения, фактическим материалом не опровергается.

Следовательно, совместив классификацию, полученную с помощью обработки на ЭВМ полуколичественных оценок содержаний минералов в руде с такой же классификацией по геологическим признакам, получаем возможность проверить статистическую обоснованность выделения тех или иных рудных формаций.

Полученный результат или опровергает возможность выделения рудной формации или допускает ее выделение.

Этот сравнительно простой способ, с помощью которого решается кардинальный вопрос рудно-формационного анализа: обоснованность выделения рудных формаций можно рекомендовать во всех рудно-формационных классификациях. В совокупности с рассматриваемым ниже методом изучения признаков рудных формаций он является основным инструментом в этой области.

К сожалению, из-за того, что к группе, соответствующей касситерит-силикатной формации, оказались принадлежащими слишком мало ме-

Таблица 23

Соотношения групп оловянных месторождений, выделенных по минеральному составу и по геологическим признакам

Форма-ция	8-10-11	5	6	1	2	3-4-7-9	12	13	Сумма по строке
I. Касситерит-кварцевая	Циннвальд	Альтенберг	Корнуолл	Первоначальное	Нагорное				
	Этыка I	Грейзеновое		Нультинское	Террасовое				
	Этыка II	Кёстер		Светлое	Разведочное				
	Чалбынское	Гейер		Базовское					
	Тарбальд-жей	Граупен							
	Ингодинское	Бутугычгское							
	Лево-Ингодинское								
	Ярославское								
	8(3)	6(3)	1(1)	4(4)	3(3)		0(7)	0(2)	22
II. Касситерит-сульфидная			Марококало	Сохондо	Имтанджа	Ново-Монастырское	Октябрьское		
			Уануни	Смирновское (Забайкалье)		Синанчинское	Льяльягуа		
				Лифудаинское		Голимый	Потоси		
						Бургавли	Оруро		

	Трудненское				Улахан-Эгеляхское		Хапчеранга		
	Им.Лазо				Нижне-Модежное		Монсеррат		
	Днепровское				Верхне-Модежное		Коргуайко-льо		
					Буреломное		Посмо		
					Эге-Хая		Хрусталь-ненское		
					Депутатское		Смирновское		
	0(4)	0(3)	2(1)	6(5)	1(3)		20(10)	0(2)	29
Ш. Касситерит-силикатная	Валькумей				Джагынское				
					Бастой-ское		Начальное		
					Кукней-ское		Хинган-ское		
					Невское		Индустриальное		
							Хатарен-ское		
							Егорлык-ское		
	0(1)	1(1)	0(1)	1(2)	3(1)		0(3)	5(1)	10
Сумма	8	7	3	11	7		20	5	61

Примечание. В клетках таблицы перечислены месторождения, попадающие одновременно в группы однородные по минеральному составу и геологическим условиям нахождения. Цифры в клетках - количество объектов, цифры в скобках - математические ожидания количества объектов.

сторождений, проверка непротиворечивости полученной по геологическим признакам классификации статистическим данным с помощью критерия χ^2 пока невозможна.

В табл. 24 приведены значения, характеризующие типичность каждого признака, полученные в результате деления количества объектов, в которых установлен признак на общее количество объектов в группе.

Пользуясь этими данными и приведенной выше формулой, можно определить сходство по геологическим признакам любого вновь найденного гидротермального оловянного месторождения с каждой из трех формаций. Кроме того, из таблицы отчетливо вырисовывается значение отдельных признаков. Так, для месторождений касситерит-силикатной формации особенно типичными оказываются прогибы с инверсией, кислым вулканизмом и андезито-дацитами; крутые (выше 75°) углы падения рудных тел, интенсивные и сложные по составу околорудные изменения. Для касситерит-сульфидной – локализация в крыльях антиклиналей, рудовмещающие трещины двухсистемного скола и зоны рассланцевания и трещиноватости, углы падения от 50 до 75° , наличие штоков гранодиоритов и кварцевых диоритов на расстоянии до 3 км от рудных тел, прослой конгломератов в рудовмещающей песчано-сланцевой толще. Касситерит-кварцевая формация характеризуется более частыми проявлениями зональности в размещении рудных тел в пределах рудных полей, локализацией рудных тел в трещинах отрыва в пределах гранитных массивов и вблизи от них, сопровождающей оруденение грейзенизации.

Таким образом, впервые получена формационная классификация оловорудных месторождений, в которой в отличие от созданных ранее можно статистически обоснованно предполагать наличие функциональной связи между минеральным составом и геологическими условиями нахождения отдельных групп месторождений, т.е. статистически обоснованная формационная классификация оловорудных месторождений.

Найден статистический метод, позволяющий проверить соответствие выделяемых рудных формаций фактическому геологическому материалу.

Для каждой формации получены усредненные характеристики минерального состава и геологических условий, позволяющие определить формационный тип любого гидротермального оловорудного месторождения. Это является значительным преимуществом по сравнению с ранее предлагавшимися как для олова, так и для других металлов классификациями. Кроме того, предложенный вариант формационной классификации гидротермальных месторождений олова отличается следующими принципиальными особенностями:

а) не выделяются (возможно, в связи с недостаточным числом объектов) формации оловорудных месторождений в известняках и в риолитах;

б) оловянно-полиметаллические месторождения выделяются по минеральному составу, но не по геологическим условиям нахождения. Это заставляет считать их минеральным типом в касситерит-сульфидной формации, но не особой формацией;

в) касситерит-силикатная формация выделяется, но рамки ее значительно более узкие, чем это допускается многими исследователями.

Признаки оловянных месторождений, учитываемые при исследовании

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		колич. м-ний	отноше- ние час- тоты признака к колич. м-ний	коли- чест- во м-ний	отноше- ние ча- стоты при- знака к ко- лич. м-ний	коли- чест- во м-ний	отно- шение ча- сто- ты приз- нака к ко- лич. м-ний
номе- ра при- зна- ков	1	2	3	4	5	6	7
I. Региональные геологические структуры							
1. Терригенные геосинклинали	13	0,57	9	1,0	18	0,62	
2. Срединные массивы, поднятия внутри синклинория	9	0,39	0	0	10	0,32	
3. Прогреты с инверсией кислым вулканизмом и андезитодацитами	0	0	8	0,89	1,0	0,03	
4. Антиклинории внутри геосинклиналей	10	0,44	1	0,11	3	0,1	
5. Синклинории внутри геосинклиналей	3	0,13	0	0	13	0,45	
6. Глубинные разломы, в том числе скрытые разломы фундамента	21	0,92	8	0,89	23	0,79	
7. Пересечения скрытых разломов	0	0	3	0,33	2	0,07	
II. Локальные рудовмещающие структуры							
8. Брахискладки	5	0,22	1	0,11	3	0,1	
9. Линейные складки							
10. Поперечные перегибы складок, флексурнообразные изгибы	0	0	0	0	1	0,03	

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество частоты м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество частоты м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
11.	Ядра и шарниры антиклиналей	5	0,22	3	0,33	5	0,17
12.	Крылья антиклиналей	5	0,22	3	0,33	12	0,41
13.	Крылья синклиналей	2	0,09	1	0,11	3	0,1
14.	Трещины отрыва	16	0,7	5	0,56	8	0,8
15.	Трещины односистемного скола	5	0,22	4	0,45	11	0,33
16.	Трещины двухсистемного скола	5	0,22	1	0,11	12	0,41
17.	Кольцевая система трещин	0	0,00	0	0	2	0,07
18.	Межпластовые срывы	0	0	0	0	0	0
19.	Пересечения трещин	4	0,17	1	0,11	1	0,03
20.	Вулканические жерла, взрывные брекчии	0	0	1	0,11	3	0,1
21.	Зона расщепления и трещиноватости	2	0,09	1	0,11	10	0,32
III. Морфология рудных тел							
22.	Штокверки	11	0,48	2	0,22	8	0,28
23.	Отдельные жилы	17	0,74	4	0,45	21	0,73

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
24.	Жильные зоны, преимущественно выполнение открытых трещин	9	0,39	1	0,11	8	0,28
25.	Зоны минерализации (полностью или частично метасоматические)	1	0,04	2	0,22	17	0,59
27.	Угол падения до 50°	9	0,39	0	0	8	0,28
28.	Угол падения от 50 до 75°	6	0,26	2	0,22	15	0,52
29.	Угол падения свыше 75°	7	0,3	5	0,56	12	0,41
IV. Особенности размещения оруденения внутри рудного поля							
30.	Ртутные проявления на флангах	0	0	0	0	2	0,07
31.	Свинцово-цинковые проявления	3	0,13	0	0	7	0,24
32.	Кварц-касситеритовые проявления	3	0,13	1	0,11	5	0,17
33.	Наличие прожилков аксинита	0	0	0	0	4	0,14

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
34.	Рудный интервал от 200 до 400 м	0	0	0	0	3	0,1
35.	Рудный интервал свыше 400 м	0	0	1	0,11	2	0,07
36.	Зональность внутри рудных тел	0	0	4	0,45	9	0,31
37.	Зональность внутри рудного поля	6	0,26	0	0	12	0,41
38.	Столбовое распределение минерализации	1	0,04	1	0,11	8	0,28
39.	Гнезда	1	0,04	1	0,11	3	0,1
40.	Равномерное распределение	0	0	0	0	0	0
V. Магматические породы, ассоциированные с оруденением							
41.	Граниты, аляскитовые гранит-порфиры (штоки и массивы) в удалении до 3 км	11	0,48	3	0,33	7	0,24

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
42.	Граниты, аляски- товые граниты под рудными те- лами	4	0,17	3	0,33	3	0,1
43.	Граниты вмеща- ющие оруденение	12	0,52	5	0,52	1	0,03
44.	Граниты, грано- диориты и квар- цевые диориты, вмещающие оруде- нение	2	0,09	1	0,11	1	0,03
44.	Гранодиориты и кварцевые дио- риты в удалении до 3 км	1	0,04	0	0	4	0,14
45.	Гранодиориты и кварцевые диори- ты под рудными телами	0	0	1	0,11	3	0,1
46.	Кислые субвул- канические тела, вмещающие оруде- нение и в удале- нии до 3 км	0	0	3	0,33	7	0,24
47.	Основные и сред- ние субвулкани- ческие тела, вме- щающие орудене- ние в удалении до 3 км	0	0	0	0	0	0

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
48.	Отдельные дайки порфиритов, гранодиорит-порфиоров, андезито-базальтов, спессарти-тов, диоритовых порфиритов, андезитов, диабазовых порфиритов	2	0,09	5	0,56	11	0,38
49.	Дайковые поля порфиритов	2	0,09	2	0,22	3	0,1
50.	Отдельные дайки кварцевых порфи-ров, гранит-порфи-ров, фельзитов	17	0,74	4	0,45	12	0,41
51.	Дайковые поля кварцевых порфи-ров	0	0	1	0,11	5	0,17
52.	Внутрирудные порфириты	2	0,09	1	0,11	4	0,14
53.	Внутрирудные кварцевые порфи-ры	0	0	0	0	1	0,03
84.	Лавобрекчии и эффузивы порфири-тов, андезитов	0	0	0	0	0	0
85.	Ловобрекчии, иг-нимбриты, кварц-порфиры	0	0	0	0	1	0,03

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		класситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7
VI. Вмещающие породы							
54.	Песчаники	7	0,3	1	0,11	16	0,55
55.	Сланцы углистые и глинистые, алевролиты	9	0,39	3	0,33	22	0,76
56.	Переслаивание песчаников и углисто-глинистых сланцев	0	0	0	0	8	0,28
82.	Переслаивание песчаников и сланцев в тектонической зоне - "тектониты"	0	0	2	0,22	3	0,1
57.	Известняки	1	0,04	0	0	1	0,03
58.	Линзы известняков в песчано-сланцевой толще	0	0	0	0	1	0,03
59.	Прослой конгломератов и граувакк в печано-сланцевой толще	2	0,09	1	0,11	6	0,21
60.	Биотитовые и другие роговики	10	0,44	5	0,56	4	0,14
61.	Кислые эффузивы и их туфы	3	0,13	2	0,22	5	0,17
62.	Средние и основные эффузивы, туфы	0	0	0	0	1	0,03

Таблица 24 (продолжение)

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отноше-ние час-тоты признака к колич. м-ний	коли-чест-во м-ний	отноше-ние час-тоты признака к колич. м-ний	коли-чест-во м-ний	отноше-ние час-тоты признака к колич. м-ний
номе-ра при-знаков	1	2	3	4	5	6	7
63.	Дайки кислого состава	3	0,13	1	0,11	2	0,07
64.	Дайки основного и среднего состава	0	0	0	0	3	0,1
65.	Граниты-массивы и штоки	11	0,48	5	0,56	1	0,03
66.	Кристаллические сланцы, филлиты	6	0,26	0	0	1	0,03
83.	Кремнистые сланцы	0	0	0	0	2	0,07
VII. Околорудные изменения							
67.	Скарнирование	1	0,04	0	0	2	0,07
68.	Грейзенизация	19	0,83	3	0,33	4	0,14
69.	Серпентизация	2	0,09	7	0,78	12	0,41
70.	Окварцевание	8	0,35	7	0,78	17	0,59
71.	Турмалинизация	7	0,3	7	0,78	9	0,31
72.	Карбонатизация (сидеритизация, кальцитизация)	0	0	0	0	6	0,21
73.	Биотитизация	0	0	1	0,11	1	0,03
74.	Пропилитизация	0	0	0	0	2	0,07
75.	Сульфидизация	4	0,17	2	0,22	8	0,28
76.	Хлоритизация	6	0,26	5	0,56	14	0,48
77.	Каолинизация	1	0,04	5	0,56	1	0,03
78.	Альбитизация	5	0,22	3	0,33	1	0,03

Признаки		Формация					
		касситерит-кварцевая		касситерит-силикатная		касситерит-сульфидная	
		число м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний	количество м-ний	отношение частоты признака к колич. м-ний
номера признаков	1	2	3	4	5	6	7

VIII. Возрастные соотношения

79	Стадий минерализаций больше трех	5	0,22	4	0,45	10	0,32
80	Стадий минерализации три и меньше трех	0	0	3	0,33	8	0,28

О классификации золоторудных месторождений по минеральному составу

Аналогичные методы были применены Н.В.Петровской, С.В.Сиротинской и автором при анализе особенностей минерального состава месторождений золото-сульфидно-кварцевых формаций.

Выполненные с помощью ЭВМ по формуле (1) расчеты и последующая обработка полученных коэффициентов сходства позволили выделить по минеральному составу семь различных групп месторождений (табл. 26). Как и для оловянных месторождений, эти минеральные группы характеризуют совокупность месторождений с минимально отличающимся минеральным составом (при принятых методах исследования). Поскольку для этих месторождений ранее была определена классификационная принадлежность в формационной классификации, основанной на количестве в руде сульфидов и на глубинах образования месторождений (Н.В.Петровская, 1960), было интересно сравнить эти две классификации.

Результаты этого сравнения показаны в табл. 25. Они наглядно свидетельствуют о том, что ранее предложенная классификация и классификация, полученная в результате обработки данных минерального состава

Таблица 25

Сопоставление классификации золотых месторождений, полученной в результате статистической обработки данных минерального состава руд и их классификации по глубинам образования (рудным формациям)

Группы по глубине образования	Группы по минеральному составу						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Большие глубины	Кяхта Кочкарь	Советское Эльдорадо Мурунтау	Харга Паркюпайн Кирклонд Хомстек Колар Бендиго Сент-Джон	Кедровое			
	2	3	7	1			
Средние глубины	Мазер-Лод	Сертабут-кан	Хилгров	Дарасун Лебединое Нежданинское Бестюбе Зодское Мегадзор	Коклатас Кочбулак Чартерс		
	1	1	1	6	3		
Малые глубины				Теллурид Брад	Белая Гора Калгурли Вайн	Балей Чукотка Колыма Крипл-Крик Баа-Сприс	Сан-Жуан Тонпах Сильвертон
				2	3	5	

Примечание: Цифры в клетках таблицы - число месторождений в соответствующих классах.

руд, тесно между собой связаны. Этот факт является дополнительным обоснованием ранее предложенной формационной классификации золотых месторождений.

Но, кроме подтверждения ранее предложенной классификации, полученные результаты свидетельствуют о наличии более дробных групп месторождений, геологическая природа которых не ясна и должна быть уточнена дальнейшими исследованиями.

В табл. 26 показано распределение минералов в различных золоторудных формациях в зависимости от их содержания. Эта таблица показывает, что содержание минерала или увеличивается от формации больших глубин к формации малых глубин, или, наоборот, убывает, или, наконец, содержание минерала достигает максимума в формации средних глубин. Нет ни одного случая, в котором высокие содержания минерала наблюдались бы в формациях больших и малых глубин и были бы низкими в формации средних глубин. Этот факт свидетельствует об определенной направленности процессов минералообразования и служит дополнительным подтверждением правильности ранее предложенной классификации.

Для определения формационного типа золоторудных месторождений по минеральному составу можно воспользоваться подсчетом степени сходства между данными его минерального состава и средними составами золоторудных формаций по приведенной выше формуле (3), подобно тому, как это уже делалось для оловорудных месторождений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАННЫХ О ВЛИЯНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОДНОЙ РУДНОЙ ФОРМАЦИИ

Исследование математическими методами геологических факторов, определяющих появление месторождений одной какой-либо рудной формации, является значительно более сложной задачей, чем, например, определение их типичного минерального состава. Трудности здесь связаны как с многообразием факторов, так и с тем, что они имеют чисто качественные описательные характеристики. Кроме того, развитие математических методов затрудняется малым количеством хорошо изученных объектов — месторождений одной какой-либо рудной формации.

Как видно из предыдущих разделов, в практику геологических исследований внедряются все более разнообразные математические методы. Известные работы А.Б.Вистелиуса, Д.А.Родионова являются хорошим основанием для дальнейшего использования математики в геологии на существенно статистической основе. Однако многообразие геологических задач в ряде случаев вводит исследователя в область, где статистические методы не дают удовлетворительного решения. Задачи, лежащие в такой области, обладают слабой структурой, как правило, связаны с изучением уникальных явлений, с необходимостью работать с неоднозначно формулируемыми признаками, неполными характеристиками объектов, разнообразной природой сообщений (карты, схемы, описания

Зависимость содержания минералов от глубины образования
золотых месторождений

Минералы	Формации		
	больших глубин	средних глубин	малых глубин
1	2	3	4
Адулытор		-----	=====
Айкинит			
Актинолит		-----	
Алабандин		-----	
Алтаит	-----		-----
Альбит	=====	-----	-----
Аляскит	-----		
Альгодонит			
Алунит			
Анкерит	-----	=====	-----
Ангидрит	-----		
Антимонит	-----	-----	-----
Амфибол	-----		
Апатит	-----	-----	
Аргентит	-----		-----
Арсенопирит	=====	=====	-----
Аурипигмент			-----
Барит	-----	-----	-----
Беегерит			
Бертьерит		-----	-----
Биотит	-----		
Блеклая руда	-----	=====	-----
Борнит		-----	-----
Бравоит		-----	
Брейнерит			
Брейтгауптит			
Буланжерит	-----	-----	
Бурнонит	-----		-----
Ваэстит		-----	
Валериит	-----		
Вейссит		-----	
Висмутин	-----		-----
Вюрцит			
Виоларит			
Виттехенит		-----	
Вольфрамит			-----
Галенит	=====	=====	=====
Галеновисмутин		-----	
Гаусманит		-----	

Минералы	Формации		
	больших глубин	средних глубин	малых глубин
Гематит	-----	-----	-----
Гессит	-----	-----	-----
Геокронит	-----	-----	-----
Гипс	-----	-----	-----
Глаукоdot	-----	-----	-----
Голдфильд	-----	-----	-----
Гранат	-----	-----	-----
Графит	-----	-----	-----
Гюбнерит	-----	-----	-----
Гуанажуатит	-----	-----	-----
Джемсонит	-----	-----	-----
Диопсид	-----	-----	-----
Диккит	-----	-----	-----
Доломит	-----	-----	-----
Золото	-----	-----	-----
Ильменит	-----	-----	-----
Калверит	-----	-----	-----
Кальцит	-----	-----	-----
Касситерит	-----	-----	-----
Кварц	-----	-----	-----
Киноварь	-----	-----	-----
Клиноцоизит	-----	-----	-----
Кобальтин	-----	-----	-----
Коронадит	-----	-----	-----
Козалит	-----	-----	-----
Колорадоит	-----	-----	-----
Креннерит	-----	-----	-----
Кубанит	-----	-----	-----
Леллингит	-----	-----	-----
Линнеит	-----	-----	-----
Люпоцит	-----	-----	-----
Магнезит	-----	-----	-----
Магнетит	-----	-----	-----
Марипозит	-----	-----	-----
Марказит	-----	-----	-----
Мелонит	-----	-----	-----
Маухерит	-----	-----	-----
Мельниковит	-----	-----	-----

Табл. 26 (продолжение)

Минералы	Формации		
	больших глубин	средних глубин	малых глубин
Менегинит	-----	-----	
Мефонит			
Миаргирит		-----	-----
Молибденит	-----	-----	-----
Монацит	-----	-----	
Наггагит	-----	-----	
Никелин		-----	
Олигоклаз	-----		
Ортит	-----	-----	
Овихит		-----	
Пентландит	-----		
Петцит	-----	-----	-----
Пироксен	-----		
Пирротин	=====	=====	=====
Пирит	=====	=====	=====
Пираргирит	-----	-----	-----
Пирофиллит			
Полидимит		-----	
Полибазит		-----	-----
Плюмозит	-----		
Порпечит			
Пренит		-----	
Прустит		-----	-----
Реальгар			-----
Рикардит		-----	
Родонит			-----
Родохрозит		-----	-----
Росколит			-----
Рутил	-----	-----	-----
Самородное серебро	-----	-----	-----
Bi	-----	-----	
Te		-----	
Селениды			-----
Семсеит		-----	
Серицит-мусковит		=====	-----
Сидерит	=====	-----	-----
Сильванит	-----	-----	-----
Скаполит		-----	
Станин		-----	-----
Стефанит			
Сульфанит		-----	

Табл. 26 (окончание)

Минералы	Формации		
	больших глубин	средних глубин	малых глубин
Сфалерит	=====	=====	=====
Сфен	-----	-----	-----
Сульфовисмутиты			
Сульфоантимониты			-----
Тальк	-----	-----	
Теллоуровисмутит		-----	
Теллурид			-----
Тетрадимит	-----		-----
Топаз	-----		
Торит			
Тремолит		-----	-----
Турмалин	=====	=====	
Терешковит		-----	
Уранинит		-----	
Фаматинит		-----	
Флюорит		-----	=====
Фрейбергит		-----	-----
Фуксит			
Фреслебенит			-----
Халькозин		-----	-----
Халцедон	-----		=====
Халькопирит	=====	=====	=====
Хлорит	=====	-----	-----
Цеолиты		-----	
Цинкениит		-----	
Циркон	-----		
Шеелит	-----	-----	-----
Шмальтин			
Штернбергит	-----		-----
Энаргит		-----	-----
Эпидот	-----	-----	-----
Эмплектит		-----	
Эмпрессит		-----	

===== Больше 5 ===== От 5 до 3 ===== От 3 до 2
 ===== От 2 до 1 ----- От 1 до 0,5 ----- От 0,5 до 0,1
 ----- Менее 0,1

и т.д.). В этих случаях применяются новые способы и меры оценок, например, информационные меры, дву- и многозначные логики, теория графов и др.

Некоторые геологические задачи обладают такой сложностью постановки и разнообразной природой сообщений, что приходится применять несколько приемов, относящихся к различным разделам математики.

А.Н.Дмитриевым, Ю.И.Журавлевым и Ф.П.Кренделевым (1968) для оценки меры аналогии исследуемого района с ранее изученными были предложены способы, основанные на дискретном анализе, занимающемся исследованием поведения прерывных величин, т.е. величин, между отдельными значениями которых может быть заключено лишь конечное число других их значений, и выработана система правил, позволяющих: а) отобрать и классифицировать сведения; б) выявить степень существенности признаков, упорядочить их по степени существенности и сформировать поисковый критерий; в) построить классификацию ранее изученных объектов по комплексу признаков; г) найти в построенной классификации место изучаемого района и оценить перспективность этого района, основываясь на мере его аналогии с изученными районами.

Отбор информации рассматривается по последовательным этапам, первым из которых является формирование цели обработки данных, что достигается последовательным сужением поставленной задачи (например, выявление крупных месторождений олова $\rightarrow$ выявление крупных месторождений олова касситерит-сульфидной формации $\rightarrow$ выявление крупных месторождений олова касситерит-сульфидной формации на стадии предварительной разведки $\rightarrow$ выявление крупных месторождений олова касситерит-сульфидной формации на стадии предварительной разведки в пределах Тихоокеанского рудного пояса).

Вторым этапом является выбор эталонов, т.е. ранее изученных объектов, для которых выполнены требования цели. Например, цели — месторождениям золота с запасами более 1000 т соответствуют семь зарубежных объектов (эталонов): Витватерсранд (ЮАР), Блайнд Ривер (Канада), Жакобина (Бразилия) и др. (Дмитриев и др., 1968).

На третьем этапе осуществляется отбор признаков, который выполняется в следующем порядке: а) на основе имеющихся данных по эталонным объектам составляется возможно более полная система признаков, причем в отношении каждого признака должно быть совершенно известно, что он есть или его нет или он изучен (неизвестен для объекта). Вся информация при этом должна отражать лишь наблюдаемые факты и величины, но не выводы или мнения; б) в соответствии со степенью геологической изученности объектов, которым предполагается дать оценку (изучены в процессе геологического картирования) (группа A_1); при поисках (A_2), в разведке (A_3), в эксплуатации (A_4), количество признаков увеличивается или сокращается; в) для эталонов сохраняются только те признаки, которые отвечают степени изученности рассматриваемых объектов.

Четвертый этап заключается в построении основной таблицы (табл. 27), в которую сводится вся информация об эталонах. Строкам таблицы соответствуют эталоны, столбцам — признаки. Если признак

Схема эталонной таблицы при исследованиях геологических объектов тестовым способом

Эталоны	Признаки					
	x_1	x_2	...	x_j	...	x
M_1	1	0	...	-	...	0
M_2	0	1	...	1	...	0
.	.	.	.	.	.	.
M_i	0	1	...	-	...	1
.	.	.	.	.	.	.
M_n	1	-	...	0	...	1

x_1 выполнен для объекта M_i , то в соответствующей клетке таблицы ставится единица, если не выполнен - 0; если неизвестен - то прочерк (-).

В основной таблице выделяют все признаки, которые одновременно присутствуют (имеют значение единица) или отсутствуют (имеют значение ноль) во всех эталонах (строках). Это так называемые отождествляющие признаки. Остальные признаки называются различающими. Сравнить с эталонами можно лишь те объекты, для которых все отождествляющие признаки, выполненные на эталонах, сделаны хотя бы на 20%. Совокупность таких объектов, имеющих отождествляющие признаки, сходные с этими признаками у эталонов, называется формальным типом по данной группе признаков. После формирования типа все отождествляющие признаки из таблицы удаляются (т.е. удаляются столбцы, заполненные только единицами или только нулями), в результате получаем новую, так называемую, допустимую таблицу. Дальнейшая обработка полученной таблицы ведется путем выделения тупиковых тестов - минимальных кодов таблицы.

Тестом допустимой таблицы является такой набор столбцов, дающий новую таблицу, в которой все строки различны. Тупиковым тестом называется тест, из которого нельзя удалить ни одного столбца, без того, чтобы он перестал быть тестом.

Например, для табл. 28 тупиковыми тестами будут наборы $\langle 1,2,5 \rangle$, $\langle 2,4,5 \rangle$, $\langle 1,2,3,4 \rangle$. Так как количество тупиковых тестов бывает чрезвычайно велико, поиски их возможны только с применением ЭВМ.

Алгоритмы поисков тупиковых тестов приведены в статье А.Н. Дмитриева и др. (1966). Например, в одном из них с помощью таблицы (табл. 29) задается операция A и B над элементами множества $\{0,1,-\}$.

Если теперь имеются строки S_i и S_j , где $S_i = (\alpha_1; \alpha_2; \dots; \alpha_n)$, $S_j = (\beta_1; \beta_2; \dots; \beta_n)$ и $\alpha_i \in \{0,1,-\}$, а $\beta_i \in \{0,1,-\}$ $i = 1,2, \dots, n$, то $S_i \circ S_j = (\alpha_1 \circ \beta_1; \alpha_2 \circ \beta_2; \dots; \alpha_n \circ \beta_n)$

Таблица 28

Примеры тупиковых тестов

Номера объек- тов	Номера признаков				
	1	2	3	4	5
1	1	0	0	1	1
2	1	1	0	1	1
3	1	0	1	1	0
4	1	1	1	0	0
5	0	1	1	0	1
6	0	1	1	1	0

Таблица 29

Преобразования, применяемые при
текстовых исследованиях таблиц

Значения признака В	Значения признака А		
	0	1	-
0	1	0	1
1	0	1	1
-	1	1	1

$\alpha_2; \dots \alpha_n \alpha_n$). Пусть имеются две таблицы T_1 , из строк $S_1, S_2, \dots$ S_e и T_0 из строк $S_1, S_2, \dots, S_m$. Из всех возможных пар строк таблиц T_1 и T_0 составляются новые строки, где $S_{ij} = S_i \cup S_j$, $i=1, 2, \dots, e; j=1, 2, \dots, m$.

Для каждого различающего признака находятся все тупиковые тесты, в которые входит столбец, отвечающий этому признаку. Предлагается понятие информационного веса, признака, которое формулируется следующим образом:

Строкам S_{ij} сопоставляются наборы $x'_{ij} = \{x_1, \dots, x_n\}$. Пусть строке S_{ij} сопоставлен набор $\{x'_{ij}, \dots, x'_{ij} k(i, j)\}$, где K - число сравнений. Рассмотрим выражение:

$\prod_{i=1}^e \prod_{j=1}^m (x_{ij}, V, \dots, V x_{ij}^{k(ij)})$, где символы x_{ij}^r рассматриваются как булевы переменные; V - знак дизъюнкции; $\cdot$ - знак конъюнкции. Полученное выражение приводится к виду $\Sigma \Pi$ и выполняются все упрощения типа

$AVA = A; AA = A; AVAB = A$. В результате получается $Vx_{ij}^r; \dots, x_{it}^r$.

Тогда все тупиковые тесторы для (T_1, T_0) исчерпываются наборами $(x_{1j}^{r_1}; \dots; x_{it}^{r_t})$, соответствующими слагаемым в предыдущем выражении. Этот алгоритм является незначительной модификацией алгоритма С.В. Яблонского. Если K - количество тупиковых тестов в допустимой таблице, а K_i - количество тупиковых тестов с признаком i , то величина $P_i = \frac{K_i}{K N}$ - информационный вес признака. Здесь

$N = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{K}$ - нормирующий множитель, введенный для удобства вычислений. Содержание понятия "информационный вес" поясняется следующим образом. "Описание выбранной совокупности эталонов всеми исходными различающимися признаками обычно является избыточным. После удаления некоторых признаков описание сохраняет основное свойство - оно различает все объекты (эталон) из заданного класса. Последовательно удаляя столбцы, мы приходим к несжимаемому (абсолютно неизбыточному) описанию, которое при дальнейшем сжатии теряет свойство различения объектов данного класса. Такие несжимаемые описания (тупиковые тесты) являются как бы корнями - основами остальных описаний. Естественно считать, что чем в большее число таких основных (корневых) описаний входит признак, тем он существеннее при описании данного класса объектов".

Отсюда следует, что из двух различающих признаков, входящих в допустимую таблицу, более существенным для характеристик данного класса объектов (месторождений, интрузивов, геологических районов и т.п.) является тот, для которого информационный вес больше.

Для неизвестных (обозначенных прочерком) признаков информационный вес определяется выражением $P_i = \frac{m-1}{m}$, где 1 - количество эталонов, в котором признак закодирован прочерком, m - общее число эталонов, $m-1$ - количество эталонов, где признак обозначен единицей (или нулем).

После вычисления информационных весов признаков их упорядочивают в порядке убывания. Обычно они при этом распадаются на группы, внутри которых колебания информационных весов отдельных признаков менее значительны, чем между признаками разных групп. Наибольший практический интерес представляют признаки первых групп, т.е. признаки, имеющие максимальные информационные веса. Именно эти признаки и требуется в первую очередь исследовать на оцениваемых объектах.

Вводятся понятия "информационный вес строки" и "информативность строки (объекта)".

Информационный вес строки определяется по следующей формуле:

$$I_s = \sum_{k=1}^l P_{ik} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^r P_{ik},$$

где l - количество единиц в строке S , r - количество нулей в строке

$S; P_{ik}, P_{jk}$ - информационные веса соответствующих признаков (столбцов). Информативность вычисляется по следующей формуле:

$$I_s = \sum_{k=1}^l P_{ik} + \sum_{k=1}^r q_{ik} P_{ik},$$

где $q = \frac{n_2}{n_2 + n_3}$ - количество прочерков в j -том столбце основной таблицы; n_2 - количество нулей и n_3 - количество единиц в том же

столбце таблицы. На ряде примеров установлено, что информационный вес или информативность могут служить хорошей основой для построения классификации объектов. Оказывается также, что на основе полученных значений информационных весов признаков может быть сделан геологический прогноз, основанный на формальном вычислении близости прогнозируемого объекта к эталонным.

Например, были изучены данные по трапповым интрузиям Сибирской платформы и связанным с ними сульфидным рудам (Дмитриев и др., 1968). При этом была получена классификация объектов-эталонов на две группы, причем в первую попали все более важные объекты, во вторую - менее важные. Соответствующими вычислениями были затем установлены информационные веса признаков, важных для первой и для второй групп, которые естественно оказались различными. Таким образом были обнаружены комплексы признаков, существенных для каждой группы объектов в отдельности.

Эти методы были использованы при исследовании геологических материалов касситерит-сульфидных месторождений в совместной работе, проведенной сотрудниками ИГЕМ АН СССР в Институте математики СО АН СССР в Новосибирске (Константинов, Дмитриев, 1970). Наши совместные исследования стали возможными благодаря любезному содействию заместителя директора Института математики СО АН СССР профессора Ю.И. Журавлева.

Однако предварительные исследования показали, что метод в том виде, в каком он был предложен его авторами, не дает в нашем случае требуемых результатов. Выяснилось, что использовать этот метод можно лишь при условии высокой степени однородности изучаемых объектов по минеральному составу и геологическим условиям нахождения.

Кроме того, оказалось, что сколько-нибудь удовлетворительные результаты получаются лишь для месторождений, расположенных в пределах единой рудоносной провинции, причем, чем меньше размеры провинции и чем она однороднее по геологическому строению, тем более точные получаются результаты. После того, как выяснились эти обстоятельства, ограничивающие рамки применения метода, было решено проводить исследования для выделенной предыдущими работами однородной по минеральному составу и геологическим условиям нахождения группы месторождений, отвечающей касситерит-сульфидной формации. При этом вначале были выбраны наиболее крупные и хорошо изученные

месторождения Тихоокеанского пояса. Таким образом, логические операции по определению степени характерности различных признаков проводились над статистически обработанным и сгруппированным материалом, и выбирались месторождения, расположенные в пределах одной металлогенической провинции.

Методы подготовки и последующей обработки различной геологической информации были кратко освещены выше, и последовательные операции, производимые при решении задачи, сводились к следующему.

1. Четко формулировалась цель исследования – в нашем случае выявление признаков крупных месторождений, входящих в однородную по минеральному составу и геологическим условиям нахождения группу, отвечающую касситерит-сульфидной формации.

2. Был произведен выбор эталонов – хорошо исследованных объектов, относящихся к соответствующей группе и находящихся на одном уровне изученности.

3. Был выполнен отбор геологических признаков для исследования.

При этом сначала, как это было освещено в разделе о составлении шкал признаков, был составлен список всех признаков, влияние которых на образование месторождений можно предполагать. Затем эти признаки критически анализировались и оставлялись такие, которые отражают определенные факты, а не выводы или мнения. Из этих признаков были оставлены лишь те, которые, по мнению автора, влияют на масштабы оловорудных месторождений.

В результате такого анализа из более, чем 200 различных геологических признаков касситерит-сульфидных месторождений, расположенных в пределах Тихоокеанского рудного пояса, было отобрано для последующего изучения около 70. Среди них группа региональных геологических структур (7 признаков), локальных рудовмещающих структур (12), морфологии рудных тел (8), факторы магматического контроля (12), вмещающие породы (11), околорудные изменения (11), прочие факторы (10 признаков). Список этих признаков приведен в табл. 30.

4. Вся имеющаяся информация была сведена в таблице, в которой строки соответствовали эталонам (крупным месторождениям), а столбцы – признакам. Эта таблица была подвергнута дополнительной специальной обработке (из нее удалены признаки или отсутствующие или присутствующие во всех эталонах и т.д.).

5. Таблица исследовалась затем на ЭВМ с целью получения информационных весов признаков, т.е. производилось выявление признаков, существенных для характеристики определенных объектов, в нашем случае – крупных касситерит-сульфидных месторождений. Получены были информационные веса признаков – мера, определяющая степень характерности каждого признака для крупных месторождений. Эти информационные веса указаны в одном из столбцов табл. 30.

Следует отметить, что подобное исследование таблиц – чрезвычайно трудоемкая задача даже для электронно-вычислительных машин. Поэтому приходится использовать самые современные модели электронно-вычислительных машин.

Информационные веса признаков для касситерит-сульфидных месторождений

Номер признака	Признаки	Тихоокеан-ский пояс	Приморье
		инф. вес	инф. вес
I. Региональные геологические структуры			
1	Терригенные геосинклинали	163	439
2	Срединные массивы, поднятия внутри антиклинориев	163	
5	Синклинии	163	439
6	Глубинные разломы, в том числе скрытые разломы фундамента	128	154
7	Пересечения скрытых разломов	194	215
Сумма:		811	124
II. Локальные рудовмещающие структуры			
9	Линейные складки	172	439
10	Поперечные перегибы складок, флексурообразные изгибы		305
11	Ядра и шарниры антиклиналей	156	371
12	Крылья антиклиналей		154
13	Крылья синклиналей		
14	Трещины отрыва		182
15	Трещины односистемного скола и субпараллельные нарушения неясного генезиса	310	193
16	Трещины двухсистемного скола и пересекающиеся трещины неясного генезиса	207	211
21	Зоны расщепления и трещиноватости	265	188
III. Морфология рудных тел			
22	Штокверки		220
23	Отдельные жилы		193
24	Жильные зоны, преимущественно выполнение открытых трещин	147	154
25	Зоны дробления и минерализации (полностью или частично метасоматические)	163	211

Таблица 30 (продолжение)

Номер признака	Признаки	Тихоокеанский пояс	Приморье
		инф. вес	инф. вес
27	Угол падения до 50°	172	
28	Угол падения от 50 до 75°	352	158
29	Угол падения свыше 75°	415	371
Сумма:		1249	1307

IV. Особенности размещения оруденения

30	Ртутные проявления на флангах	157	177
31	Свинцово-цинковые проявления	196	220
81	Наличие прожилков аксинита		220
34	Рудный интервал больше 220 м	147	
36	Зональность внутри рудных тел	170	154
37	Зональность внутри рудного поля	130	220
38	Столбовое распределение минерализации		169
40	Равномерное распределение		371
Сумма:		800	1531

V. Магматические породы, ассоциированные с оруденением

42	Граниты под рудными телами	172	
44	Гранодиориты и кварцевые диориты в удалении до 3 км	154	188
45	Гранодиориты и кварцевые диориты под рудными телами		
46	Кислые субвулканические тела, вмещающие оруденение и в удалении до 3 км	415	340
47	Основные и средние субвулканические тела, вмещающие оруденение и в удалении до 3 км		220
48	Отдельные дайки порфиритов, гранодиорит-порфириров, андезитов-базальтов, спессартитов, диоритовых порфиритов, андезитов, диабазовых порфиритов	266	215
49	Дайковые поля порфиритов	211	221
50	Отдельные дайки кварцевых порфириров, гранит-порфириров, фельзитов, липаритов	155	215

Таблица 30 (продолжение)

Номер признака	Признаки	Тихоокеан- ский пояс	Приморье
		инф. вес	инф. вес
51	Дайковые поля кварцевых порфиров	210	340
52	Внутрирудные порфириты		305
53	Внутрирудные кварцевые порфиры		220
84	Лавобрекчии и эффузивы порфиритов, андезитов вблизи рудных тел		340
Сумма:		1583	2839
VI. Вмещающие породы			
54	Песчаники	209	439
55	Сланцы углистые и глинистые, алевролиты	208	439
46	Переслаивание песчаников и углистых глинистых сланцев	139	188
82	Переслаивание песчаников и сланцев в тектонической зоне — "тектониты"		177
59	Прослой конгломератов и граувакк в песчано-сланцевой толще	237	
62	Средние и основные эффузивы, туфы		218
Сумма:		956	1461
VII. Околорудные изменения			
68	Грейзенизация	223	
69	Серицитизация	415	211
70	Окварцование	193	439
71	Турмалинизация	170	125
72	Карбонатизация (сидеритизация, кальцитизация)		56
73	Биотитизация		196
75	Сульфидизация		439
76	Хлоритизация	134	387
77	Каолинизация		220
Сумма:		1185	2073

Таблица 30 (окончание)

Номер признака	Признаки	Тихоокеанский пояс	Приморье
		инф. вес	инф. вес
VIII. Возрастные соотношения			
79	Стадий минерализации больше трех	Не опр.	439
80	Стадий минерализации меньше трех и три		115
Сумма:			554

Из исследовавшихся семидесяти признаков характерными для касситерит-сульфидных месторождений оказались тридцать четыре. Среди них нет ни одного такого, который не мог быть установлен геологом средней квалификации на стадии предварительного геологического изучения месторождения (детальной геологической съемки и поисков, или предварительной разведки).

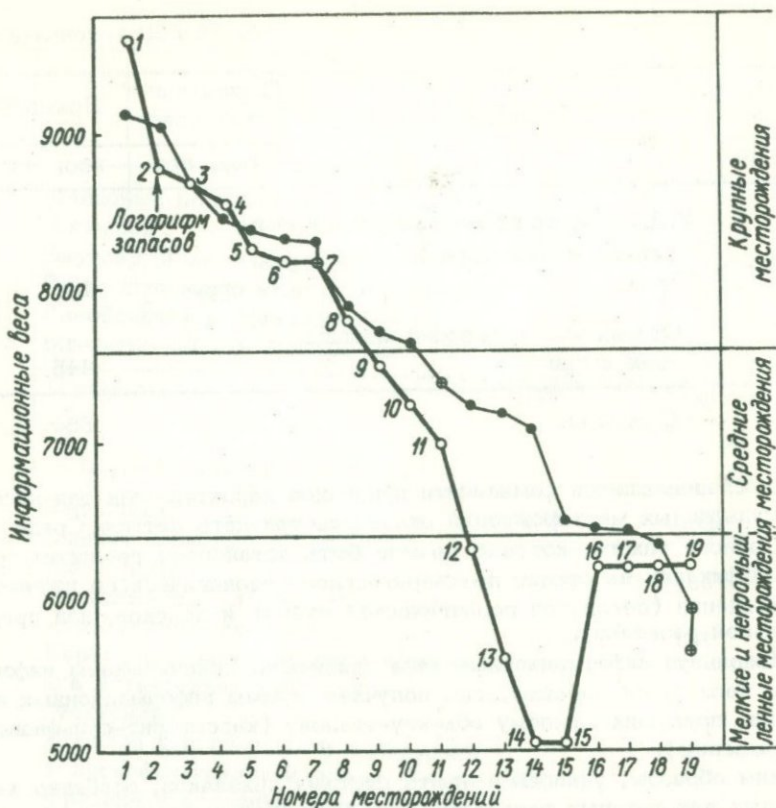
6. Используя информационные веса признаков, подсчитываем информационные веса строк таблицы, т.е. получаем суммы информационных весов признаков, присущих каждому объекту-этalonу (касситерит-сульфидному месторождению).

Таким образом, удалось выявить систему признаков, особенно характерных для крупных касситерит-сульфидных месторождений. Сумма информационных весов этих признаков (количественных выражений степени их характерности) сказывается в прямом соответствии с масштабами месторождений.

Полученные по 10 крупным эталонным месторождениям, расположенным в пределах Тихоокеанского пояса, информационные веса признаков в сумме дали информационные веса месторождений, отвечающие запасам последних с высокой степенью точности. Такое же соответствие было получено и на выбранных для проверки метода пятнадцати средних, мелких и непромышленных по своим запасам объектов (нижняя часть кривых на фиг. 4).

Интересно, что при этой проверке наибольшие отклонения информационных весов от подсчитанных запасов получились для месторождений 13-16, представленных, в частности, некоторыми объектами Магаданской области. Разведка и эксплуатация этих месторождений велись во время войны и в первые послевоенные годы, когда внимание обращалось главным образом на руды с высокими содержаниями. Можно предполагать, что поэтому запасы месторождений были оценены не вполне точно. Наш анализ показывает, что эти месторождения относятся вероятнее всего к разряду средних по масштабу.

Данные о характерности различных геологических признаков для крупных касситерит-сульфидных месторождений в какой-то мере должны уже



Фиг. 4. Соотношения между запасами и информационными весами касситерит-сульфидных месторождений Тихоокеанского пояса. 1 — контрольные месторождения; 2 — эталонные месторождения; 3 — логарифмы запасов контрольных и эталонных месторождений

сейчас учитываться при предварительной оценке вероятных масштабов отдельных месторождений, относящихся к этой группе, для выбора правильного направления исследований. Таким образом, становится ясным, на какие признаки надо обратить особое внимание с тем, чтобы исследования касситерит-сульфидных месторождений были более эффективными.

Несколько замечаний сделаем по существу полученных данных о геологических факторах, влияющих на образование крупных касситерит-сульфидных месторождений.

Прежде всего интересно по сумме информационных весов признаков сравнить характерность для отдельных крупных касситерит-сульфидных месторождений различных групп геологических факторов.

На первом месте здесь оказываются факторы магматического контроля (1483), на втором (1249) морфология рудных тел, на третьем — локальные рудовмещающие структуры и околорудные изменения (1110 и

1135), на четвертом — вмещающие породы (956), на пятом — региональные геологические структуры (811), на шестом — прочие факторы (800): зональность оруденения, наличие оруденения иных типов в пределах рудного поля и т.п.

Среди факторов магматического контроля наибольшее влияние оказывают кислые субвулканические тела, типа некков, непосредственно вмещающие оруденение или тесно с ними пространственно ассоциирующие. Этот вывод отчасти согласуется с установленным в последнее время фактом повышенной рудоносности субвулканических комплексов.

Из других факторов этой группы выделяется значительная роль ассоциированных с оруденением даек порфиров и кварцевых порфиров. Это обстоятельство также неоднократно ранее отмечалось многими геологами, изучавшими касситерит-сульфидные месторождения.

Среди характерных морфологических особенностей рудных тел неожиданно большое значение для крупных касситерит-сульфидных месторождений имеют углы падения. Наиболее характерными для установления различия между месторождениями являются углы падения от 50 до 90°. Этот факт, по-видимому, требует специального исследования с позиций структурной геологии, а также динамики и физической химии подземных гидротерм.

В качестве наиболее существенных локальных рудовмещающих структур выявились трещины односистемного скола, зоны расслаивания и трещины двухсистемного скола, а из пликативных форм — линейные складки, ядра и шарниры антиклиналей.

Из околорудных изменений наибольшее значение принадлежит серицитизации, следом за ней совершенно неожиданно — грейзенизации, и лишь затем окварцеванию, сопровождающемуся в большинстве случаев турмалинизацией и хлоритизацией.

Грейзенизация, по-видимому, свидетельствует о значительной продолжительности периода развития гидротермальных процессов. При этом происходило образование минерализации иного типа, чем касситерит-сульфидная. О наличии подобного рода наложения минерализации различного типа, ведущие в конечном итоге к образованию крупных месторождений сложных рудных формаций, указывалось ранее (Константинов, 1965).

При анализе роли вмещающих пород, как и предполагалось, характерными явились песчаники, углисто-глинистые сланцы и толщи, где эти породы переслаиваются между собой. Но вот установленная большая роль прослоев конгломератов и граувакк в этих толщах может быть в настоящее время объяснена лишь гипотетически. Вероятно, в связи с их значительной пористостью они могли вызывать в одних случаях разгрузку гидротермальных растворов при их движении по направлению к рудовмещающим трещинам. В этой связи возникает вопрос: а не могут ли сами пласты конгломератов и граувакк содержать концентрацию олова, достаточную для промышленного извлечения. Насколько нам известно, специально этот вопрос никем не исследовался, но на одном из оловорудных месторождений Омсукчанского рудного района Магаданской области известен пласт конгломератов мощностью свыше 20 м с высоким содержанием олова.

Региональные геологические структуры, занимающие по своему значению пятое место, определяют, по-видимому, масштабы рудных районов и узлов, и лишь в меньшей мере — отдельных касситерит-сульфидных месторождений. Оказалось, что наибольшее значение имеют здесь пересечения скрытых разломов фундамента.

Было интересно сравнить данные, полученные для касситерит-сульфидных месторождений Тихоокеанского пояса, с характеристиками признаков месторождений одной какой-либо металлогенической провинции. С этой точки зрения были рассмотрены касситерит-сульфидные месторождения Приморья. Список признаков оставался тот же самый, что и для месторождений Тихоокеанского рудного пояса, но были введены некоторые дополнения, которые основывались на несколько более полных данных для этих месторождений. Среди дополнений такие признаки, как, например, наличие более трех стадий минерализации, оказались довольно существенными для разделения месторождений по их масштабам.

Как известно, большинство оловянных месторождений Приморья располагаются в зоне, представляющей собой часть терригенной мезозойской геосинклинали, охватывающей восточный склон хребта Сихотэ-Алинь. Здесь широко распространены сложнодислоцированные песчанико-сланцевые породы мезозоя, перекрываемые верхнемеловыми и третичными эффузивами.

Особенности связи касситерит-сульфидного оруденения Приморья с магматизмом в течение ряда лет были объектом изучения многих исследователей, среди которых в первую очередь можно отметить Ф.К. Шипулина, М.А.Фаворскую, М.Г.Руб, Я.Д.Готмана, Е.А.Радкевич. Большинство авторов так или иначе оно связывается с интрузиями Приморских гранитоидов, прорывающих верхнемеловые кварцевые порфиры и частично покровы третичных андезитов. Не вдаваясь в анализ взглядов этих исследователей, отметим лишь следующие факты, более или менее характеризующие эту связь.

1. Наблюдается тесная пространственная ассоциация рудных тел с дайками основных пород (порфиров, диабазовых порфиров и других). Эта связь является также временной, так как порфиры нередко внедряются в периоды между двумя последовательными стадиями рудной минерализации. В несколько меньшей степени рудные тела ассоциируют с дайками кислых пород (кварцевых порфиров, фельзит-порфиров и других), также иногда влетающих в рудный процесс.

2. В пределах рудных узлов на расстоянии 2-3 км от участков месторождений обычно устанавливаются небольшие штоки кварцевых диоритов или гранодиоритов, сопровождающихся мощными ореолами ороговикования и турмалинизации.

3. Для некоторых месторождений (в частности, для Лифудзинского месторождения установлено, что на глубине под участками, содержащими жилы, залегают крупные магматические тела. Фиксируемые на поверхности выходы гранодиоритов и кварцевых диоритов, по-видимому, являются куполами этих тел.

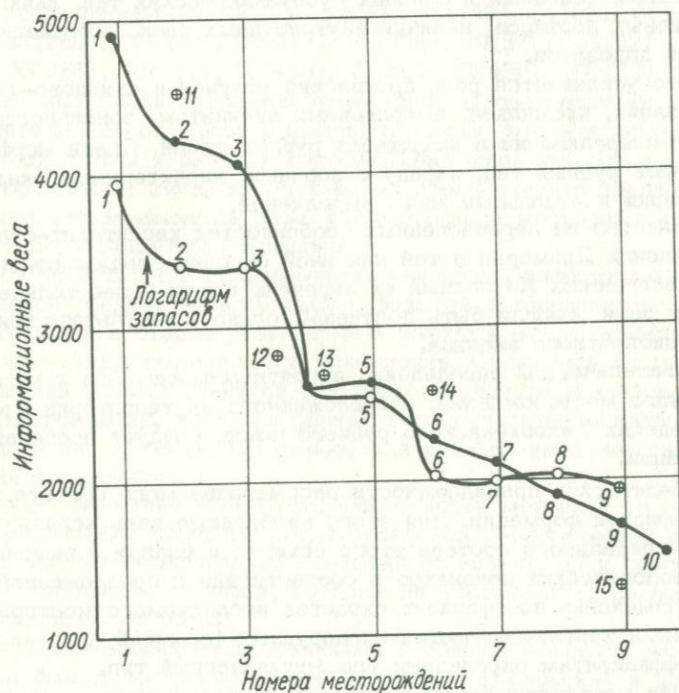
4. Для главных оловянных месторождений не характерна ассоциация с какими-либо субвулканическими телами. Лишь в отдельных слу-

чаях в пределах рудных полей выявляются кислые субвулканические тела типа фельзит-порфиров.

Как правило, оловорудные месторождения располагаются в песчанико-сланцевых отложениях, реже в эффузивах. Они нередко приурочены к участкам поперечных перегибов антиклинальных складок. Как и для месторождений Тихоокеанского пояса, критерием правильного выбора системы признаков является соответствие информационных весов месторождений и их запасов. То, что признаки, учтенные для приморских месторождений, действительно в значительной мере отражают геологические факторы, влияющие на масштабы рудообразования, подтверждается хорошим совпадением кривой информационных весов месторождений и кривой, отражающей их запасы (фиг. 5).

Как и в первом случае, вероятно, можно было выбрать несколько иную систему признаков, и возможно, она дала бы после соответствующей обработки еще более точные соотношения с масштабами оруденения, но пока — это область будущих исследований.

Сравнивая характерность признаков, полученных для касситерит-сульфидных месторождений Приморья (табл. 30) и всего Тихоокеанского рудного пояса, легко установить между ними как значительное сходство



Фиг. 5. Соотношения между запасами и информационными весами касситерит-сульфидных месторождений Приморья (Условные обозначения см. фиг.4)

во, так и некоторые различия. Так же как и для месторождений всего пояса, здесь главную роль играют факторы магматического контроля (2641), но второе место принадлежит околорудным изменениям (2073). Третье место по сумме информационных весов признаков имеют локальные рудовмещающие структуры (1883), затем особенности размещения оруденения (1531), вмещающие породы (1461), морфологические особенности рудных тел (1307) и, наконец, региональные геологические факторы (1248) и стадийность минерализации (554).

Несомненно, что на изменение в значимости различных групп признаков оказала влияние не только металлогеническая специфика Приморья, но и несколько большая изученность месторождений, позволившая более полно отразить, в частности, особенности околорудных изменений пространственного размещения оруденения.

Следует еще раз отметить, что полученные данные свидетельствуют об относительно малом влиянии факторов регионального геологического контроля на масштабы отдельных месторождений, но не на их распространенность. Как это и предполагалось ранее (Константинов, 1965), большое количество стадий минерализации (больше трех) также является характерным признаком крупных месторождений. Касаясь изменений роли отдельных признаков, отметим возросшее значение ассоциирующих с оруденением основных и средних субвулканических тел, дайковых полей кварцевых порфиров, наличия внутрирудных даек, ассоциацию с лавобрекчиями андезитов.

Заметно усиливается роль проявлений ртутной и свинцово-цинковой минерализации, прожилков, выполненных аксинитом, зональности в размещении минерализации и масштабах рудных полей. Среди морфологических типов рудных тел, наряду с прочими, характерными оказываются штокверки и отдельные жилы выполнения.

Большинство из перечисленных особенностей касситерит-сульфидных месторождений Приморья в той или иной степени отражались в предыдущих исследованиях. Но полный их перечень и тем более количественная оценка их роли смогли быть получены только в результате применения методов дискретного анализа.

Следовательно, для определения вероятных масштабов какого-либо оловорудного месторождения, расположенного на территории Приморья или в пределах Тихоокеанского рудного пояса, следует проделать следующие операции.

1. Убедиться в принадлежности рассматриваемого объекта к касситерит-сульфидной формации. Для этого необходимо дать количественную оценку минерального состава этого объекта в баллах и выяснить наличие геологических признаков в соответствии с предложенной выше шкалой. Вычислив коэффициент сходства исследуемого месторождения со средними характеристиками оловорудных формаций, по максимальным коэффициентам определяем его формационный тип.

2. Если месторождение оказывается принадлежащим к касситерит-сульфидной формации, то для присущих ему геологических признаков выписываем значения информационных весов, взятых из табл. 30. Эти значения выбираются в зависимости от того, где расположено место-

рождение, соответственно или из столбца Тихоокеанского рудного пояса, или из столбца Приморья. Затем выписанные информационные веса суммируются и по полученной сумме находится место исследуемого месторождения на кривой информационных весов эталонов соответственно для Тихоокеанского пояса или Приморья и в зависимости от этого места предполагаются его вероятные масштабы. Если часть признаков на исследуемом месторождении не изучена, то расчет производится два раза: первый раз все не изученные признаки считаются как бы отсутствующими, а второй – присутствующими. Различия в получаемых суммах информационных весов признаков говорят в этом случае о возможных колебаниях в масштабах месторождения в зависимости от неизученных признаков.

Например, установлено, что оловорудное месторождение, расположенное в Приморье, по своему минеральному составу и геологическим условиям нахождения принадлежит к касситерит-сульфидной формации. Следовательно, при отсутствии достаточно ясных геологических предпосылок в качестве средства, позволяющего получить некоторые дополнительные данные для его оценки, может быть использована сумма информационных весов геологических признаков. Из перечисленных в табл. 25 на месторождении установлены следующие признаки, информационные веса которых указаны в скобках 1 (163), 5(163), 6(168), 15(310), 21(265), 22(220), 25(211), 28(158), 29(371), 49(221), 51(340), 52(305), 56(188), 69(211), 70(439), 72(56), 75(439), 79(439). Сумма информационных весов признаков равна 4565. В соответствии с кривой информационных весов месторождений Приморья это месторождение, вероятно, относится к разряду крупных. Очевидно, что среди нескольких месторождений, имеющих одинаковые геологические предпосылки, но меньшие информационные веса, рассмотренное месторождение заслуживает первоочередного внимания.

Следует указать, что приводимыми значениями информационных весов признаков следует пользоваться с большой осторожностью, так как метод находится в стадии разработки и имеются еще неясности в вопросе о возможных границах его применения. Свою роль он может сыграть при определении объектов для первоочередного исследования среди месторождений, имеющих равные геологические показатели для такого изучения, а также при выборе для ревизии наиболее перспективных месторождений.

Привлекает внимание и еще одна особенность метода – он не только подтверждает или отвергает роль отдельных геологических признаков и дает их сравнительную количественную оценку, но и способен подсказать некоторые признаки, которые не учитывались, но, возможно, играют существенную роль.

Нашими совместными исследованиями с сотрудниками ВЦ АН СССР этот метод был существенно усовершенствован (Яблонский и др., 1971). Сделанные улучшения позволяют использовать в работе такие шкалы геологических признаков, среди которых много не имеющих влияния на масштабы месторождений. Модифицированный вариант метода делает менее жесткими требования к однородности исследуемого геологического материала.

Сущность изменений заключается в том, что рассматриваются эталонные месторождения с максимально различающимися запасами, от непромышленных до крупных.

Масштаб каждого эталонного месторождения выражается в виде некоторой числовой величины и эти величины суммируются по всем эталонам. Затем для каждого признака вычисляются два значения: первое представляет собой сумму величин, характеризующих масштаб тех эталонных месторождений, в которых данный признак присутствует (символ 1), а второе – сумму величин, характеризующих масштаб тех эталонных объектов, в которых этот признак отсутствует (символ 0). Далее вычисляют, сколько процентов составляет первое значение и сколько второе от суммы величин, отражающих масштабы эталонных месторождений, полученной ранее. После этого находят разность между первым и вторым значениями, выраженными в процентах, берут сумму модулей этих разностей по всем признакам и делят на число признаков в исследуемой шкале. Чем больше полученная величина, тем лучше способность данной шкалы к распознаванию масштабов месторождений.

Разработка шкал геологических признаков продолжается после обработки сведений о месторождениях на ЭВМ обычным, описанным выше тестовым методом. Она осуществляется следующим образом: полученное, как это было показано выше, процентное соотношение для так называемых весов единиц и весов нулей используется для деления информационного веса каждого признака, вычисленного на ЭВМ с помощью тестов на две части – на разделяющий вес единицы и разделяющий вес нуля. Затем вычисляются веса эталонных месторождений путем суммирования разделяющих весов по всем признакам, причем в зависимости от того, присутствует или отсутствует признак в данном эталонном объекте, берется соответственно разделяющий вес единицы или разделяющий вес нуля.

Оценка роли отдельных признаков позволяет удалить те из них, которые не обладают различающим весом. Это дает в дальнейшем возможность сократить список признаков до минимума, что имеет большое значение для повышения эффективности применения методов.

В заключение раздела о применении различных современных методов для обработки данных о месторождениях кратко остановимся на сравнении некоторых результатов, полученных для гидротермальных оловорудных месторождений.

Классификация оловорудных месторождений по геологическим условиям нахождения показывает, что наиболее характерными признаками касситерит-кварцевой формации являются частая локализация рудных тел в трещинах отрыва в гранитных массивах, грейзенизация и зональность в размещении рудных тел в пределах рудного поля. Для касситерит-сульфидных месторождений типичны локализация в крыльях антиклиналей, в рудовмещающих трещинах двухсистемного скола, в зонах расщелачивания и трещиноватости, а также углы падения рудных тел от 50 до 75° и более, наличие штоков гранодиоритов и кварцевых диоритов на расстояниях до 3 км от рудных тел, прослой конгломератов в рудовмещающей песчаниково-сланцевой толще. Месторождения касситерит-силикатной формации, как правило, приурочены к прогибам

с инверсией, кислым вулканизмом и андезито-дацитами. Для них характерны крутые (свыше 75°) углы падения рудных тел, интенсивные и сложные по составу околорудные изменения.

Применение формулы Байеса (Флакс, 1967) для анализа различий между месторождениями вскрывает в целом сходные их особенности, хотя и позволяет судить об условиях геологического нахождения с большой детальностью. Так, помимо перечисленных особенностей, для касситерит-сульфидной формации оказываются характерными прожилки аксинита, зональные рудные тела, отдельные дайки порфиритов, диоритовых порфиритов, андезитов и других, серицитизация и карбонатизация вмещающих пород, появление свинцово-цинковых рудопроявлений на флангах рудных полей. Для касситерит-кварцевой формации типичны также штокверки; касситерит-силикатные месторождения нередко сопровождаются дайками кислого состава; турмалинизацией вмещающих пород.

Наибольшую детальность в характеристике геологических условий, способствующих появлению крупных касситерит-сульфидных месторождений, позволяет получить методы дискретного анализа. Легко убедиться, что наиболее значимые признаки, выявленные после применения названного метода (тесная ассоциация оруденения с вулканическими телами типа некков, крутые (больше 75°) углы падения, значительная роль грейзенизации и др.) не являются признаками, типичными для всей формации.

Таким образом, классификация месторождений, полученная путем сопоставления их геологических условий нахождения, вскрывает особенности этих условий лишь в общих чертах, но позволяет выявить группы месторождений, которые могут быть приняты как эталонные. Дальнейшая обработка данных по этим эталонным месторождениям с применением вероятностно-статистических методов позволяет детализировать эти условия, дать характеристику рудных формаций.

Наконец, применение методов дискретного анализа позволяет выявить те геологические условия, которые способствуют образованию крупных месторождений в рамках одной какой-либо рудной формации.

Совершенно очевидно, что наиболее ценные результаты могут быть получены лишь при комплексном использовании всех перечисленных методов.

Кроме того, из приведенных примеров следует, что применение логико-информационных методов позволяет выявлять скрытые связи между геологическими условиями формирования месторождений и их минеральным составом. Таким образом, эти методы поднимают формационный анализ месторождений на новую качественную ступень и заставляет пересмотреть предложенное выше определение рудной формации. Логико-информационные методы позволяют рассматривать рудные формации как группы месторождений, у которых сходный минеральный состав функционально связан с повторяющимися особенностями геологической обстановки. На необходимость подобного подхода к рудным формациям указывает и В.А.Кузнецов (1972), что "рудная формация определяется главнейшими минеральными парагенезисами и геологической обстановкой, влияющей на текстурно-структурные и другие особенности руд" (стр.7).

РЯДЫ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Переходя к рассмотрению этого метода, следует сказать несколько слов о том понимании рядов формаций, которое сложилось в настоящее время в геологической литературе.

Представление о рядах геологических формаций существует сравнительно давно. Оно возникло из работ Б.М.Келлера, Н.С.Шатского, Л.Б.Рухина, которые под рядами формаций осадочных пород понимали крупные литолого-структурные единицы, объединяющие последовательно образующиеся на данном участке земной коры формации (Рухин, 1953).

Иное понимание рядов магматических формаций предложено Ю.А.Кузнецовым (1964). Как уже выше говорилось, он определил их как некоторую совокупность конкретных магматических формаций или комплексов (и, следовательно, формационных типов), сближенных в пространстве и времени и связанных друг с другом некоторой общностью условий образования и, в частности, тектонической обстановкой.

Ю.А.Билибин (1959) писал о широком ряде месторождений золота, связанных с монцонитовой и эссекситовой интрузивными формациями. Объединяющими признаками всех месторождений являлось наличие в них в качестве жильного минерала барита, совместное развитие этих месторождений в одних районах и в одной и той же тектоно-магматической обстановке, проявлением в пределах одного месторождения различных по температурам образования стадийных минеральных ассоциаций, представляющих в самостоятельном развитии различные типы месторождений, наличием непрерывных и постепенных переходов между различными месторождениями ряда. Весь этот ряд Ю.А.Билибин называл "баритовой рудной формацией". Внутри формации в зависимости от температур образования выделялись различные по минеральному составу типы месторождений.

О генетических рядах рудных формаций упоминали С.С.Смирнов и О.Д.Левицкий (1947), Е.А.Радкевич (1953), Д.И.Горжевский (1964). В их исследованиях генетические ряды рудных формаций рассматривались как группы месторождений с изменяющимся минеральным составом, но связанные некоторыми родственными геологическими условиями.

Для металлогенических построений генетические ряды рудных формаций были впервые применены Е.Е.Захаровым (1959).

Автором изучение рядов рудных формаций было начато в Восточном Забайкалье совместно с его руководителем И.Н.Томсоном и О.П.Поляковой (Томсон, Константинров, Полякова, 1964).

В дальнейших работах (Константинов, 1965, 1966; Константинов, Тананаева, 1972) на примере оловянных, вольфрамовых, молибденовых и других месторождений Приморья, Восточного Забайкалья и иных районов ряды рудных формаций рассматривались автором уже главным образом как метод сравнительного изучения месторождений различных рудных формаций, применяемый независимо от их местонахождения и геологического возраста, позволяющий выявить геологические факторы, влияющие на изменения минерального состава и с геологических позиций обосновать выделение рудных формаций. Исходя из этих соображений было дано приведенное ниже определение ряда рудных формаций.

Изучая ряды рудных формаций, можно выявить геологические условия, характерные для тех или иных типов месторождений - членов ряда, и затем использовать эти данные для прогнозирования наиболее вероятных типов месторождений в изучаемых рудных районах. Большое значение исследования рядов формаций для прогнозов было подчеркнуто автором в более ранних работах (Константинов, 1965).

К этим работам по своему направлению близки более ранние работы А.Д.Щеглова (1960), установившего путем сравнительного анализа взаимосвязь между минеральным составом и петрохимическими особенностями магматических пород на молибденовых месторождениях Забайкалья; Е.П.Малиновского (1961), таким же образом показавшего роль геолого-структурных факторов в образовании гидротермальных вольфрамитовых месторождений и некоторые другие исследования.

Поскольку метод позволяет найти взаимосвязи между различными особенностями минерального состава группы месторождений и геологическими условиями их нахождения, а также уточнить некоторые другие особенности минерального состава и условий нахождения месторождений, он является способом сравнительного геологического анализа материала и может оказать существенную помощь в разработке различных рабочих вариантов рудно-формационных классификаций.

Существо метода заключается в следующем. Как уже упоминалось, для правильного выделения рудных формаций и изучения их взаимосвязей представляется целесообразным использовать предложенное Н.В.Петровской разделение минерального состава месторождений на различные по своему генетическому значению группы минералов. Особое значение имеют группы минералов или отдельные минеральные виды, которые в месторождениях данной простой рудной формации присутствуют в подчиненном значении, но не связаны с влиянием вмещающих пород и которые автором предлагается выделять как переходную группу минералов. Увеличение количества этих групп минералов или отдельных минеральных видов иногда ведет к образованию месторождений сложных формаций.

Например, к переходной группе минералов в касситерит-кварцевых месторождениях будут относиться вольфрамиты, шеелит и другие минералы, как бы намечающие переход к сложной касситерит-вольфрамит-кварцевой формации, сульфиды, намечающие переход к касситерит-сульфидным месторождениям и, наконец, такие минералы, как турмалин и хлорит, свидетельствующие о наличии в условиях образования месторождения процессов, сходных с процессами формирования касситерит-силикатных месторождений. Это справедливо и для минерального состава месторождений других простых формаций: в каждом из них наблюдаются присутствующие в малых количествах отдельные минералы или группы минералов, значительное развитие которых более характерно для месторождений других переходных или простых формаций.

Изучение поведения минералов, входящих в группу переходных, приводит к выводу о том, что в некоторых случаях можно в пределах одной металлогенической провинции установить серию месторождений, в которых роль минералов переходной группы будет увеличиваться от одного месторождения к другому. В результате можно найти такие месторождения, в которых роль минералов переходной группы настолько увеличивается, что эта группа приобретает значение ведущей устойчивой минеральной ассоциации. В то же время роль других минеральных групп уменьшается. Возникает как бы единый ряд рудных формаций, в котором месторождения одной рудной формации через сложные переходные формации связываются с месторождениями другой простой формации.

Таким образом, ряд рудных формаций - это рудные формации, связанные постепенными переходами между устойчивыми минеральными ассоциациями.

Следовательно, в ряд рудных формаций включаются группы месторождений, объединенных каким-либо одним общим признаком, выбранным в соответствии с задачами исследования (например, высокими содержаниями олова или золота), характеризующиеся направленным изменением минерального состава (например, уменьшением количества кварца и одновременно увеличением количества сульфидов). Таким образом, каждая пара смежных месторождений в этом ряду относится к близким по минеральному составу рудным формациям или минеральным типам.

Изучение рядов рудных формаций позволяет внести определенную систему в анализ изменения особенностей состава месторождений и путем сравнения геологических условий их формирования выявить те факторы, которые влияли на эти изменения. При этом именно постепенное изменение какого-либо химико-минералогического параметра в ряду рудных формаций позволяет выделить тот геологический фактор, который влиял на это изменение, меняясь столь же постепенно.

Следовательно, выявление рядов рудных формаций в понимании автора представляет собой прежде всего метод исследования, с помощью которого иногда оказывается возможным установить зависимость особенностей минерального состава месторождений от ка-

кого-либо геологического фактора или группы факторов. На основании всего имеющегося геологического опыта в основу метода кладется предположение, что такие особенности месторождения, как состав рудных тел, их морфология и сопровождающие его околорудные изменения, являются функциями разнообразных геологических факторов (магматизма, состава вмещающих пород и других). Подбрав такие реальные месторождения, где одна какая-либо функция постепенно изменяется, выясняем одновременно, какие изменения происходят с аргументами – геологическими факторами. Найдя среди них фактор, изменяющийся так же закономерно, как и взятая за основу функция, мы тем самым устанавливаем их взаимосвязь. Конечно, во многих случаях подобное сравнение может не дать однозначного решения, но может хотя бы подсказать пути, на которых его следует искать.

Поступая подобным образом, мы практически переносим на геологические объекты экспериментальный метод изучения сложных систем, в которых характер взаимосвязей не поддается теоретическому анализу. В какой-то мере эти взаимосвязи могут быть установлены, если, последовательно изменяя один параметр системы, мы будем следить за изменением всех остальных ее параметров (Константинов, 1966).

Удобство такого метода исследования тем более очевидно, что он позволяет широко применить графическое отображение фактического материала. Предлагаемый путь исследований соответствует рекомендациям, сделанным в свое время Д.И.Щербаковым о применении диаграмм, отражающих минеральный состав руд, для сопоставления различных месторождений и выявления их генетических особенностей (Щербаков, 1945).

Выявление рядов рудных формаций не является чем-то принципиально новым. Идеализированный ряд месторождений различных металлов, сменяющих друг друга по минеральному составу вследствие понижения температур образования, был предложен Эммонсом в его известной схеме температурной зональности оруденения. О генетических рядах оловорудных формаций писали С.С.Смирнов и О.Д.Левицкий, намечая для них два ряда: 1) оловоносные пегматиты – оловоносные грейзены и кварцево-топазовые жилы – кварцево-полевошпатовые, кварцево-турмалиновые и собственно кварцевые жилы; 2) касситерит-сульфидные месторождения. О рядах касситерит-сульфидной формации упоминала Е.А.Радкевич (1953).

П.Ф.Иванкин (1960) для выяснения геологических факторов, влиявших на появление редкометального, золотого и медного оруденения в пределах Калбы, фактически рассматривает ряд рудных формаций.

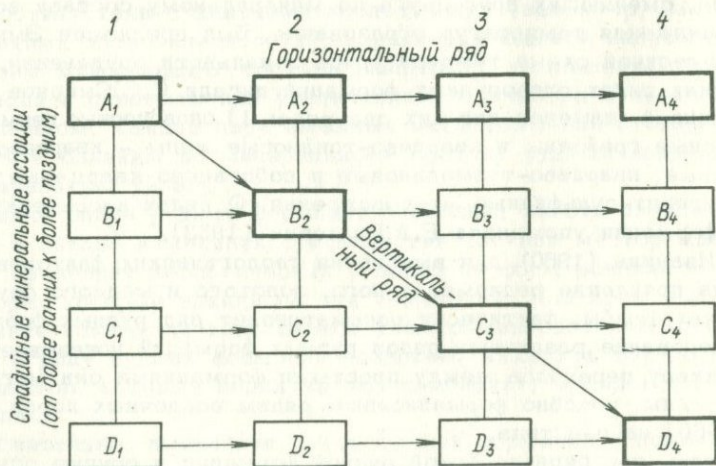
Исследование различных рядов рудных формаций показывает, что по характеру переходов между простыми формациями они могут быть подразделены, подобно формационным рядам осадочных пород (Шатский, 1960) на два типа.

1. Ряды, где переход одной рудной формации в другую осуществляется путем изменения состава устойчивой, определяющей формации минеральной ассоциации, что обычно связано с изменением

состава минеральной ассоциации, образовавшейся в одну какую-либо стадию минерализации (обычно в первые стадии минерализации). Ряды этого типа могут быть названы горизонтальными рядами формаций. Таким образом, горизонтальный ряд рудных формаций выделяется в том случае, если устанавливаются изменения в составе стадийных минеральных ассоциаций, появление которых можно считать более или менее одновременным в ходе гидротермального рудного процесса. Следуя за Д.В.Рундквистом (1968), можно сказать, что выделение горизонтальных рядов формаций основывается на фациальных изменениях минерального состава месторождений, принадлежащих близким рудным формациям.

2. Ряды, в которых переход происходит путем уменьшения распространенности и последующего полного выпадения минеральных ассоциаций, образовавшихся в одну из стадии минерализации, при появлении новых минеральных ассоциаций и постепенном увеличении их количества. Ряды формаций этого типа могут быть названы вертикальными рядами формаций.

Этот тип рядов рудных формаций отражает изменения в количественной роли стадийных минеральных ассоциаций, образовавшихся в разное время. Рассматривая достаточно удаленные друг от друга члены такого ряда, легко убедиться в том, что в тех сравнительно редких случаях, когда они встречаются в пределах одного рудного поля, они нередко принадлежат даже к разным этапам минерализации и образуют единые "рудные серии" – закономерно сменяющие друг друга во времени рудные формации, вопрос о которых будет рассмотрен ниже. В определенной мере вертикальные ряды рудных формаций аналогичны "эпигенетическим рядам фаций" Д.В.Рундквиста (1968). Схема двух типов переходов в генетических рядах рудных формаций дана на фиг. 6, где А, В, С, D – сменяющие друг друга в пространстве и во времени минеральные ассоциации.



Фиг. 6. Схема типов перехода в рядах рудных формаций. Цифры 1,2,3,4 – номера месторождений

По первому типу происходит, например, переход в ряду вольфрамит-кварцевой → касситерит-кварцевой формаций, широко распространенных в рудных районах Востока СССР. В этих месторождениях устойчивая минеральная ассоциация: кварц, мусковит, арсенопирит, вольфрамит, касситерит в сложной переходной кварц-касситерит-вольфрамитовой формации и ассоциацией кварц, мусковит, арсенопирит, касситерит, топаз в простой касситерит-кварцевой формации.

Широко распространенная группа сульфидных минералов намечает переход к вольфрамит-сульфидно-кварцевой формации, известной в Западном Забайкалье (Джидинское месторождение) и к касситерит-сульфидно-кварцевой, достаточно широко представленной в Восточном Забайкалье (Сохондинское месторождение, Ингодинская группа и другие) и характеризует вертикальный ряд этих формаций. Появление в касситерит-кварцевых и некоторых сложных месторождениях в поздних ассоциациях турмалина и хлорита сближает эти месторождения с месторождениями касситерит-силикатной формации.

При выделении рядов рудных формаций необходимо учитывать, что месторождения – члены единого горизонтального ряда, должны иметь близкие типы околорудно измененных пород, образующихся в одной и той же последовательности. В противном случае возможным оказывается непосредственное сравнение сходных рудных минеральных ассоциаций, имеющих различные околожилные изменения (например, молибденит-кварцевой ассоциации с грейзенами и молибденит-кварцевой ассоциации с калишпатизацией), относимых к разным формациям.

В настоящее время для выделения ряда рудных формаций используют отдельные представители месторождений с постепенно изменяющимися особенностями минерального состава руд. Значительно больше возможности, по-видимому, появляется у этого метода, если здесь будут использованы также результаты обработки на ЭВМ данных о минеральном составе и геологических условиях нахождения большого количества месторождений. Как было показано выше, обработка данных о минеральном составе в конце концов позволяет получить средние минеральные составы рудных формаций. Используя коэффициенты сходства с этими средними составами составов конкретных месторождений, можно легко выявить самые различные тенденции в изменчивости минерального состава. Средний минеральный состав рудной формации окажется как бы центром, от которого подобно лучам будут отходить ряды к другим рудным формациям.

Использование коэффициентов сходства месторождений по минеральному составу позволяет выбрать в качестве членов ряда объекты наиболее однородные по всем своим свойствам, кроме исследуемого.

Например, исследуется влияние геологических факторов на содержания галенита и сфалерита в оловянных месторождениях. Соответствующий ряд рудных формаций может быть получен в результате следующих последовательных операций.

1. Используя оценку содержания минералов в баллах, разделяем оловорудные месторождения на пять классов: с высокими содержаниями галенита и сфалерита (4 балла); со средними (3 балла), с малыми (2 балла), очень малыми — (1 балл) и отсутствующими галенитом и сфалеритом (0 баллов).

В первую группу попадут такие месторождения, как Хапчеранга, Синанчинское, Смирновское и др., во вторую — Лифудзинское, Имтаиджа, Этыка II и др., в третью — Сохондро, Валькумей, Лево-Ингодинское и др., в четвертую — Тербалджей, Иультинское, Этыка I и др., наконец, в пятую — Ярославское, Грейзеновое, Светлое и др.

2. Среди месторождений смежных групп находим те, которые имеют максимальные коэффициенты сходства. Тем самым получаем ряд рудных месторождений, имеющих максимально однородный минеральный состав, за исключением изменения содержания галенита и сфалерита.

Например, в такой ряд войдут следующие месторождения (в скобках указаны коэффициенты сходства между соответствующими месторождениями): Синанчинское — (0,72) — Лифудзинское — (0,71) — Иультинское — (0,82) — Светлое.

3. Наметив несколько таких рядов, сравниваем геологические признаки месторождений каждого ряда. Находим среди этих признаков такие, которые изменяются в соответствии с изменением содержания галенита и сфалерита.

Проверяем обоснованность гипотезы о влиянии изменяющихся признаков на содержания галенита и сфалерита с помощью описанного выше метода использования критерия χ^2 .

Для этого составляем таблицу, в которой совмещаются, с одной стороны группы месторождений с различными содержаниями галенита и сфалерита, а с другой — изменение признака. В клетках таблицы указываются количества месторождений, отвечающих принятым условиям.

Подсчитав значения критерия χ^2 и сравнение его с табличным, можно убедиться в обоснованности или необоснованности выводов о влиянии изменяющегося геологического признака на исследуемые особенности минерального состава.

Описанный ход исследования рядов рудных формаций представляется весьма перспективным. Но несмотря на то, что расчеты, выполняемые в процессе исследований по этим методам, относительно простые, необходимость перерабатывать очень большой фактический материал требует и здесь применения ЭВМ. Автор считает, что разработка соответствующих программ и подготовка необходимого фактического материала должны явиться делом ближайшего будущего.

Наибольший интерес при изучении рядов представляет исследование влияния следующих геологических факторов:

- 1) состава изверженных пород, с которыми ассоциирует руда;
- 2) метаморфических и метасоматических процессов в этих породах (грейзенизация, альбитизация и др.), особенно для интрузивных пород;

3) наличие и степень проявления ассимиляции рудоносной магмой вмещающих пород, оценка ее гибридности и контаминированности;

4) особенностей эволюции магматизма в соответствующем этапе металлогенической эпохи тектоно-магматического цикла, к которому относится и оруденение (от кислых изверженных пород к основным или от основных к кислым, или какие-либо другие);

5) особенностей тектоники, определяющее значение в локализации оруденения тех или иных элементов тектоники, общий тектонический режим на этапе, предшествующем оруденению – сжатие, растяжение, поднятие, опускание;

6) состава пород, непосредственно вмещающих оруденение;

7) характера разреза пород в пределах рудного района от фундамента до уровня современного эрозийного среза;

8) глубин формирования месторождений от поверхности, существовавшей в момент рудообразования, и вероятного положения источника рудоносных растворов; положение оруденения по отношению к поверхности интрузива – предполагаемого источника. Эти данные следует учитывать в том случае, если для них имеются совершенно объективные геологические или геофизические доказательства;

9) другие особенности пространственного размещения оруденения.

Для проведения такого сравнения даже в изученных рудных районах необходимы дополнительные специальные исследования. Однако и без дополнительных работ только на основании главным образом полевых наблюдений и литературных данных можно иногда сделать некоторые предварительные выводы.

В заключении отметим, что при изучении рядов рудных формаций следует обращать внимание не только на изменяющиеся геологические признаки. Не меньшее внимание должны привлекать признаки, сохраняющиеся у всех месторождений ряда, так как среди них может присутствовать признак, определяющий ту общность минерального состава, на основании которой объединяются все месторождения ряда. Например, в ряду оловорудных формаций, объединяющих их геологическим признаком, могут быть специфические по своему химическому составу граниты. Если среди общих постоянных признаков выявлены такие, с которыми все месторождения ряда связаны генетически, то такой ряд может быть назван генетическим рядом рудных формаций.

Помимо охарактеризованного подхода к изучению рядов рудных формаций, как метод сравнительного исследования месторождений для определения условий образования рудных формаций и прогнозирования, многие исследователи используют их как классификационную единицу. В этом отношении особенно интересны работы И.Г.Магакьяна (1967) и В.А.Кузнецова (1972). В.А.Кузнецовым разработана систематика рудных формаций, в которой они подразделяются на группы, ряды и отдельные рудные формации (табл. 31).

Ряды эндогенных рудных формаций (по В.А.Кузнецову, 1972)

Группы рудных формаций	Ряды рудных формаций	Рудные формации	Примеры
I. Группа р.ф. ранних (геосинклинальных) стадий развития складчатых областей	Ряд р.ф., связанных со спилитодиабазовой и кварц-кератофировой вулканическими формациями	Медно-колчеданная Колчеданно-полиметаллическая Гематитово-магнетитовая (в.о.) Марганцевая (в.о.) Самородная медь	Алтае-Саянская область, Урал, Казахстан, Кавказ
		Хромитовая (м) Хризотил-асбестовая (г) Тальковая (г)	Алтае-Саянская область, Урал, Казахстан
	Ряды рудных формаций, связанных с интрузиями габбро-плагиогранитной группы	Титаномагнетитовая (м) Медно-никелевая (м) Магнетитовая (с) Кварцево-золоторудная (г)	Алтае-Саянская область
		Платиновая (м) Титаномагнетитовая (м) Магнетитовая (с) Меднорудная (с)	Урал
II. Группа р.ф. средних (инверсионных) стадий развития складчатых областей	Ряд р.ф., связанных с формацией гранитных батолитов	Редкометалльных пегматитов Слюдяные пегматитов Редкометалльная скарновая Редкометалльная грейзеновая Магнетитовая скарновая Редкометалльная альбититовая Кварцево-касситеритовая (гр) Кварц-вольфрамит-молибденитовая (гр) Кварц-золоторудная (г)	Алтае-Саянская область, Калба, Верхоянско-Колымская область

III. Группа р.ф. поздних (орогенных) стадий развития складчатых областей	Ряд р.ф., связанных с формированием гранитоидных батолитов пестрого состава	Магнетитовая скарновая Вольфрамово-молибденовая скарновая Золото-сульфидная скарновая Кварц-золоторудная (г)	Кузнецкий Алатау, Тува, Восточный Саян
	Ряд р.ф., связанных с эффузивными формациями базальт-андезит-диоритовой группы	Свинцово-цинковая (г) Золото-баритовая (г) Золото-серебряная (г) Золото-висмут-теллуровая (г) Мышьяковая (реальгаровая) Ртутная опалитовая (г) Самородной серы	Закарпатская область, Малый Кавказ, Камчатско-Курильская область
		Олово-полиметаллическая (г) Оловянная риолитовая (г)	Охотско-Чукотская область, Приморье
	Ряд р.ф., связанных с субвулканогенными интрузивными формациями габбро-диорит-гранитной группы	Магнетитовая скарновая Меднорудная скарновая Мышьяково-кобальтовая (г) Кварц-касситеритовая (г) Сульфидно-касситеритовая (г) Флюорит-барит-сидеритовая и др.	Тува, Малый Кавказ
	Ряд р.ф., связанных с субвулканическими гранитами и щелочными интрузивными комплексами	Вольфрамовая грейзеновая Медно-молибденовая (г) Свинцово-цинковая скарнов (г) Бороносная скарновая Кварц-касситеритовая (г) Сульфидно-касситеритовая (г)	Приморье

Таблица 31 (продолжение)

Группы рудных формаций	Ряды рудных формаций	Рудные формации	Примеры
	Ряд р.ф., связанных с самостоятельными малыми интрузиями основной магмы поздних этапов развития складчатых областей	Колчеданно-полиметаллическая Баритово-полиметаллическая Золото-сульфидная (г) Кварц-золоторудная (г)	Салаир, Рудный Алтай
IV. Группа р.ф. платформенных областей	Ряд р.ф., связанных с трапшовыми комплексами	Титаномагнетитовая (м) Магно-магнетитовая (с) Медно-никелевая сульфидная (м) Свинцово-цинковая (г) Исландский шпат (г)	Сибирская платформа
	Ряд р.ф., связанных с ультраосновными щелочными интрузиями и кимберлитами	Редкометальная карбонатитовая Апатито-магнетитовая (м) Нефелиновая (м) Алмазная (м)	Сибирская платформа
V. Группа р.ф. областей тектоно-магматической активизации	Ряд р.ф., связанных с малыми интрузиями щелочных базальтоидов	Золото-сульфидная (г) Золото-серебряная (г) Флюоритовая (г) Свинцово-цинковая (г) Сурьмяно-вольфрамовая (г) Ртутная (г)	Алданский массив, Забайкалье, Алтае-Саянская область
	Ряд р.ф., связанных с внемагматическими источниками	Свинцово-цинковых руд (т) Медистые песчаники (г) Ртутная телетермальная и др.	

Примечание: (м) - магматическая; (с) - скарновая; (г) - гидротермальная; (т) - телетермальная; (гр) - грейзеновая; (в.о.) - вулканогенно-осадочная.

С помощью рядов рудных формаций и с использованием представления о переходной группе минералов была сделана попытка определить геологические условия, влияющие на появление касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной рудных формаций на территории Восточного Забайкалья. Для этого в соответствии с приведенным выше перечнем основных факторов рудообразования были рассмотрены некоторые оловорудные месторождения Восточного Забайкалья, которые были расположены в ряд в порядке постепенного увеличения в минеральном составе количества сульфидов. Таким образом, получили ряд оловорудных формаций, общим признаком которых является высокое содержание олова, а изменчивым — постепенное увеличение в рудах количества сульфидов.

Представителем касситерит-кварцевых месторождений, содержащих относительно небольшое количества сульфидов, является Ононское месторождение (Радкевич, 1956; Григорьев, 1957). Как известно, на этом месторождении рудные тела формировались в две стадии минерализации, причем минеральная ассоциация второй стадии имеет резко подчиненное значение. Эти тела представляют собой короткие существенно кварцевые линзы, залегающие как в мезозойских глинистых сланцах, так и в метаморфических палеозойских сланцах. Жилы ограничены в альбандах мусковитовыми оторочками, во вмещающих породах образуются кварцево-слюдавые грейзеновые оторочки, имеющие мощность до первых десятков сантиметров. Предполагается, что активная гранитная интрузия скрыта на глубине, обнажающиеся же вблизи месторождения граниты Богова Утеса связаны с оруденением лишь общностью источников. Известны дайки гранит-порфиров и диоритовых порфиров, образование которых предшествовало внедрению гранитов.

Значительно большее количество сульфидов устанавливается в кварцево-топазовых жилах Этыкинского оловорудного месторождения. Рудные тела представлены здесь серией сближенных субпараллельных жил, залегающих в песчанико-сланцевой толще висячем боку массива амазонитовых гранитов (Левицкий и др., 1959). Вмещающие породы на контакте с жилами превращены в кварцево-топазово-слюдавые грейзены мощностью до 10 см. Внедрению амазонитовых гранитов предшествовало появление даек плагиогранит-порфиров и диоритовых порфиров.

Еще более сложный минеральный состав установлен Е.И.Доломановой на Ингодинском месторождении, которое отнесено ею к сложной кварц-сульфидной-касситеритовой формации (Доломанова, 1959). Рудные тела располагаются здесь в мелкозернистых гранит-порфирах, содержащих более ранние зоны дорудных грейзенов, и в орго-викованных и грейзенизированных алевролитах и песчаниках, залегающих в экзоконтактах гранитов. Граниты верхнеюрского возраста в контактах имеют фациальные переходы к мелкозернистым гранит-порфирам и кварцевым порфирам. Эти граниты пересекают более древние биотитовые и другие граниты Большой гранитной интрузии

и, в свою очередь, пересекаются порфиритами. Прожилки первой стадии, состоящие из кварца, топаза, турмалина, биотита, альбита, флюорита и арсенопирита, не вызывают существенных изменений во вмещающих породах и, по-видимому, имеют подчиненное распространение (5–10%). Прожилки второй стадии более распространены, сложены в основном микроклин-пертитом, кварцем, мусковитом, флюоритом, вольфрамитом, в небольших количествах здесь присутствуют висмутин, тетрадимит, жадеит и редкие включения золота. Основное значение имеют прожилки третьей стадии, в которых наиболее характерными являются топаз, касситерит, мусковит, арсенопирит, флюорит, вольфрамит. Прожилки четвертой стадии отличаются присутствием большого количества сульфидов: арсенопирита, пирита, сфалерита, халькопирита, иногда сульфидов, иногда пирротина, и значительно более редких: молибденита, висмутина, блеклой руды, станнина, тетрадимита; появляются турмалин, хлорит, сидерит, кальцит. В пятую стадию образуются флюорит-альбитовые прожилки, в шестую – кварцево-флюорит-хлоритовые и в седьмую – прожилки шестоватого кварца. Сопутствующими появлению прожилков процессами гидротермального изменения вмещающих пород является грейзенизация (образование кварцево-топазово-мусковитовых грейзенов), турмалинизация, образование метасоматических сульфидов и флюорита.

Большую насыщенность сульфидами Е.А.Радкевич (1953) отмечает в рудах Сохондинского месторождения. Здесь кристаллические сланцы палеозоя, мезозойские глинистые сланцы и гранитоиды Большой гранитной интрузии перекрываются покровами дацитов. Все эти породы прорваны небольшими трубчатыми телами гранит-порфиров. Главные рудные тела месторождения представлены кварцевыми линзами, образующими дугообразную зону. На контактах с ними плагиопорфиры интенсивно окварцованы. В существенно кварцевых жилах все остальные минералы имеют подчиненное значение, но главными среди них являются касситерит, шеелит, арсенопирит, пирит, мусковит.

Минералообразование здесь происходило в три стадии, среди которых наибольшее распространение имеет минеральная ассоциация первой стадии.

В непосредственной близости от Сохондинского месторождения располагается оловорудное месторождение Букукун, которое, однако, отличается и по составу руд и по геологической обстановке формирования (Тихомиров, Рудакова, 1963). Рудные тела месторождения представлены минерализованными зонами трещиноватости и брекчирования и сопровождаются альбитизацией и грейзенизацией вмещающего штока порфировидных гранитов. Таким образом, оруденение располагается в штоке порфировидных биотитовых гранитов, с которыми оно генетически связывается. Эти граниты, в свою очередь, инъецируют породы Большой гранитной интрузии. После альбитизации и грейзенизации следует стадия появления тонких прожилков кварца с касситеритом, затем отложился безрудный кварц с незначительным количеством альбита, далее после дробления и раскрытия минерализованных трещин стадия появления тонкоиглольчатого

черного турмалина (возможно с сульфидами: арсенопиритом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом и галенитом). Это месторождение по своему минеральному составу близко касситерит-кварцевой формации и появление его вблизи Сохондинского месторождения наглядно показывает, что изменение геологической обстановки в пределах одного рудного района может сопровождаться резким изменением минерального состава, выражающемся в появлении существенно кварцевых и сульфидных руд и возникновении пространственно ассоциирующих месторождений различных рудных формаций (Константинов, 1966).

Еще отчетливее это явление фиксируется на Хапчерангинском рудном поле. Здесь песчано-сланцевая толща прорывается штоком гранит-порфиров, содержащих в эндоконтактах грейзеновые зоны, состоящие из кварца, мусковита, арсенопирита, касситерита. Эти зоны рассекаются сетью мелких и сравнительно редких прожилков с касситеритом и сульфидами – пиритом, сфалеритом.

К югу от массива гранит-порфиров распространена свита сульфидно-касситеритовых жил Хапчеранги: вблизи от штока существенно кварц-пирит-касситеритовых и кварц-арсенопирит-касситеритовых, затем в некотором удалении пирит-пирротиновых и кварц-хлорит-касситеритовых и, наконец, в наибольшем удалении – галенит-сфалеритовых рудных жил.

Эти рудные тела залегают, судя по данным Э.Б.Ляшкевича, над расположенным на значительной глубине интрузивным телом, отделившись от него промежуточком мощностью около 300 м, лишенным рудной минерализации. Намечающееся интрузивное тело постепенно погружается с севера на юг, т.е. в соответствии с той горизонтальной зональностью оруденения, которая устанавливается на месторождении.

Рудные тела, залегающие в верхнепалеозойских песчаннико-сланцевых отложениях, сопровождаются окварцеванием, серицитизацией и хлоритизацией. Известны дорудные дайки лампрофиров и кварцевых порфиров.

По-видимому, наибольшее количество сульфидов характерно для руд Смирновского оловянно-полиметаллического месторождения (Трофимов, Полякова, Малиновский, 1963). Месторождение приурочено к пачке нижнепалеозойских кварцево-биотитовых, кварцево-серицитовых, известковистых, углисто-глинистых и других сланцев, переслаивающихся с мраморизованными доломитами. Последние являются главными рудовмещающими породами. В пределах рудного поля широко распространены дайкообразные тела гранит-порфиров и лампрофиров. Характерные для месторождения трубообразные рудные тела почти целиком состоят из сульфидов: галенита, сфалерита, пирита, а также менее распространенных касситерита, арсенопирита, буланжерита, геокронита и других. Вблизи рудных тел в доломитах широко проявлены окварцевание и перекристаллизация, а в алюмосиликатных породах – серицитизация, хлоритизация, турмалинизация и окварцевание.

Сопоставляя минеральный состав этих месторождений, принадлежащих к различным оловорудным формациям, легко заметить, что

первая стадийная минеральная ассоциация, представленная кварцем, мусковитом, арсенопиритом, касситеритом и иногда пиритом и турмалином, присутствует во всех месторождениях ряда. При этом в типичных касситерит-сульфидных месторождениях роль этой ассоциации становится подчиненной и она представляет собой переходную минеральную группу. В то же время такие сульфиды, как пирротин, галенит, сфалерит и другие, присутствующие в малых количествах, и в различных сочетаниях и потому образующие переходную группу в касситерит-кварцевых месторождениях, в касситерит-сульфидных — имеют главенствующее значение и представляют собой устойчивую минеральную группу, определяющую вещественный облик формации. Эти сульфиды образуются в основной своей массе в более поздние стадии минерализации. Поэтому изучаемый ряд по типу является вертикальным рядом формаций.

Несмотря на внешнее сходство, в первой стадийной минеральной ассоциации касситерит-кварцевых и касситерит-сульфидных месторождений имеются такие различия, которые указывают на вероятные заметные изменения в составе рудообразующих растворов. Это, в частности, можно отчетливо наблюдать на примере поведения элементов-примесей в касситеритах. По мере перехода от касситеритокварцевых месторождений к касситерит-сульфидным, как уже выше упоминалось, примесь тантала в касситерите сменяется примесью индия. Иногда даже в одной стадийной минеральной ассоциации выпадение касситерита с топазом и слюдами или с такими сульфидами, как галенит и сфалерит, определяет различное поведение в нем элементов-примесей (Константинов, 1956; Иванов, 1966).

Сопоставление геологических условий формирования месторождений рассматриваемого ряда рудных формаций позволяет сделать предположение, что изменение их вещественного состава, в частности, изменение количества сульфидов связано с изменением характера ассоциирующих с оруденением интрузий. Небольшие гранитные штоки сопровождаются появлением касситерит-кварцевых месторождений. Увеличение количества сульфидов в рудных телах наблюдается в тех случаях, когда оруденение ассоциирует с гипабиссальными фациями гранитов (Ингодинское месторождение, Сохондо) или в тех случаях, когда оруденение, ассоциирующее с дайками гранитпорфиров и лампрофиров, располагается в кровле интрузии, залегающей на значительной глубине (свыше 1 км). Можно предполагать, что влияние оказывают два различных геологических фактора. В одном случае обогащение рудных тел сульфидами в какой-то мере обусловлено погружением источника рудоносных растворов на большую глубину. В другом, на примере Смирновского месторождения, можно видеть благоприятную роль, которую оказывает наличие карбонатных пачек в составе вмещающих пород на выпадение значительных масс сульфидов.

К близким выводам приходит Г.В.Ишиксон (1965), анализируя изменение форм связи оловянного оруденения с магматизмом в процессе развития позднемезозойского вулканогенного комплекса Малого Хингана. Ею отмечается, что наиболее тесная связь наблюдается

у месторождений деревянистого касситерита, залегающих в телах кварцевых порфиров, являющихся источником рудных дистиллятов. У месторождений переходных касситерит-кварц-сульфидной и касситерит-сульфидной формаций эта связь все более усложняется. Таким образом, в процессе направленного развития вулканогенного комплекса закономерно увеличивается разрыв между собственно магматическими образованиями с сопутствующей им постмагматической минерализацией. Этот разрыв проявляется в усложнении самих форм связи, что получает отражение в закономерном усложнении строения и состава месторождений, т.е. в закономерном увеличении количества минеральных ассоциаций и т.п.

Наконец, для приведенного ряда оловорудных формаций интересны следующие особенности.

1. Усложнение геологических условий, выражающееся в появлении в пределах одного рудного района гранитных штоков в более древних гранитах или песчанико-сланцевых толщах и полей даек, представленных гранит-порфирами, лампрофирами и т.п. которое приводит к появлению и пространственной ассоциации месторождений касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формаций.

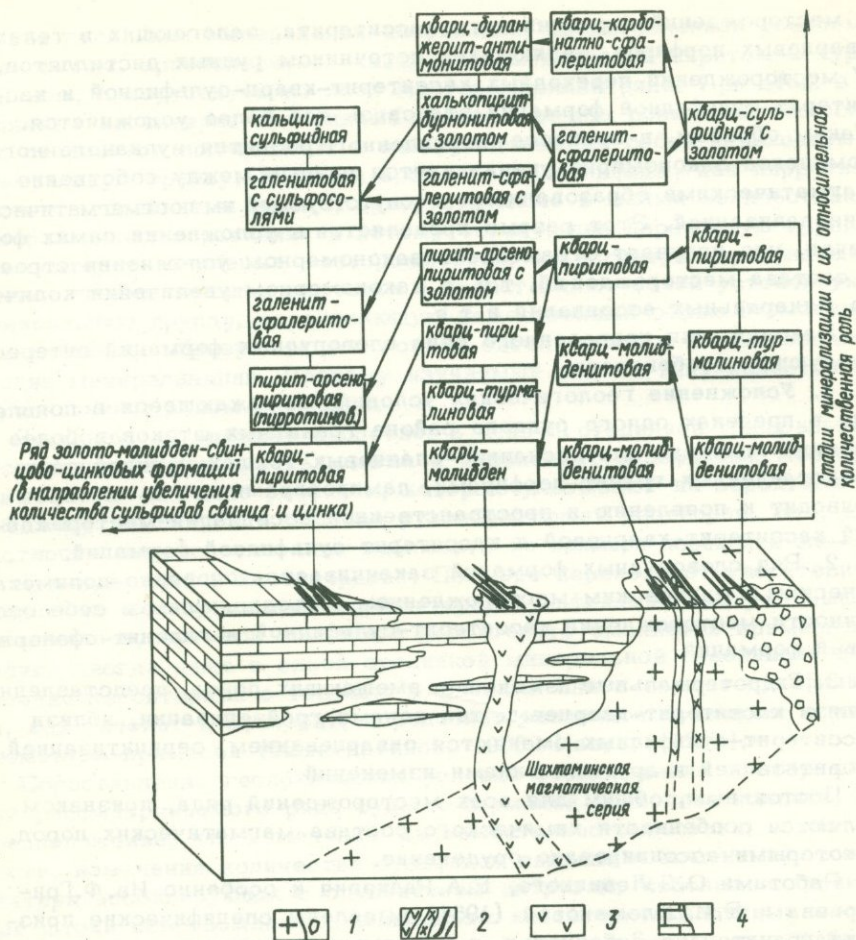
2. Ряд оловорудных формаций заканчивается оловянно-полиметаллическим Смирновским месторождением, объединяющим в себе особенности месторождений касситерит-сульфидной и галенит-сфалеритовой формаций.

3. Гидротермальные изменения вмещающих пород, представленные вблизи касситерит-кварцевых тел зонами грейзенизации, вблизи касситерит-сульфидных сменяются окварцеванием, серицитизацией, хлоритизацией и другими типами изменений.

Постоянным, общим для всех месторождений ряда, признаком являются особенности химического состава магматических пород, с которыми ассоциировано оруденение.

Работами О.Д.Левицкого, Е.А.Радкевич и особенно Ив. Ф.Григорьева и Е.И.Доломановой (1954) выявлены специфические признаки гранитоидов Забайкалья, с которыми ассоциировано оловянное оруденение. Последующими работами И.Н.Томсона, Ю.П.Дежина и др. (1969) было показано, что близкими к ним по петрохимическим особенностям являются распространенные в некоторых районах Забайкалья породы липарит-дацитовый серии. Все они характеризуются пересыщенностью глиноземом, обеднены кальцием и магнием. В составе этих пород постоянно наблюдается преобладание калия над натрием. Другим постоянным признаком является распространенность месторождений среди вмещающих пород кислого алюмосиликатного состава – в толщах песчанико-сланцевых отложений, в гранитоидах. Все эти породы были объединены под названием Кукульбейской магматической серии. Наличие признаков, общих для всех месторождений ряда, с которыми ассоциирует оруденение, позволяет нам считать рассмотренные объекты членами единого генетического ряда оловорудных формаций.

Породы Кукульбейской магматической серии названы так по одному из самых распространенных в Восточном Забайкалье Ку-



Фиг. 7. Схема соотношений стадий минерализации в ряду золото-молибден-свинцово-цинковых формаций.

1 - граниты и гранодиориты Шахтаминской магматической серии и их брекчии; 2 - дайки гранит-порфиров, лампрофиров и рудные тела; 3 - субвулканические тела кварцевых порфиров, гранит-порфиров; 4 - вмещающие породы: песчано-сланцевая толща и известняки

кульбейскому магматическому комплексу, являющемуся составной частью серии. Эти породы в основном среднезернистые биотитовые граниты, иногда порфировидные или пегматоидные, с темным дымчатым кварцем, слагающие значительные по объемам массы, лишь частично выходящие на поверхность. В краевых частях массивов иногда наблюдаются переходы к гранодиоритам, гранодиорит-порфирам, граносиенитам и т.д. В породах комплекса нередко отчетливо про-

явлены мусковитизация и грейзенизация. В качестве аксессуарных минералов для них характерны циркон, флюорит, а также касситерит, вольфрамит. Граниты активно взаимодействуют с вмещающими, как правило, алюмосиликатными толщами, вызывая их перекристаллизацию с образованием биотитовых роговиков, иногда с силлиманитом и андалузитом. В более редких случаях при взаимодействии этих гранитов с карбонатными породами образуются гранит-диопсидовые скарны иногда с заметными концентрациями касситерита, шеелита и редкометалльных минералов. После внедрения крупных тел гранитов дальнейшая эволюция происходила в направлении образования остаточных магм, богатых калием, натрием, фтором и редкими элементами. Кристаллизация этих магм приводила к образованию массивов амазонитовых гранитов и связанных с ними оловянно-вольфрамовых месторождений. Эти граниты являлись как бы фацией биотитовых гранитов, во многом аналогичной пегматитам.

Ряд оловянных месторождений и второй ряд золотых и молибденовых месторождений Забайкалья, который здесь не рассматривается (Константинов, 1965), заканчиваются галенит-сфалеритовыми месторождениями Приаргунья (фиг. 7). Вероятнее всего исчезновение значительной части индивидуальных черт, связанных с различными источниками оруденения среди галенит-сфалеритовых месторождений (конвергенция признаков образования), происходит в результате интенсивного "выравнивающего" воздействия на особенности минерального состава со стороны мощных карбонатных толщ Приаргунья, влиявших непосредственно или через посредство ассимилировавших их магматических масс. Таким образом, анализ рядов оловянных и золотых месторождений Восточного Забайкалья среди прочих выводов приводит к выводу о неоднородности галенит-сфалеритовых месторождений этой области, о конвергенции признаков происхождения этих месторождений.

Интересно, что на разнородность галенит-сфалеритовых месторождений, на различные источники этого оруденения указывают и результаты изотопных исследований рудного свинца из различных месторождений Приаргунья (Томсон и др., 1968) и других районов Восточного Забайкалья. Наличие в Восточном Забайкалье обособленных рядов формаций, вероятно, в первую очередь связано с различиями в составе рудоносных магм. С магматическими породами Кукульбейской серии связаны главным образом члены оловянно-вольфрамовых рядов, с магматическими породами Шахтаминской серии — золотого и молибденового рядов. К близким выводам пришел, в частности, В.Л. Литвинов (1966).

ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ
ПОСТМАГМАТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
В ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ И ПРИМОРЬЕ

Наличие определенных закономерностей в последовательности формирования рудных месторождений в Забайкалье отмечалось многими исследователями. В частности, А.Д.Шеглов (1960) выделял две разновозрастные группы месторождений. К первой группе он отнес последовательно формирующиеся месторождения молибдена и золота, вольфрама и олова. Ко второй группе – месторождения флюорита, эпитеpmальные месторождения золота, сурьмы, ферберита, шеелита, киновари.

Известны исследования В.Н.Козеренко (1963), считавшего, что оруденение в Приаргунье формировалось длительно. Им отмечались кварцево-турмалиновые и кварцевые жилы с убогой оловянной, вольфрамовой, золотой и висмутовой минерализацией, ассоциированные со среднепалеозойскими гранитами, предверхнеюрское и более молодое, преднижнемеловое полиметаллическое оруденение и нижнемеловые флюоритовые месторождения, ртутные и сурьмяные месторождения, ассоциированные с кислыми эффузивами и субвулканическими телами. Нами было отмечено в Восточном Забайкалье наличие рудных районов с длительно формирующимся оруденением и подчеркнуты некоторые геологические особенности этих районов (Константинов, 1962).

В последние годы группой сотрудников ИГЕМ АН СССР в Восточном Забайкалье и значительных масштабах проводились геохронологические исследования с применением калий-аргонового и рубидий-стронциевого метода определений абсолютного возраста, которые позволили уточнить высказанные ранее соображения. В процессе этих исследований было получено большое количество данных, частично уже опубликованных (Томсон и др., 1963, 1964; Комаров и др., 1965; Комаров, Демидова, 1966; Константинов, Томсон, 1965; Константинов, Тананаева, Иванов, 1969; Константинов, Томсон, Полякова, 1970).

Полученные результаты определения абсолютного возраста руд различных месторождений Восточного Забайкалья сведены в табл. 32.

Переходя к анализу полученных результатов, следует напомнить, что большинство магматогенных месторождений этой территории относятся к оловянно-вольфрамовым или золото-молибденовым рядам формаций, и что кварц-касситеритовые и кварц-вольфрамитовые месторождения связаны здесь между собой особенно тесно. Упомянутые ряды рудных формаций ассоциируют с различными сериями магматических пород (Константинов, Томсон, 1965). Поэтому представляется целесообразным рассмотреть сначала данные о возрасте постмагматических образований

Таблица 32

Данные по абсолютному возрасту рудных месторождений Восточного Забайкалья

№ образца		Место взятия пробы	Минерал, по которому определен возраст	Результаты определений			Автор анализа
лабораторный	авторский			К, %	Аг, мг/г	Т (млн.лет)	
1	2	3	4	5	6	7	8
	375-62	Дарасун, турмалиново-слю- дистые метасоматиты	Мусковит	Нет данных		180±10	Г.М.Лобанова
2611	701-П-63	Дарасун, руда	Серицит	7,58±0,05	88,6±1,8	165±7	О.П.Полякова
2077	8-63	Дарасун, серицитизирован- ные вмещающие породы	"	3,68±0,004	43,2±1,2	166±8	"
2312	602	Буглая, полевошпатовые метасоматиты	Калиевый по- левой шпат	9,75±0,07	120,5±2,0	174±7	"
4301	64-183	Жирекен, серицит из кварц- серицитовых прожилков	Серицит	3,06±0,03	34,5±0,03	160±7	В.И.Рехарский
4554	197-64 203-1	Давенда, полевошпатовые метасоматиты	Калиевый по- левой шпат	1,83±0,03 6,00±0,05	21,7±0,4 68,4±1,4	168±10 162±6	Г.А.Тананаева "
4203	68	Давенда, серицит из отно- сительно поздних минераль- ных ассоциаций	Серицит	3,52±0,04		142±7	"
4537	247	Давенда, дорудный кварце- вый порфир, дайки	Калиевый по- левой шпат	3,26±0,04		150±6	"

Таблица 32 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
	11-К-64	Косинское редкометальное месторождение, грейзены, замещающие альбититы	Мусковитоподобная слюда	9,28±0,07	128,7±2,0	194±2,0	Р.М.Константинов
4536	370	Ключевское золоторудное месторождение, березиты	Серицит	11,84±0,1	128,0±2,0	154±5	Г.А.Тананаева
4530	Д-361	Дмитриевское золоторудное месторождение, дорудный лампрофир	По породе	2,60±0,03	27,8±0,6	150±6	Р.М.Константинов
	105	Дедова гора, околожильный грейзен	Мусковит	8,83	73,00	123±3	Р.М.Константинов
1117	159	Ималка, пегматиты	"	8,43		126±3	"
2707	64-К-64	Белуха, грейзен площадной	"	8,00	100,0±1,5	164±8	"
834	2-Б	Белуха, руда	"			131±1	И.З.Самонов
	23-61	Алдакачан, грейзен	"			136±5	Г.М.Лобанова
2	19287	Алдакачан, околорудный грейзен	"			126±5	Р.М.Константинов
3433	35-СК-66	Малый Соктуй, грейзен площадной	Лепидомелан	7,10±0,06	75,0±1,5	150±6	Ю.П.Дежин
4450	178	Букука, кварцево-вольфрамитовые жилы	Мусковит	8,87±0,07	40,7±0,8	141±5	Р.М.Константинов

4994	17-57-64	Букука, площадной кварц-мусковитовый грейзен	"	8,93±0,07		172±8	О.П.Полякова
3399	237-Т-66	Тарбальджейский участок, полевой шпат из полево-шпат-флюоритовых жил	Калиевый полевой шпат	11,56±0,1	157±2,5	190±6	"
3425	242-Т-66	Тарбальджей, грейзены	Мусковит	8,11±0,07	100±2,0	174±6	"
3392	333-Т-66	Тарбальджей, грейзены околожилные (жила Оловянная)	"	8,20±0,07	95,4±2,0	164±6	"
		Былыра, касситеритсодержащие пегматиты	"	7,69	117,0±1,7	209±10	Р.М.Константинов
		Тарбальджей, кварц-полево-шпатовые жилы	Калиевый полевой шпат	12,46±0,1	153±2,4	173±5	"
		Хапчеранга, грейзен				154±7	"
2258	427-62	Хапчеранга, жила Спектральная	"	11,88	124,03±2	148±5	"
3424	55-ШГ-66	Шерловая гора, грейзен	Мусковит	8,56±0,07	88,6±1,8	147±6	О.П.Полякова
3391	72-ШГ-66	Шерловая гора, грейзен	Темная слюда	6,69±0,06	72,4±1,5	154±6	"
2615	72-Т-64	Шерловая гора, участок сопки Большой, гидротермально измеренный кварцевый порфир Спокойненское, кварц-мусковитовый грейзен	Мусковит			147±5	Н.Г.Демидова
		Спокойненское, кварц-вольфрамитовые жилы	"	9,00	84,60	134±5	В.В.Дистлер
	3-63	Зун-Ундур, грейзен	"	8,49	85,4	144±5	Н.Г.Демидова
	146	Малый Ангатуй, околожилный грейзен	"	8,79	47,2	135±5	Р.М.Константинов

Таблица 32 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
		Этыка, грейзен	"	Нет данных		131±5	"
		Этыка, грейзен	"	"	"	140±7	"
	015-Ц	Этыка, кварц-амазонитовая жила	По циннвальдиту	"	"	130±5	"
	3-17	Этыка, жильный циннвальдитовый грейзен	Циннвальдит	"	"	128±5	П.В.Комаров
	12552	Ононское месторождение, околорудный грейзен	Мусковит	"	"	140±5	Р.М.Константинов
	173	Зун-Чолотый, пегматит	"	8,54	Нет данных	120±5	"
3424	112-АЧ-66	Адун-Челон, пегматит	Биотит	6,63±0,06	70,5±1,4	150±6	О.П.Полякова
	192-К-64	Завитая, редкометальный пегматит	Мусковит	7,98±0,06	77,0±1,5	138±7	Р.М.Константинов
4821	1030-УШ	Будюмканское месторождение, кварц-полевошпатовые жилы с касситеритом	Калиевый полевой шпат	12,0±1,0	121,5±2,0	144±5	О.П.Полякова
4993	60-3-68	Зун-Ундур, рудная жила	Калиевый полевой шпат	11,32	124±2,0	155±8	О.П.Полякова
	П-Ш-1	Шехтама, слюдистые метасоматиты	Серицит			168±8	"

4619	129-Ш-67	Шахтама, поздние галенит-и сфалеритсодержащие ассоциации	"	7,03±0,06	86,4±1,8	173±4	"
	П-Ш-1	Шахтама, биотитизированные жилы	Биотит	Нет данных		168±8	"
2446	319-61	Бугдая, полевошпатовые метасоматиты	Калиевый полевой шпат	9,75±0,07	120,5±2,0	174±7	"
	327-60	Кудикан, грейзен слюдястый	Мусковит	Нет данных		154±7	"
	323-60	Кудикан, грейзен-мусков.	"	"	"	151±5	"
	208-1961	Казаковское месторождение	Серицит	"	"	146±8	И. Н. Томсон
4326	244-К-64	Козловское месторождение, золото-галенит-сфалеритовая формация	"	6,57		150±6	О. П. Полякова
3631	П-Т-66	Средне-Голготайское месторождение, серицит из околорудных зон	"	6,00±0,05	64,4±1,3	152±6	И. Н. Томсон
3630	21-Т-66	Фатимовское месторождение, серицит из околорудных зон	"	2,00±0,03	22,3±0,5	157±9	"
		Балей, адуляр из продуктивных ассоциаций	Адуляр	Нет данных		125	М. Г. Андреева
2449	420-63	Ново-Широкинское месторождение, галенит-сфалеритовая руда	Калийсодержащая слюдка	0,70±0,02	6,8±0,4	136±15	О. П. Полякова
3398	43-Ж-66	Третье Жебокшинское флюоритовое месторождение (район Жетки)	Адуляр	9,67±0,1	86,0±1,8	127±5	"

Таблица 32 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
4379	4600	Булугинское месторождение, Мусковит редкометалльно-слюдисто- флюоритовая формация		8,92±0,07	78,5±1,6	125±5	А.Д.Сергеев
4378	1810	Аркия, грейзен	Слюда	4,86±0,09	56,0±1,2	164±6	"
	374-60	Серебрянское месторождение, Серицит серицит из рудных зон		Нет данных		195±5	О.П.Полякова
		Савинский участок, скарны	Флогопит	"	"	162±10	П.В.Комаров
4998	189-СМ-51	Смирновское месторождение, лампрофир	Флогопит по породе	3,54±0,04	36,3±0,8	162±10 145±8	П.В.Комаров О.П.Полякова
4997	78-7В-61	Газимуро-Воскресенское месторождение предрудный лампрофир, дайка	"	4,15±0,04	39,6±0,8	136±8	"
4996	388- K03-60	Козулинское полиметаллическое месторождение, рудовмещающий гидротермально измененный порфирит	"	1,83±0,03	19,3±0,6	149±10	"
	133-61	Чупино, апокарбонатные грейзены, слюда	Мусковит	Нет данных		180±10	О.П.Полякова
		Каменское, скарны	Флогопит	"	"	148±8	П.В.Комаров
		Горсонуйский участок, скарны	"	"	"	148±8	"

		Каменское месторождение, полевошпатово-галенитовые прожилки	Полевой шпат	"	"	126 ⁺ ₇	"
4325	348-П-64	Партейский участок Алгачинского рудного поля, скарны	Флогопит	"	"	136 ⁺ ₅	О.П.Полякова
4324	308-А-64	Алгачинское месторождение, рудные жилы	Биотит	Нет данных		126 [±] ₆	О.П.Полякова
		Газимуро-Воскресенское месторождение, Яковлевское, Кулаковское	Рудные тела этих месторождений залегают в эффузивах с абсолютным возрастом 136 млн. лет				Использованы материалы Ю.П.Дежина по абсолютному возрасту рудовмещающих эффузивов
3595	117-Я-51	Яковлевское месторождение, предрудный лампрофир, дайка	По породе	2,58 [±] _{0,03}	25,4 [±] _{0,5}	140 [±] ₆	О.П.Полякова
4215	79-Б-66	Екатерино-Благодатское месторождение, дорудная порфировая дайка	"	2,57 [±] _{0,03}	27,2 [±] _{0,6}	150 [±] ₆	"
	1181-55	Кадая, дайка, послерудный лампрофир	Биотит	Нет данных		147 [±] ₆	"
2612	18-К-61	Кадая, послерудный лампрофир	По породе	"	"	145 [±] ₈	"
	254-П-55	Кадая, скарны	Флогопит	"	"	153 [±] ₉	"

Таблица 32 (окончание)

1	2	3		5	6	7	8
3530	Зв-1133/62 119-60	Звериное, скарны Медный чайник, скарны	Биотит Флогопит	$7,25 \pm 0,06$	$65,6 \pm 1,4$	130 ± 5 142 ± 6	Р.М.Константинов И.Н.Томсон
4751	450-БД	Будюмжанское месторожде- ние, кварц-полевошпатовые жилы с касситеритом	Калиевый по- левой шпат	$12,0 \pm 1,0$	$121,5 \pm 2,0$	144 ± 5	О.П.Полякова
4995	1-Л-68	Листвянское месторождение флюорита	Адуляр	$12,12 \pm 0,10$	$116 \pm 2,0$	135 ± 8	"
4962	1-А-68	Абагайтуй, флюоритовое месторождение	"	$12,07 \pm 0,10$	$99,0 \pm 2,0$	117 ± 5	"
		Солнечное флюоритовое мес- торождение, дорудные пор- фириты	По породе	Нет данных		135 ± 8	Г.Н.Комарова
		Солнечное флюоритовое мес- торождение, кварц-адуляровая минеральная ассоциация	Адуляр	Нет данных		116 ± 3 134 ± 6	Г.Н.Комарова
		То же	"	"	"	121 ± 5	Ю.П.Дорошенко

Восточного Забайкалья, рассмотрев их сначала для районов с золотым и молибденовым оруденением, затем — в районах с оловянным и вольфрамовым и, наконец, в районах с месторождениями галенит-сфалеритовой формации.

Возраст постмагматической минерализации в районах с золотым и молибденовым оруденением

Абсолютный возраст различных постмагматических проявлений золото-молибденового пояса детально изучался на Давендинском и Ключевском месторождениях (Константинов, Тананаева, Иванов, 1969).

Результаты определения абсолютного возраста калий-аргоновым методом для пород и руд Давендинского и Ключевского месторождений, так же как и некоторых других месторождений этой части Восточного Забайкалья, приведены в табл. 31.

Из таблицы видно, что наиболее древним проявлением постмагматической минерализации в районе является Косинское редкометальное месторождение, относящееся по времени возникновения к раннему мезозою.

Начало формирования "рудной серии", включающей молибденовую и золотую минерализацию, совпадает с периодом внедрения гранитов аманского комплекса (170 ± 6 млн. лет). Полученные результаты свидетельствуют также и о том, что процессы образования рудной минерализации на Давендинском месторождении развивались более длительно (от 168 ± 10 до 142 ± 7 млн. лет) и закончились позднее, чем на Ключевском месторождении, так как возраст серицита из березитов, образовавшихся в контактах кварц-сульфидно-полиметаллических золотосодержащих жил Ключевского месторождения, составляет 154 ± 5 . Процессы формирования этих двух месторождений частично перекрывались во времени, как это и предполагалось Н.В.Петровской (1956).

Таким образом, возникновение постмагматической минерализации Давендинского и Ключевского месторождений захватывает период верхней юры. Однако результаты определения возраста других месторождений золото-молибденового пояса показывают, что они могут быть и более древними. В частности, серицит и калиевый полевой шпат Жирекенского молибденового месторождения образовался 160 ± 7 и 164 ± 7 млн. лет назад, т.е. возраст их относится к средней юре и сопоставим с возрастом калиевого полевого шпата из пегматитовых шпиров района Давендинского месторождения.

Можно предполагать, что образование молибденовых руд Жирекенского месторождения произошло в более ранний этап минерализации.

В связи с этим закономерен вывод о том, что образование золотого и молибденового оруденения в северо-восточной части Восточного Забайкалья могло быть разновременным в разных геологических блоках. Рассматривая в целом период формирования "рудной серии" для этого района, можно на основании изложенных данных заключить, что он охватывал отрезок времени от средней до конца верхней юры.

К близким выводам о последовательности образования различных рудных формаций в этом районе приходит Е.М.Лейфман (1967). Он

считает, что здесь среднетемпературное золотое и молибденовое оруденения образовались в верхней юре, а в нижнем мелу формировалось низкотемпературное сурьмяно-ртутно-золотое оруденение.

Ю.В.Онищук и Т.Б.Колосова (1966) описали в Усть-Карском районе новый тип золотого оруденения – золотоносные магнетитовые жильные тела, залегающие среди варисских гранодиоритов, содержащих многочисленные ксенолиты диоритов, габбро-диоритов и т.п. Дайки разнообразных изверженных пород, относимые по возрасту к началу верхней юры, пересекаются магнетитовыми рудными телами. Магнетитовые жилы образуются как в результате выполнения открытых трещин, так и в процессах метасоматического замещения гранодиоритов. Рудные тела характеризуются частым выклиниванием, раздувами, разветвлениями и переходами в штокверковые зоны.

Главными рудными минералами являются магнетит, гематит, мартит, висутиин, золото. Реже встречаются халькопирит, тетрадимит, арсенопирит, пирит, шеелит, очень редко, в виде единичных зерен – марказит, ильменит, вольфрамит, галенит, сфалерит, блеклая руда, самородный висмут, козалин (?), пирротин, окислы марганца – якобит, браунит-манганит, кобальтин. Жильные минералы представлены главным образом кварцем, актинолитом, турмалином. Довольно часты полевые шпаты. Реже в составе руд устанавливаются хлорит, биотит, эпидот, роговая обманка. Текстуры руд в жилах выполнения массивные и брекчиевые, в метасоматических жилах – пятнистые, брекчиевидные-вкрапленные, полосчатые. Околорудные изменения проявились в образовании окварцованных, актинолитизированных, серицитизированных и хлоритизированных зон.

Ю.В.Онищук и Т.Б.Колосова не приводят определенных данных о взаимоотношении золото-магнетитового оруденения с другими типами месторождений этого района, отмечая лишь более молодой возраст по отношению к кварцево-турмалиновым жилам этого района.

Наши наблюдения на других золотых и молибденовых месторождениях Забайкалья, где описанные руды присутствуют в виде стадийной минеральной ассоциации, позволяют считать, что магнетитовые руды непосредственно предшествуют по времени образования золото-кварцево-сульфидным рудам, распространенным на Ключевском, Пильненском, Дарасунском и некоторых других месторождениях и следуют после образования кварцево-молибденитовых жил.

В других районах Забайкалья с золотом и молибденовым оруденением наиболее древними оказываются околорудные метасоматиты и руды золото-полиметаллического месторождения Дарасун (турмалиново-слюдястые метасоматиты 180 ± 10 млн. лет; серицит из рудных тел 165 ± 7 млн. лет). Для околорудных метасоматитов и руд молибденит-галенит-сфалеритового Шахтаминского месторождения, имеющих возраст около 165 млн. лет, характерно, что имеющиеся анализы не показывают одно и то же время их формирования. К этому же периоду относятся и калишпатовые метасоматиты Бугдаинского молибденового месторождения (171 ± 7 млн. лет). В тех областях золото-молибденового пояса, где в результате контактово-метасоматических процессов образовались скарны с наложенной золото-сульфидной минерализацией, последние, по-видимому, являются наиболее ранними членами рудной серии.

Более молодыми в рассматриваемой группе месторождений являются месторождения золото-кварцево- и золото-галенит-сфалеритовой формаций (155-145 млн. лет) - Козловское, Средне-Голготайское, Казаковское, Фатимовское и другие.

Определения абсолютного возраста позволяют считать, что наиболее молодым членом этой серии является Балейское золото-халцедон-адуляровое месторождение (125 млн. лет). Есть основания предполагать, что близки к нему по возрасту и по генетическому положению многочисленные ртутные, сурьмяные и ферберит-антимонит-киноварные проявления, распространенные в рудных районах с золотой и молибденовой минерализацией, в частности, отмечавшиеся Д.А.Тимофеевским для Дарасунского рудного поля (1962). Нами ранее были рассмотрены особенности магматизма и металлогении этих районов, а также распространение эпитермального золотого оруденения в других рудных районах Тихоокеанского пояса (Константинов, Томсон, 1966). В результате был сделан вывод о том, что для Восточного Забайкалья представляется вполне закономерной возможность появления крупных месторождений золота в районах, где развиты малые интрузии и эффузивы Шахтаминской магматической серии: интрузивы диоритового и гранодиоритового состава, средне-верхнеюрские эффузивы преимущественно андезитового состава с преобладанием в породах натрия над калием, значительными концентрациями железа и магния. Было также высказано предположение, что в ассоциации с полями нижнемеловых эффузивов в Восточном Забайкалье могут быть установлены и другие эпитермальные рудные формации: флюорит-редкометальная, золото-теллуридная, связанные с зонами пропилитизации, адуляризации и со вторичными кварцитами.

К близким выводам пришла и Н.А.Фогельман (1966), которая считает, что в Восточном Забайкалье месторождения молибдена и золота ассоциируют с мезозойскими гранитоидами, их гипабиссальными и субвулканическими фациями; с нижнемеловыми субвулканическими субчелочными интрузиями - флюоритовые месторождения, с нижнемеловыми экстрезивно-эксплозивными трахилипаритами - эпитермальные золотые месторождения балейского типа, а также проявления сурьмы и ртути. Как особый тип золотого оруденения, связанный с подземной сольфатарно-фумарольной деятельностью и вадозными водами, Н.А.Фогельман (1966) выделяет Илинское месторождение.

Для сравнения с другими золотоносными регионами упомянем работы В.С.Когана (1968), который для золотого оруденения области Станового хребта также выделяет ранний, юрский этап с образованием слабо золотоносных кварцево-полевошпатовых жил с молибденитом, связанных с крупными интрузиями гранодиоритов; к нижнемеловому этапу относятся малосульфидные золотоносные кварцевые жилы, штокверковые зоны, кварцево-сульфидные жилы и оруденелые брекчии, а также вкрапленно-прожилковая сульфидная минерализация. Эти проявления пространственно и структурно связаны с комплексом нижнемеловых гипабиссальных субвулканических и эффузивных образований; к верхнемеловому этапу относится формирование близповерхностных халцедоновидных жил и окварцованных тектонических брекчий, связанных с верхнемеловыми вулканическими породами.

Т.А.Югай (1967) сообщает, что в Нижнем Приамурье устанавливаются золоторудные проявления двух возрастов. Первые представлены малосульфидными кварцевыми жилами и залежами метасоматического кварца в тектонических зонах и сбросах среди туфов и лав андезитов, дацитов, базальтов. Рудные тела сложены кварцем, адуляром, серицитом и гидрослюдами. Из рудных минералов установлены пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, марказит, шеелит, браунит, самородное серебро и золото. Проба золота – 780 (месторождение Многовершинное). Абсолютный возраст этих проявлений, определенный по серицитам и адуляру, 62–49 млн. лет.

Рудопроявления второй группы (месторождение Белая Гора и др.) приурочены к экструзиям и неккам олигоценовых липаритов, дацитов. Рудные тела имеют форму штокверков и сложены кварцем, реже адуляром, галлуазитом, гидрослюдой. Из рудных минералов присутствуют пирит, реже арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, касситерит, деревянистое олово, киноварь. Пробность золота от 630 до 670. Абсолютный возраст (по адуляру из зон околожилных измененных пород) – 40 млн. лет. Следовательно, первые рудопроявления относятся к палеоцену, вторые – к олигоцену. Смена типов оруденения во времени и здесь напоминает ту, которая характерна для Восточного Забайкалья.

Н.А.Шило, Ю.А.Загрузина (1965) отмечает позднемезозойское золотое и кайнозойское золото–серебряное оруденение в пределах Восточной Чукотки. Последующие определения абсолютного возраста (Шило, Сидоров, 1967) позволили установить палеогеновый возраст более молодого золото–серебряного оруденения.

Таким образом, во многих рудных районах Востока СССР, где образование золотых месторождений происходило в несколько этапов минерализации, так же как в Восточном Забайкалье, отмечается смена золото–кварцевых и золото–сульфидных месторождений более молодым золото–серебряным оруденением, т.е. золоторудные месторождения формаций больших и средних глубин сменяются месторождениями формаций малых глубин.

Возраст постмагматической минерализации в районах с оловянным и вольфрамовым оруденением

В формировании постмагматической минерализации в районах с оловянным и вольфрамовым оруденением устанавливаются три этапа формирования. Первый, наиболее ранний этап, проявлен на Тарбальджейском месторождении, где мусковитовые грейзены имеют возраст 174–164 млн. лет. Эти грейзены сопровождают появление кварц–касситерит–сульфидного штокверка Тарбальджей, расположенного в зоне мощного глубинного разлома. По возрасту к ним приближаются грейзены в эндоконтакте гранит–порфиров Халчерангского штока (170 ± 7 млн. лет), площадные грейзены в порфировидных гранитах Белухи (164 ± 8 млн. лет), и, по данным П.В.Комарова, грейзены Аркинского месторождения.

Таким образом, все образования первого этапа постмагматической минерализации в олово–вольфрамовых рудных районах имеют возраст

174-164 млн. лет и представлены грейзенами, обычно образующими тела в экзо- и эндоконтактах гранитов. Однако в некоторых случаях видимая связь между полями грейзенов или близких к ним по составу роговиков и гранитных интрузивов отсутствует, в других можно предполагать образование этих грейзенов до затвердевания гранитного интрузивного тела (Этыкинское рудное поле). Пример Тарбальджейского месторождения показывает, что в этот этап могут формироваться штокверковые месторождения сложной кварц-касситерит-сульфидной формации.

Второй этап также представлен грейзенами, формирующимися внутри рудоносных гранитов, или в экзоконтактах, но в некоторых случаях удается доказать, что сами эти граниты принадлежат к более поздней фазе внедрения (Левицкий и др., 1961). Грейзены этого этапа формировались в пределах 160-140 млн. лет. К ним относятся жильные мусковитовые грейзены редкометалльно-вольфрамитового месторождения Шерловой Горы (154 ± 6 ; 147 ± 7); измененные кварцевые порфиры из сульфидно-касситеритового штокверка сопки Большой (143 ± 7), мусковитовые грейзены в гранитах Слокойненского кварц-вольфрамитового месторождения (147 ± 5 млн. лет, данные В.В. Дистлера), грейзены в гранитах Зун-Ундурского оловянно-вольфрамового месторождения, площадные мусковитовые грейзены в порфировидных гранитах кварц-вольфрамитового месторождения Малый Соктуй (144 ± 6 млн. лет), по данным П.В. Комарова, топазово-слюдяные грейзены в экзоконтактах этыкинских амазонитовых гранитов (157 ± 7 ; 148 ± 5 млн. лет).

Пересечения кварцево-вольфрамитовых жил Юрского месторождения Этыкинскими амазонитовыми гранитами (Левицкий и др., 1961) показывает, что часть кварц-вольфрамитовых месторождений могла формироваться раньше внедрения второй фазы Кукульбейских гранитов. Следует отметить, что вольфрамовые месторождения этого периода имеют форму штокверков в осадочных породах и сопровождаются широкими ореолами ороговикования. Таким образом, характер вольфрамовой минерализации в этот период сходен с площадными грейзенами первого этапа. Постмагматические образования этого этапа могут нести вольфрамово-редкометалльное или оловянно-редкометалльное или, наконец, в субвулканических породах - сульфидно-касситеритовое оруденение.

Последний, третий этап, характеризуется появлением жильного кварц-касситеритового и кварц-вольфрамитового оруденения в интервале 140-120 млн. лет.

Проявления этого этапа синхронны в различной геолого-структурной обстановке и в пределах Агинского палеозойского поднятия (Спокойненское кварц-вольфрамитовое месторождение) и в зонах глубинных разломов, окаймляющих это поднятие (Ононское кварц-касситеритовое, Дедовогорское кварц-вольфрамитовое, Ималкинское пегматитовое месторождения) и в зоне мезозойской складчатости (Белухинское кварц-вольфрамитовое, Алдакачанское кварц-вольфрамитовое, Этыкинские кварц-касситеритовые месторождения). Близкими по возрасту оказываются в этих районах и флюоритовые проявления минерализации (Третье Жёпкошинское флюоритовое месторождение, 126 ± 5 млн. лет). Таким образом, данные абсолютной геохронологии для месторождений в районах с оловянно-вольфрамовыми месторождениями позволяют наметить следующую

серию: грейзены и штокверки кварц-касситерит-сульфидного, кварц-вольфрамитового состава, залегающие в эндоконтактах гранитоидов первой интрузивной фазы (первый этап рудообразования); грейзены и штокверки кварц-вольфрамит-редкометалльного, кварц-сульфидно-касситеритового состава, связанные или с поздней фазой гранитоидов или с кислыми субвулканическими или гипабиссальными телами (второй этап рудообразования); кварц-касситеритовые жилы, сульфидно-касситеритовые жилы, тесно ассоциирующие с дайками гранит-порфиров и лампрофиров, и, вероятно, наиболее поздние ферберит-антимонит-киноварные месторождения и рудопоявления (третий этап рудообразования). Последние были детально исследованы А.Д.Щегловым (1959), который установил, что в этих месторождениях наиболее ранней является антимонитовая стадия, затем следует ферберитовая и, наконец, киноварная. Он допускал, что возможен даже третичный возраст этих месторождений (Щеглов, 1958).

Закономерная последовательность образования различных оловорудных формаций выдерживается и на отдельных рудных полях. Это было показано М.Г.Петровой (Аристов и др., 1969) на примере Шерловогорского рудного поля (табл. 33). По их данным здесь в первый этап минерализации, после формирования пород главной интрузивной фазы в протектонических трещинах порфировидных и крупнозернистых гранитов и в контактовых роговиках, расположенных над куполовидными выступами гранитов, образуются прожилки кварца, топаза, с ферберитом и др., сопровождающиеся топазово-мусковитовыми грейзенами.

Далее следует внедрение интрузивных пород второй фазы - гранит-порфиров - и в экзоконтактовых роговиках и эндоконтактах гранитного интрузива появляются берилл-ферберит-сидерофиллитовые, висмутин-арсенопирит-флюоритовые и кварц-топаз-касситеритовые прожилки и жилы, сопровождающиеся топаз-сидерофиллитовыми грейзенами. Затем, после внедрения кварцевых порфиров и гранит-порфиров следуют еще два этапа минерализации: третий, в течение которого в восточной контактовой области образуются кварц-турмалин-касситеритовые жилы с арсенопиритом в сопровождении турмалинсодержащих грейзенов, и четвертый, когда в кварцевых порфирах сопки Большой, измененных и превращенных в хлоритово-серицитовые породы с флюоритом, появились касситерит-сульфидные тела с галенитом, станнином, блеклыми рудами.

Таким образом, в том районе отмечается смена во времени грейзенов рудопоявлениями, близкими к типу оловоносных грейзенов, а после внедрения дополнительных интрузий появляются рудные тела сульфидно-касситеритовой формации (по Е.И.Доломановой, они принадлежат к переходной кварц-сульфидно-касситеритовой формации).

Установленное М.Г.Петровой по геологическим данным чередование рудных формаций подтверждает охарактеризованный выше порядок образования различных оловорудных формаций, основанный главным образом на данных абсолютной геохронологии.

Постмагматические минеральные ассоциации Шерлогогорского гранитного интрузива (по М.Г. Петровой)

Этапы и стадии минерализации

	1	II			III			IV					
Минерал	После внедрения крупнозернистых гранитов и порфировидных гранитов (собственно интрузивные фазы и дополнительные интрузии)	После внедрения аплитов и гранит-порфиров (жильной фазы первой генерации)			После внедрения кварцевых порфиров и микро-гранит порфиров (жильной фазы второй генерации)			После внедрения кварцевых порфиров и микро-гранит-порфиров (жильной фазы второй генерации)					
	Стадии												
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3а
	неполного выщелачивания	выщелачивания	сопряженого осажждения	неполного выщелачивания	выщелачивания	сопряженого осажждения	неполного выщелачивания	выщелачивания	сопряженого осажждения	неполного выщелачивания	выщелачивания	сопряженого осажждения	осаждение
Плагиоклаз	—			—			—			—			
Альбит	—			—			—			—			
Микроклин	—			—			—			—			
Биотит	—			—			—			—			
Кварц		—	—		—	—		—	—		—	—	—
Мусковит		—	—		—	—		—	—		—	—	
Лепидомелан		—	—		—	—		—	—		—	—	
Циркон	—	—		—	—		—	—		—	—		
Монацит	—	—		—	—		—	—		—	—		
Рутил		—	—		—	—		—	—		—	—	
Топаз		—	—		—	—		—	—		—	—	
Ферберит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Молибденит		—	—		—	—		—	—		—	—	
Сидерофиллит		—	—	—	—	—		—	—		—	—	
Флюорит		—	—		—	—		—	—		—	—	
Берилл		—	—		—	—		—	—		—	—	
Арсенопирит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Золото						—			—			—	
Висмут						—			—			—	
Касситерит				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Турмалин						—	—	—	—	—	—	—	
Хлорит						—			—	—	—	—	
Эпидот						—			—	—	—	—	
Пирротин						—		—	—	—	—	—	
Пирит						—		—	—	—	—	—	—
Халькопирит						—		—	—			—	—
Сфалерит						—		—	—			—	—
Галеновисмутит						—		—	—			—	—
Станнин									—			—	—
Блеклая руда									—			—	—
Серебро									—			—	—
Галенит									—			—	—
Сидерит									—			—	—
Кальцит					—	—			—			—	—
Анкерит									—			—	—
Доломит									—			—	—
Антимонит									—			—	—
Шабозит									—			—	—
Стильбит									—			—	—
Натролит									—			—	—

Возраст постмагматической минерализации в районах
со свинцово-цинковой минерализацией

Последние данные определений абсолютного возраста, выполненных калий-аргоновым и свинцово-изотопным методами, позволяют утверждать, что возникновение свинцово-цинковых месторождений на территории Приаргунья не было одновременным. По-видимому, некоторые из них, судя по возрасту скарнов, дорудных и послерудных порфиров Кадаинского месторождения, образовались в период времени от 155 до 145 млн. лет, другие же формировались в интервале от 135 до 125 млн. лет. Вероятно, эта разница во времени связана с геологическим положением соответствующих месторождений. Более молодые месторождения оказываются, в частности, расположенными внутри мощной ослабленной зоны, прослеживающейся от Кличкинского рудного района до Алгачинской группы месторождений. Данные о разных возрастах месторождений Приаргунья согласуются с представлениями о разнородности полиметаллических месторождений этой территории, что было установлено путем анализа рядов рудных формаций и изотопных исследований рудного свинца. Однако, как показывают исследования отдельных рудных районов, определенная последовательность рудных формаций остается неизменной независимо от их абсолютного возраста.

Соотношения различных проявлений гипогенной минерализации в Кличкинском рудном поле Приаргунья были детально изучены В.В. Архангельской (1962), а затем П.В. Комаровым, Г.Н. Комаровой и другими (1965). Полученные данные показывают, что процессы постмагматической минерализации начинались здесь с образования скарнов. Появление скарнов происходило в несколько этапов минерализации, в свою очередь связанных с несколькими различными фазами внедрения магмы. Наиболее древними оказываются скарны, имеющие возраст 267 ± 10 млн. лет, далее следуют скарны с возрастом 222 ± 9 млн. лет, и, наконец, скарны, имеющие возраст 156 – 162 млн. лет.

Следующим этапом является образование апокарбонатных и апогранитных грейзенов Гарсонуйского и Каменского месторождений, имеющих возраст 148 ± 8 – 140 ± 6 млн. лет. Далее следует формирование свинцово-цинковых руд, которые накладываются на грейзенизированные породы, замещая их. Таким образом, возраст этих руд моложе – 148 ± 8 – 140 ± 6 млн. лет. Возраст даек порфиров, образовавшихся после свинцово-цинкового оруденения, определяется здесь промежутком 140 ± 6 – 128 ± 6 млн. лет. Следующим этапом является формирование антимонитовых и барит-флюоритовых прожилков Екатерининского рудопроявления, которые моложе вмещающих эти проявления ортофиров (138 ± 7 млн. лет), и флюоритовых проявлений, более молодых, чем дайки порфиров (128 ± 6 млн. лет). Для другого района Приаргунья Г.Н. Комаровой (1963, 1969) было установлено, что возраст флюоритового месторождения Солнечное 116 ± 3 млн. лет.

Таким образом, в Кличкинском рудном районе определенно намечается рудная серия, состоявшая из последовательно сменяющихся скарнов; апокарбонатных и апогранитных грейзенов; свинцово-цинковых месторождений; антимонитовых, флюоритовых, баритовых рудопроявлений.

По-видимому, сходным с Кличкинским районом является Култуминский район Приаргунья. Здесь возраст скарнов в пади Звериной $156 \pm ?$, а возраст апокарбонатных грейзенов пади Булугье — 125 ± 5 млн. лет. Более молодым является оловянно-полиметаллическое оруденение пади Покая и другие галенит-сфалеритовые проявления и, наконец, секущие все остальные образования жилы, содержащие флюорит и кальцит. К аналогичным выводам на основании изучения Култуминского рудного района пришел А. Д. Сергеев (1967), который считает, что свинцово-цинковое, вольфрамовое и редкометальное оруденение Приаргунья принадлежат к одной рудной серии, объединенной общностью источников оруденения, и образовались на завершающих этапах развития структуры рудного поля. Однако во взглядах А. Д. Сергеева имеются и существенные отличия. Так, он считает, что перечисленные месторождения образовались в послевержнеюрское время, в то время как из приведенных данных следует, что период их формирования был длительным и захватывал всю верхнюю юру и нижний мел. Подобные же соотношения известны и в Шилкинско-Заводском рудном районе. Здесь галенит-сфалеритовое оруденение накладывается на магнезиальные, в значительной степени измененные скарны. Проявления галенит-сфалеритовой минерализации в свою очередь пересекаются кальцит-флюоритовыми прожилками. Однако в других районах возраст свинцово-цинкового оруденения можно предполагать более древним. Основанием этого служат данные определения возраста свинцово-цинковых руд Кадаинского месторождения по возрасту дорудных и послерудных порфиритовых даек. Эти определения дают возраст оруденения 147 — 146 млн. лет.

Следует отметить, что ассоциация скарнов и свинцово-цинковых руд в пределах одних и тех же рудных полей вообще характерна для Приаргунья. Наличие скарнов отмечается, в частности, в пределах рудного поля Покровского месторождения (Читаева, 1962), Кадаинского месторождения (Полякова, 1963; Филатов, 1967), Нерчинско-Заводского (Образцова, 1962; Кулагашев, 1965) и в других районах. Часть этих скарнов, по-видимому, является палеозойскими, тем не менее закономерной является ассоциация скарнов и свинцово-цинковых руд и более поздних низкотемпературных проявлений минерализации. К последним принадлежит барит-антимонит-кварцевая рудная минерализация, широкое распространение которой в Приаргунье было отмечено В. Н. Куземко (1967). По В. Н. Куземко, барит-антимонит-кварцевая минерализация представляет собой заключительную стадию полиметаллического рудного процесса и может присутствовать в свинцово-цинковых рудах в тесной ассоциации с другими рудными минералами (месторождения Кадаинское, Сурьмяное, Чашино 1, Старо-Зерентуйское, Ртутный Ильдикан), а также в виде поздней минеральной ассоциации, секущей более ранние скопления рудных минералов (Михайловское, Ивановское, Центральное, Екатерино-Благodatское и другие месторождения), или образовывать удаленные пространственно от свинцово-цинковых рудных тел самостоятельные минеральные скопления (северная часть Михайловского рудного поля и др.).

Возрастные взаимоотношения флюоритовой и барит-антимонито-кварцевой минерализации не ясны. Некоторые данные (Иванова, 1965) позво-

ляют считать, что они формировались одновременно, но в различных геолого-структурных условиях.

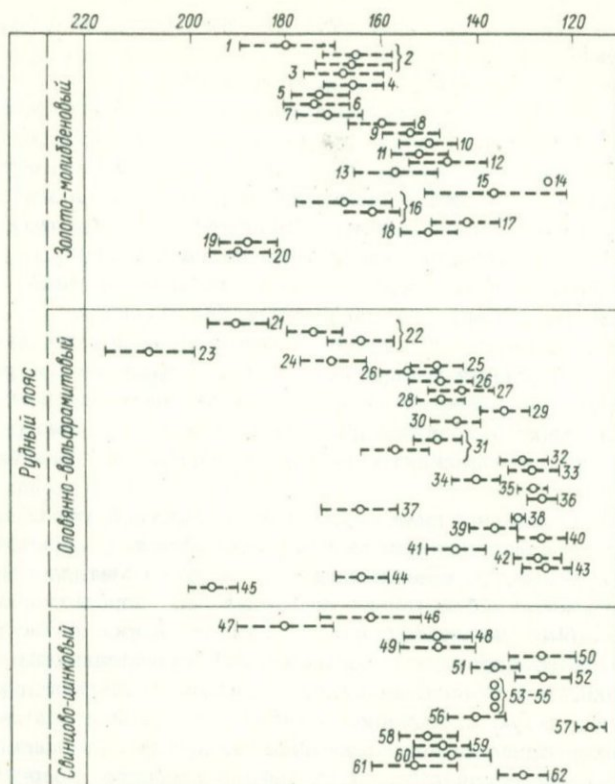
Не вполне ясным остается также вопрос о возрастном положении молибденовой минерализации и ее соотношениях с грейзенами в рудных районах с преобладанием месторождений галенит-сфалеритовой формации. Эта минерализация отмечается, в частности, в Кадаинском рудном районе, где молибденовые проявления локализуются в зонах магнезиальных скарнов и кальциево-магнезиальных силикатных роговиков, которые находятся в непосредственной близости со свинцово-цинковыми месторождениями и тяготеют к наиболее молодым среди гранитоидов Кадаинского месторождения порфировидным биотитовым гранитам.

В Култуминском рудном районе кварцево-молибденитовые жилы образуют самостоятельные тела в палеозойских гранитоидах, располагаясь в непосредственной близости от зон магнезиальных скарнов (кварцево-молибденовые жилы в гранитоидах известны также в непосредственной близости от галенит-сфалеритовых месторождений Шилкинско-Заводской группы).

Можно высказать предположение, что проявления молибденовой минерализации являются в некотором роде аналогами редкометальной грейзеновой минерализации, проявленными при другой металлогенической специализации интрузий и только во вмещающих породах алюмосиликатного состава. Малоизученным является также вопрос о распространенности, времени образования и формационной принадлежности шеелитовой минерализации. З.А.Образцова (1962), изучавшая шеелит-пирит-пирротиновую минеральную ассоциацию, считает ее одной из самых ранних и образовавшейся одновременно с карбонатно-сульфидной минерализацией в скарнах, до внедрения даек плагиосиенит-порфиров, кварцевых порфиров и лампрофиров. Собственно полиметаллические руды месторождений галенит-сфалеритовой формации образовались уже после внедрения этих даек.

В связи с предполагаемой разнородностью галенит-сфалеритовых месторождений Приаргунья и принадлежности части из них к золото-молибденовому, а части — к оловянному ряду, можно наметить еще одну рудную серию, свойственную рудным полям с оловянной специализацией. Это оловоносные скарны (падь Звериная, Култуминский район), апокарбонатные грейзены с редкометальной минерализацией, сменяющие их касситерит-сульфидные рудные тела (Покаинское месторождение) и, наконец, флюоритовые проявления. Эта серия похожа на устанавливаемую по данным И.Я.Некрасова последовательность различных типов рудной минерализации, проявленной в карбонатных отложениях оловянных месторождений Северо-Востока СССР. В них касситерит присутствует в оловоносных скарнах, в наложенных на скарны кварц-мусковит-флюоритовых и кварц-мусковит-топазовых грейзенах с аксессуарными бериллом и турмалином. Затем следует низкотемпературная касситерит-кварц-сульфидная минерализация.

Подводя итоги определений абсолютного возраста на основании геологических данных и свинцово-изотопных исследований, можно считать доказанным существование в различных рудных районах Восточного Забайкалья трехчленных рудных серий, состоящих из закономерно сменя-



Фиг. 8. Этапы минерализации. Результаты определения абсолютного возраста месторождений различных рудных поясов Восточного Забайкалья (в млн. лет)

Месторождения: 1 – Дарасун (турмалин-слюдистые метасоматиты); 2 – Дарасун (золото-галенит-сфалеритовая формация); 3 – Шахтама (слюдистые метасоматиты); 4 – Шахтама (околорудный серицит); 5 – Шахтама (серицит из поздних галенит- и сфалеритсодержащих ассоциаций); 6 – Бугдая (полевошпатовые метасоматиты); 7 – Жирекен (полевошпатовые метасоматиты); 8 – Жирекен (серицит из кварц-серицитовых и кварц-полевошпат-молибденовых прожилков); 9 – Кудикан (грейзен); 10 – Козловское (золото-галенит-сфалеритовая формация, серицит из рудных зон); 11 – Средне-Голготайское (серицит из околорудных зон); 12 – Казаковское (серицит); 13 – Фатимовское (серицит из околорудных зон); 14 – Балей (адуляр из продуктивных ассоциаций); 15 – Ново-Широкинское (калийсодержащая слюда из кварц-галенит-сфалеритовой ассоциации); 16 – Давенда (полевошпатовые метасоматиты); 17 – Давенда (серицит из относительно поздних минеральных ассоциаций с PbS и ZnS); 18 – Давенда (дайки, дорудный кварцевый порфир); 19 – Любавинское (калиевый полевой шпат из кварц-молибденитовых жил); 20 – Любавинское (мусковит из кварц-молибденитовых жил); 21 – Тарбальджей

(окончание подписи)

(полевоы шпат из кварц-полевошпат-флюоритовых жил); 22 - Тарбальд-
жей (грейзен); 23 - Быльра (касситерит-содержащие пегматиты); 24 -
Хапчеранга (грейзен); 25 - Хапчеранга (касситерит-сульфидная жила);
26 - Шерловая гора (грейзены); 27 - Шерловая гора, участок сопки
Большой (касситерит-сульфидные руды); 28 - Спокойнинское (грейзен);
29 - Спокойнинское (кварц-вольфрамитовая жила); 30 - Зун-Ундур (грей-
зены); 31 - Этыка (грейзены); 32 - Этыка (кварц-амазонитовая жила);
33 - Этыка (жильный циннвальдитовый грейзен); 34 - Ононское (около-
жильный грейзен); 35 - Дедова гора (околожильный грейзен); 36 - Имал-
ка (пегматит); 37 - Белуха (грейзен площадной); 38 - Белуха (около-
жильный грейзен); 39 - Алдакачан (грейзен); 40 - Алдакачан (кварц-
вольфрамитовая жила); 41 - Малый Соктуй (площадной грейзен); 42 -
3-е Жебкошинское (флюоритовые руды); 43 - Булугьинское (редкоме-
тально-слюдисто-флюоритовые руды); 44 - Аркгинское (грейзен); 45 -
Серебрянское (серицит из рудных зон); 46 - Савинский участок (скар-
ны); 47 - Чупино (апокарбонатные грейзены, слюда); 48 - Каменское
(скарны); 49 - Горсонуйский участок (скарны); 50 - Каменское (поле-
вой шпат из полевошпат-галенитовых прожилков); 51 - Партейский учас-
ток (скарны); 52 - Алгачинское (биотит из рудных жил); 53 - Газиму-
ро-Воскресенское (вмещающие эффузивы); 54 - Яковлевское (вмещаю-
щие эффузивы); 55 - Кулаковское (вмещающие эффузивы); 56 - Явленс-
кое (предрудный лампрофир, дайки); 57 - Солонечное (адуляр из рудной
зоны); 58 - Екатерино-Благодатское (дорудная порфировая дайка); 59 -
Кадая (предрудный лампрофир, дайка); 60 - Кадая (послерудный лам-
профир, дайка); 61 - Кадая (скарны); 62 - Звериное (скарны с касси-
теритом)

ющих друг друга во времени рудных формаций и минеральных типов
месторождений. Каждая серия состоит из более или менее синхронных
метасоматических образований; высоко- и среднетемпературных руд,
появившихся в результате выполнения открытых трещин, и, наконец,
низкотемпературных жил и прожилков. В наиболее обобщенном виде ха-
рактер этих рудных серий иллюстрируется фиг. 8.

О закономерностях в возрастной последовательности формирования рудных формаций Приморья

Рудные формации Приморья менее разнообразны, чем рудные формации
Восточного Забайкалья. Наибольшим распространением здесь пользуются
касситерит-сульфидные с олово-полиметаллическим типом и касситерит-
силикатные месторождения, галенит-сфалерит-шеелитсодержащие скарны,
апокарбонатные грейзены с оловом, флюоритом и редкими элементами.
Касситерит-кварцевая, золото-кварцево-киноварная и некоторые другие
формации встречаются реже.

Среди рудных формаций Приморья в пределах одних и тех же рудных
полей нередко совмещаются касситерит-кварцевая и касситерит-сульфид-

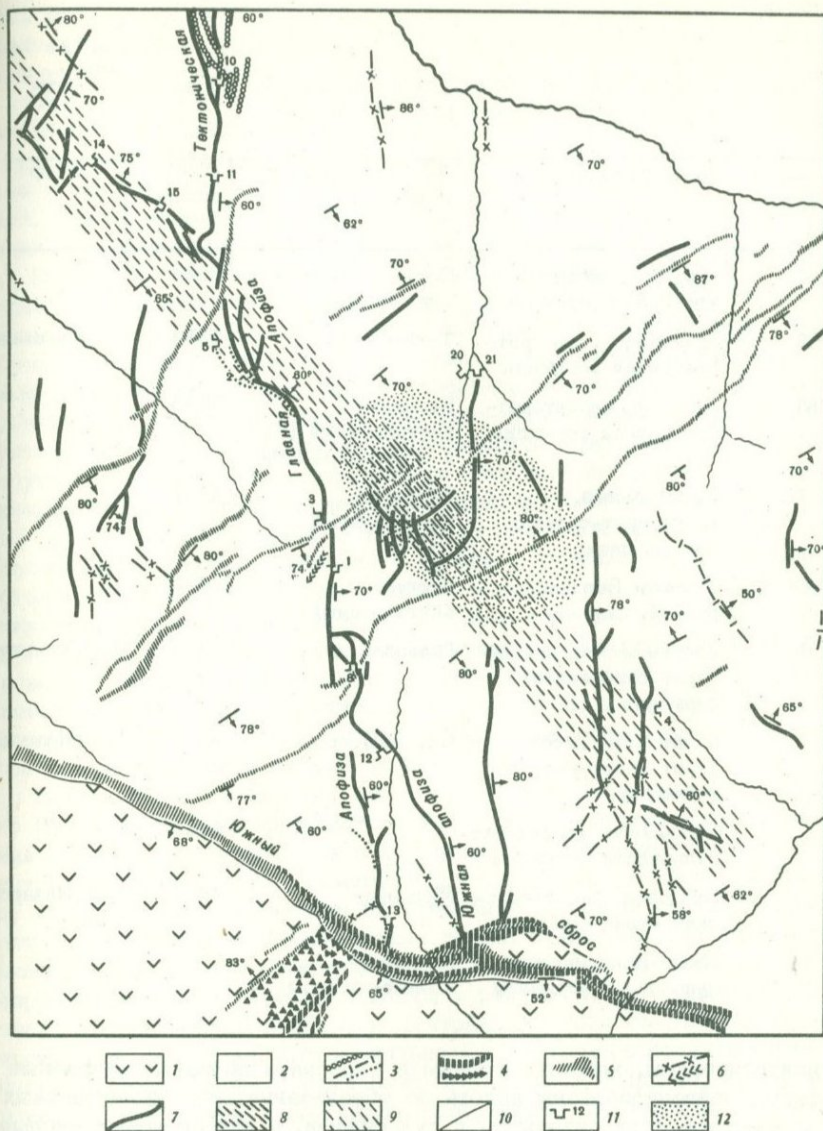
ная или касситерит-силикатная и касситерит-сульфидная формации. Совмещение касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формаций известно на месторождении Дальнем (фиг. 9), расположенном в западной части главного синклинария Сихотэ-Алиня.

Участок месторождения сложен широкими алевролитами с прослоями мелкозернистых песчаников, в южной части развиты верхнемеловые кварцевые порфиры, игнимбриты, отделяющиеся от осадочных пород мощным разломом, выполненным дайками. Известны дайки кварцевых порфиров, порфиритов и фельзит-порфиритов. Среди них дайки порфиритов, по данным В.П. Соляникова, являются внутрирудными — они внедрялись после кварц-арсенопирит-касситеритовой, но до пирротин-сфалеритовой минеральных ассоциаций. Месторождение приурочено к ядру крупной антиклинальной складки, ось которой имеет северо-восточное простирание. Разрывные нарушения подразделяются на меридиональные, северо-западные и северо-восточные. Меридиональные нарушения являются главными рудоконтролирующими для касситерит-сульфидного оруденения, кроме того, к ним приурочены дайки порфиритов. К зоне мелкой трещиноватости, имеющей северо-западное простирание, приурочены прожилки, содержащие кварц, крупные кристаллы касситерита (до 1 см в длину), шеелит, мусковит, ортоклаз, арсенопирит, топаз, акцессорный берилл, флюорит. Алевролиты и песчаники около прожилков грейзенизированы. Прожилки этого типа пересекаются касситерит-сульфидными жилами. Возраст серицита из касситерит-кварцевых прожилков оказался равным 75 ± 4 млн. лет (по материалам Г.А. Тананаевой — 78 ± 4 млн. лет), а возраст внутрирудной дайки порфиритов — 55 ± 5 млн. лет (табл. 34).

Интересно, что внутрирудные порфириты с касситерит-сульфидного месторождения Хрустальное имеют абсолютный возраст 46 ± 8 млн. лет, а внутрирудная дайка порфирита с рудника Верхнего (Тетюхе) — 45 ± 6 млн. лет, т.е. возраст их чрезвычайно близок и сходен с возрастом порфиритов месторождения Дальнего.

Таким образом, можно предполагать существенный разрыв во времени между касситерит-кварцевым и касситерит-сульфидным этапами минерализации, составляющий около 20 млн. лет.

Известны и другие факты, подтверждающие длительность периода формирования оловорудных месторождений Приморья. К ним относятся данные по Шербаковскому месторождению, где возраст, определенный по слюде из прожилков, секущих сульфидные, существенно сфалеритовые руды, составляет 84 ± 4 млн. лет. Сходные данные приводятся А.С. Назаровой, А.И. Пантелеевой и Е.П. Александровым (1969) для месторождений Фурмановского района Южного Приморья. Этот район расположен в Прибрежной антиклинальной зоне, вблизи ее сочленения с главным Сихотэ-Алинским синклинорием. Недалеко от оловянных месторождений здесь находится гранитный массив площадью 30 км^2 , абсолютный возраст которого по определению калий-аргоновым методом, составляет 118 млн. лет. На площади рудного узла широко распространены верхнемеловые дайки кислого состава и палеогеновые дайки кварцевых порфиритов, фельзитов и диоритовых порфиритов. Оловянные месторождения и проявления тесно ассоциируют с палеогеновыми дайками. Дайки гидротермально изменены, причем позднемеловые диоритовые порфириты



Фиг. 9. Схема соотношений гидротермальных изменений и рудных тел на месторождении Дальнее (Приморье)

1 - туфолавы; 2 - глинистые сланцы, алевролиты и песчаники; 3 - дайки андезитовых порфиров; 4 - дайки туфов липаритовых порфиров; 5 - дайки липаритовых порфиров; 6 - дайки спессартинов; 7 - кварцевые и сульфидные жилы, минерализованные зоны дробления с касситеритом; 8 - прожилковая рудная зона; 9 - зона мелкой трещиноватости; 10 - тектонические разломы; 11 - штольни и их номера; 12 - обогащение

Данные определений абсолютного возраста материалов из касситерит-сульфидных месторождений Приморья (К-Аг-метод)

Номер лабораторный	Месторождение	Материал для анализа	Возраст, млн. лет	Автор
4334	Дальнее, касситерит-кварцевая формация	Серицит из прожилков штокверка	76 ± 4	
3986	Дальнее, касситерит-кварцевая формация	То же	78 ± 4	Г.А.Тананаева
3985	Дальнее, касситерит-сульфидная формация	Порфирит внутрирудный (?) в сульфидной жиле	55 ± 5	
4597	Хрустальный, касситерит-сульфидная формация	Порфирит внутрирудный	45 ± 6	
4596	Тетюхе, Верхний рудник, скарны	Порфирит внутрирудный	46 ± 8	
4307	Щербаковское, касситерит-сульфидная формация	Гидрослюда	84 ± 4	И. Н. Томсон
	Юбилейное, касситерит-кварцевая формация	Нет данных	92	А. С. Назарова
	Юбилейное, касситерит-сульфидная формация	" "	64 ± 6	"
	Лучистое, касситерит-силикатная формация	Мусковит	46	А. С. Назарова и др.
	Нижнее, касситерит-сульфидная формация	Дорудные гранит-порфиры	40	То же

серицитизированы, хлоритизированы и карбонатизированы; кварцевые порфиры грейзенизированы вплоть до образования кварцево-слюдяных метасоматитов с касситеритом и сульфидами, а палеогеновые кислые дайки лишь слабо серицитизированы и содержат убогую вкрапленность галенита и сфалерита. Среди даек установлено небольшое штокообразное тело измененных фельзит-порфиров, участками превращенных в мусковит-кварцевые метасоматиты с турмалином, касситеритом и арсенопиритом. Абсолютный возраст этих метасоматитов определен в 75 млн. лет. Известен ряд рудопроявлений касситерит-кварцевой формации и два месторождения касситерит-сульфидной формации – Юбилейное и Лазовское. На касситерит-сульфидном месторождении Юбилейное в слабо биотитизированных песчаниках и алевролитах верхнего триаса известны ранние прожилки кварца с касситеритом, вольфрамитом и мусковитом.

Эти прожилки в совокупности образуют штокверковые зоны. Следом за ними появляются сульфидные жилы с хлоритом, карбонатом и кварцем, содержащие касситерит и станнин.

Оруденение касситерит-кварцевой формации накладывается только на верхнемеловые дайки и возраст его 92 млн. лет; касситерит-сульфидное оруденение накладывается на палеогеновые дайки, среди которых наиболее молодыми являются фельзит-порфиры, имеющие возраст 64 ± 6 млн. лет. Таким образом, разрыв во времени формирования рудопроявлений этих двух формаций составляет около 30 млн. лет.

В другом, Снежинском рудном узле, расположенном уже в области главного синклинория Сихотэ-Алиня, также известны касситерит-кварцевые и касситерит-сульфидные проявления. Здесь на месторождении Лучистом известен нижнепалеогеновый массив гранодиорит-порфиров, имеющих возраст 73 млн. лет, в экзоконтактах которого в песчаниках обнаружены метасоматические кварцево-турмалиновые жилы с касситеритом, небольшим количеством халькопирита, арсенопирита, галенита и других сульфидов. Здесь определялся абсолютный возраст турмалин-кварц-слюдяных метасоматитов, который оказался равным 46 млн. лет. На другом месторождении – Нижнем рудные тела представлены минерализованными зонами дробления с кварцем, турмалином, касситеритом, станнином, сульфидами свинца, цинка и железа, поздними кальцитом и пиритом. Интрузивные образования, среди которых известны шток гранит-порфиров и дайка кварцевых порфиров, имеют возраст 40–44 и 46 млн. лет. Поскольку в массиве гранит-порфиров фиксируются сульфиды свинца и цинка, можно считать, что возраст их не древнее 40 млн. лет. В то же время возраст кварцево-турмалиново-серицитовых метасоматитов составляет здесь 61 млн. лет.

Все сказанное позволяет считать, что в оловоносных районах Южного Приморья в некоторых местах было два этапа оловянного оруденения – касситерит-кварцевые и касситерит-сульфидные формации и касситерит-сульфидные руды сменяли друг друга во времени. Период между образованием месторождений этих двух формаций составил 20–30 млн. лет. В результате возникла рудная серия, в которой с уверенностью можно выделить два отмеченных типа месторождений. Однако время формирования этих серий в различных районах было различным. В районах, расположенных в области Центрального Сихотэ-Алинского синклинория, где находятся месторождение Дальнее, месторождения Кавалеровского рудного района, Снежинский рудный узел и другие, время формирования этой рудной серии охватывало период от 76–78 до 40 млн. лет, т.е. целиком захватывала палеоген. В области же Прибрежного антиклинального поднятия, где расположены Фурмановский район и Щербаковское месторождение, время формирования оловянных месторождений этой рудной серии было несколько иным и охватывало период от 92 до 64 млн. лет, т.е. верхний мел – палеоген. Из изложенного видно, что необходимо специальное изучение руд Приморья с целью выявления как более ранних, так и более поздних образований внутри оловорудных серий, а также для выявления рудных серий в районах с золотым, шеелитовым и другими типами оруденения.

Последовательно образующиеся месторождения различных рудных формаций описаны Э.П.Изохом, В.В.Русс, И.В.Кунаевым, Г.И.Наговской (1967) в Нижнем Приамурье и Северном Сихотэ-Алине. Так, с натриево-габбро-гранодиорит-гранитной серией связан следующий комплекс рудных формаций или типов оруденения (от ранних к поздним; терминология авторов); грейзены и кварц-серицитовые метасоматиты, часто с золотом, иногда богатые турмалином; кварцевые жилы с вольфрамитом и (или) молибденитом (редкометалльно-кварцевая формация); кварцево-арсенопиритовые жилы с золотом (высокотемпературная фация золото-кварцевой формации); малосульфидные кварцевые жилы с золотом (собственно золото-кварцевая формация); кварц-карбонатно-сульфидное оруденение; кварцевые жилы с антимонитом (золото-сурьмяная формация). Эта рудная серия (авторы называют ее рудным комплексом) бедна минералами железа и сульфидами. Ведущими металлами являются вольфрам, молибден, золото, сурьма.

В отличие от золото-молибденовой рудной серии Забайкалья, связанной с Шахтаминской магматической серией, здесь упоминаются грейзены и кварцево-вольфрамитовые жилы. В рудах золотых и молибденовых месторождений Забайкалья иногда в заметных количествах присутствует шеелит, однако вольфрамит, насколько нам известно, не описывался. В то же время среди Нижнеамурских золото-молибден-вольфрамовых месторождений не упоминаются аналоги калишпатовых метасоматитов, галенит-сфалеритовых и золото-халцедоно-адуляровых месторождений.

Связанные с Бачелазской, Мяо-Чанской и Верхнеудоминской калиевыми интрузивами рудные серии имеют следующий состав: оловоносные грейзены (нередко переходящие в кварц-серицитовые метасоматиты); кварцевые жилы с касситеритом, иногда с вольфрамитом и молибденитом (редкометалльно-кварцевая формация); кварц-турмалиновые и (или) кварц-хлоритовые оловоносные жилы или метасоматические образования (железисто-силикатные оловорудные формации), сульфидно-касситеритовые жилы и метасоматические образования, часто с хлоритом или турмалином (собственно касситерит-сульфидная формация); существенно полиметаллическое оруденение с касситеритом (галенит-сфалеритовая формация); сурьмяно-ртутное и ртутное оруденение. Для этой серии характерны высокая оловоносность различных типов оруденения, обилие минералов железа, богатство различными сульфидами. Эта рудная серия имеет много общего с выделяемой в Забайкалье рудной серией, связанной с Кукульбейской гранитной серией.

В 1961 г. И.Н. Томсоном и автором на примере некоторых рудных районов Тихоокеанского пояса были рассмотрены типы соотношений между месторождениями различных рудных формаций. Дальнейшие исследования и, в частности, применение метода рядов рудных формаций позволили объяснить причины, определяющие эти соотношения (Константинов, 1966), а также использовать представления об определенных типах соотношений для классификации рудных районов (Константинов, 1965; Константинов, Томсон, 1966) и рудных формаций (А.А. Малахов и др., 1967). Результаты всех этих исследований с некоторыми дополнениями кратко излагаются ниже.

В зависимости от типа соотношений рудные формации подразделялись нами на четыре группы: а) генетически родственные рудные формации; б) пространственно-ассоциирующие рудные формации; в) совмещенные рудные формации; г) чуждые рудные формации.

ГЕНЕТИЧЕСКИ РОДСТВЕННЫЕ РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

Для месторождений генетически родственных рудных формаций характерна близость минерального состава и геохимических особенностей на протяжении всей истории формирования месторождений, при незначительных различиях в геологической обстановке. Лишь немногие подчиненные стадийные минеральные ассоциации на отдельных месторождениях отсутствуют или слабо развиты. Однако количество некоторых минералов, в том числе рудных минералов, придающих формации промышленное значение в разных родственных формациях, может заметно изменяться.

Выделение группы генетически родственных формаций вытекает из геохимических работ А.Е. Ферсмана (1955) и металлогенических работ С.С. Смирнова (1944), Ю.А. Билибина (1947) и Е.А. Радкевич (1959).

Примеры генетически родственных формаций, входящих в единые ряды и нередко образующихся в одних и тех же рудных районах, частично были рассмотрены выше при анализе генетических рядов рудных формаций Восточного Забайкалья. Здесь следует лишь упомянуть одну особенность поведения генетически родственных формаций на примере галенит-сфалеритовой и молибденит-галенит-сфалеритовой формаций, входящих в вертикальный ряд. Галенит-сфалеритовые месторождения уста-

навливаются лишь в периферических частях рудных полей молибденит-галенит-сфалеритовых месторождений. Эти отдельные самостоятельные мелкие месторождения расположены вблизи кварцево-молибденитовых и подчинены тем же региональным рудоконтролирующим структурам. Близкий характер интрузивных проявлений, сопутствующих в том и другом случае оруденению, наряду с пространственной близостью и наличием постепенных переходов подтверждает предположение о генетическом родстве месторождений молибденит-галенит-сфалеритовой и галенит-сфалеритовой формаций в Восточном Забайкалье. Подобные соотношения между некоторыми рудными формациями наблюдаются также в других металлогенических провинциях. В качестве примера можно привести упоминавшиеся уже месторождения Курганского рудного поля, где, по данным Б.В.Бродина (1957), в генетически родственных месторождениях выделяются касситерит-сульфидная (Чет-Карагайская группа) и галенит-сфалеритовая (Кен-Шалыкская группа) формации, отличающиеся масштабами проявления различных стадий минерализации.

Таким образом, месторождения генетически родственных формаций в составе устойчивых минеральных групп имеют целый ряд одинаковых минералов, а по геологическим условиям нахождения различаются лишь в деталях. Они ассоциируются с породами одного магматического комплекса и, насколько можно судить по имеющимся данным, образуются одновременно.

В 1965 г. нами высказывалось предложение после детальной разработки вопроса о генетических группах родственных формаций ввести эти более крупные категории в общую формационную классификацию месторождений.

Это предложение было затем широко использовано геологами Узбекистана в упоминавшейся выше работе при классификации месторождений Узбекистана по рудным формациям (Малахов и др., 1968). Как уже упоминалось, характерной особенностью выделяемых ими семейств родственных рудных формаций является общность некоторых парагенетических ассоциаций, могущих образовывать принадлежащие к различным формациям самостоятельные, пространственно разделенные промышленные месторождения. Например, семейство пироксен-гранат-амфиболовых скарнов подразделяется по составу минеральных ассоциаций на скарны с амфиболом, пироксеном, альбитом, кварцем, шеелитом; с гранатом, амфиболом, пироксеном, кварцем, сульфидами железа, шеелитом и подчиненными количествами золота и молибденита, а затем к этому семейству отнесены кварц-калишпатовые жилы с шеелитом и вольфрамитом; кварц-золото-вольфрамит-шеелитовые и кварц-молибденит-шеелитовые жилы.

Таким образом, если семейства родственных рудных формаций это генетическая классификационная категория, то ряды формаций это прежде всего метод изучения рудных формаций и их различных соотношений, позволяющий наметить группы рудных формаций, отличающиеся теми или иными признаками и, в частности, выделить группы, отвечающие генетически родственным рудным формациям, и использовать их потом для классификации.

В тех случаях, когда в пределах одного рудного района в один и тот же этап минерализации и в связи с одним магматическим комплексом образуются несколько рудных формаций, резко различающихся по своему минеральному составу, но в соседних рудных районах известных месторождения, промежуточные по своему характеру, выделяются пространственно ассоциирующие рудные формации. Возрастные соотношения по прямым пересечениям между месторождениями таких формаций удается установить очень редко.

В качестве примера можно упомянуть рассмотренные Н.В. Петровской (1956) соотношения молибденит-кварцевых и золото-кварцевых формаций Восточного Забайкалья. Месторождения, характеризующиеся широким развитием этих формаций, сосредоточены в северо-восточной полосе Восточного Забайкалья (в пределах золото-молибденового пояса, выделенного С.С. Смирновым). Эти месторождения связаны с участками развития серии даек и диоритовых малых интрузий и локализируются преимущественно в более древних гранитоидах. Случаи непосредственного наложения одной формации на другую очень редки. Обычно, встречаясь в одних и тех же рудных районах, эти месторождения приурочены к различным участкам. Но в тех случаях, когда удается наблюдать наложение различных формаций, оказывается, что образование золото-турмалиновых тел, в общем более молодых, началось тогда, когда еще не закончилось формирование кварцево-молибденитовых жил. Ранние минеральные ассоциации золотых месторождений, секущие основную массу кварцево-молибденитовых жил, в свою очередь, пересекаются тонкими кварцево-молибденитовыми прожилками.

Н.В. Петровская считает, что образование в пределах ограниченных площадей в течение одного этапа минерализации рудопроявлений различных типов объясняется одновременным существованием нескольких источников рудных растворов, находившихся на разных глубинах.

Приведенное сравнение месторождений кварцево-молибденитовой и золото-кварцевой формации по минеральным ассоциациям показывает наличие между ними определенных черт минералого-геохимического родства. В кварцево-молибденитовых месторождениях иногда устанавливаются золото и другие минералы, характерные для золото-кварцевой формации, однако это сходство значительно менее ярко, чем для месторождений, принадлежащих к генетически родственным формациям.

Как было показано выше, молибденовые и золото-кварцевые месторождения связаны серией постепенных переходов по минеральным ассоциациям с месторождениями галенит-сфалеритовой формации.

Аналогичные соотношения в некоторых случаях характерны для месторождений касситерит-сульфидной и касситерит-силикатной формаций, проявившихся в один этап в некоторых рудных районах Приморья. В Кавалеровском районе, где проявляются одновременно месторождения касситерит-сульфидной (например, Лифудзинское месторождение), валовый минеральный состав этих формаций довольно близок. В то же время их сравнение по стадиям минералообразования показывает, что в первые стадии в них образовались различные по составу минеральные ассоциа-

ции: в касситерит-силикатных основными минералами являлись хлорит и кварц с касситеритом и затем сульфиды (пирротин, пирит, галенит, сфалерит). Элементы-примеси в сульфидах, в частности в сфалерите, в этих различных формациях иногда оказываются разными. Месторождения четко пространственно обособлены.

И в этом случае месторождения ассоциированы с различными по глубинности фациями магматических пород. На Лифудзинском месторождении рудные тела сопровождаются дайками порфириров, на глубине предполагается интрузия диоритов. Месторождение Верхнее залегает в пределах субвулканического тела.

Сходными являются в некоторых рудных районах соотношения контактово-метасоматической датолитовой и галенит-сфалеритовой минерализации. Характерно, что датолитовые месторождения содержат явно наложенную незначительную примесь сульфидов свинца и цинка, а в галенит-сфалеритовых месторождениях датолит, также присутствующий в виде примеси, является, подобно сульфидам в датолитовых месторождениях, одним из поздних минералов.

Приведенные примеры характеризуют особый тип соотношений между рудными формациями, когда они, несмотря на существенные различия, имеют все же ряд общих минералогических и геологических особенностей: в них частично совпадает состав стадийных минеральных ассоциаций, имеющих резко различные масштабы проявления, они ассоциированы с одним и тем же магматическим комплексом, месторождения этих формаций образуются вблизи друг от друга.

СОВМЕЩЕННЫЕ РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

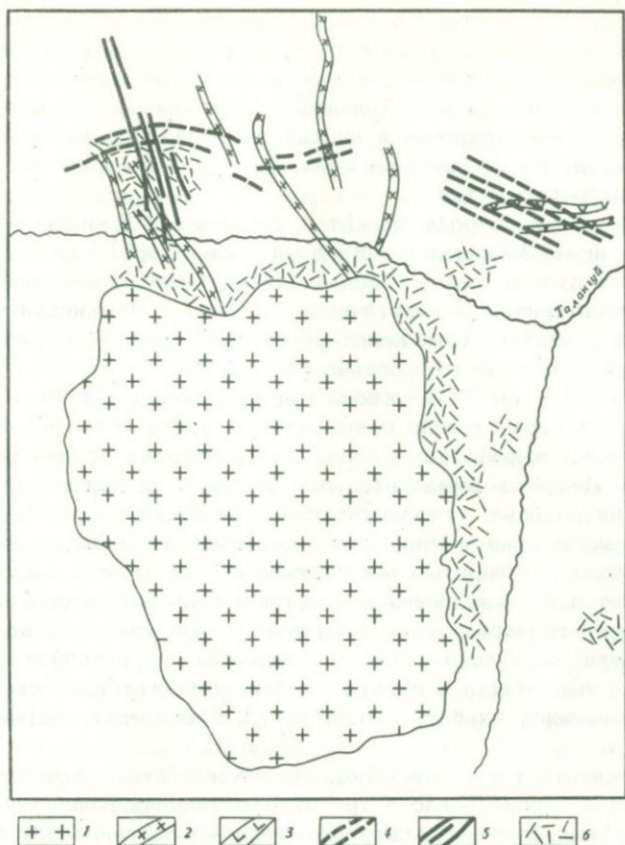
В пределах рудных районов можно различать такие, где рудообразование, связанное с одним магматическим источником, происходило в несколько этапов минерализации.

В этом случае появляются рудные формации, которые могут быть выделены в особую группу, названную группой совмещенных рудных формаций.

Таким образом, совмещенные рудные формации возникают при наложении минерализации двух и более этапов, частично пространственно совпадающей.

Обычно в этом случае появляются месторождения разных формаций или минеральных типов. Каждое из месторождений, принадлежащее к одному этапу минерализации, состоит из нескольких, сменяющих друг друга во времени и все более низкотемпературных стадийных минеральных ассоциаций.

Используя изучение рядов, можно установить, что совмещенные рудные формации входят в один вертикальный ряд, в котором сменяющие друг друга члены полностью или почти полностью лишены сходных по составу стадийных минеральных ассоциаций. Совмещенные рудные формации обычно составляют часть единой рудной серии; основным геологическим фактором, различающим эти формации, является время их образования относительно времени становления рудоносного магматического комплекса.



Фиг. 10. Схема соотношений гидротермальных изменений и рудных тел на Этъинских месторождениях (Восточное Забайкалье)

1 - амазонитовые граниты; 2 - дайки гранит-порфиров; 3 - дайки диоритовых порфиров; 4 - кварц-топаз-касситеритовые жилы; 5 - кварц-амазонитовые жилы с касситеритом; 6 - топазово-слюдяные грейзены с касситеритом в экзоконтактах амазонитовых гранитов

Типичными представителями районов с подобным соотношением рудных формаций являются, по данным Г.Б.Жилинского (1959), некоторые рудные районы Центрального Казахстана, например, Западно-Прибалхашский. Оруденение здесь связано с герцинскими гранитными интрузиями и на большинстве месторождений проявилось несколько этапов минерализации. На Майкульском месторождении в первый этап образовались кварцевые жилы северо-западного простирания с топазом, касситеритом, вольфрамитом, во второй этап - кварцево-полевошпатовые жилы с касситеритом, в третий - широтные кварцевые жилы с топазом, вольфрамитом, касситеритом и сульфидами и в четвертый - меридиональные квар-

цево-молибденитовые жилы. На месторождении Шолпан выделяется штоковое кварцево-касситеритовое тело, кварцево-гематитовые жилы и кварцево-флюоритовые жилы с касситеритом, образованные в разные этапы минерализации. На месторождении Шакшагайлы в первый этап образовались кварцево-слюдяные и кварцевые грейзены, во второй этап - секущие и выходящие за пределы этих грейзенов кварцево-флюоритовые жилы с касситеритом и т. д.

Примером подобного рода служит и Этыкинская группа месторождений в Восточном Забайкалье (Константинов, 1965). Наблюдаемые здесь два типа рудных тел - кварц-касситерит-топазовые и кварц-амазонитовые с касситеритом - генетически связаны с Этыкинским массивом амазонитовых гранитов, хотя кварц-касситерит-топазовые жилы находятся в некотором удалении от массива (фиг. 10).

На участке Второго Этыкинского месторождения оба типа рудных жил частично пространственно совмещаются, и, что установлено наблюдениями в горных выработках, кварцево-касситерит-топазовые жилы пересекаются кварцево-амазонитовыми жилами. Сопоставление разновременных минеральных ассоциаций этих типов жил показывает, что, несмотря на значительное минералого-геохимическое сходство, вызываемое, по-видимому, общностью магматического источника растворов, между ними имеются и существенные различия: главными минералами кварцево-касситерит-топазовых жил в первую стадию являются кварц и топаз с касситеритом, слюдой, иногда с пиритом и арсенопиритом, в кварцево-амазонитовых жилах в первую стадию образуются в основном кварц, микроклин, амазонит, альбит, слюда, топаз, касситерит, галенит, сфалерит и станнин.

Можно отметить также месторождения Кансайского рудного поля, где рудообразование происходило в три этапа минерализации с образованием следующих рудных формаций: скарново-медно-молибденовой, скарново-полиметаллической с вкрапленными рудами, скарново-полиметаллической с богатыми рудами. В месторождениях Такелийского рудного поля выявляются этапы минерализации, фиксирующиеся появлением березитизации, образованием кварцевых жил, арсенопирит-сфалерит-галенитовых руд и, наконец, формированием карбонатно-полиметаллических руд (Вольфсон и Невский, 1949).

Таким образом, во всех рассмотренных примерах совмещенных рудных формаций они ассоциируют с породами одного магматического комплекса и даже иногда, как, например, на Этыкинских месторождениях, с одним и тем же интрузивом, но заметно различаются по минеральному составу и по времени образования.

ЧУЖДЫЕ РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ

В некоторых, довольно редких случаях, наблюдается еще один тип соотношений рудных формаций. Он проявляется в тех случаях, когда в пределах рудного района почти одновременно образуются месторождения, связанные с резко различающимися по составу магматическими источниками (например, с кислыми и основными магмами). В таких районах

иногда появляются одновременно рудные формации золота и олова, золота и бериллия, молибдена и олова, флюорита и киновари и другие.

Такие группы рудных формаций названы чуждыми, поскольку их появление связано с одновременным функционированием различных по составу и металлогенической специализации источников рудного вещества. Иногда наблюдается пространственное совмещение этих рудных формаций в пределах одного рудного поля, как, например, в Восточном Забайкалье на периферии Балейского рудного района, где совмещаются золотые, молибденовые и вольфрамит-кварцевые месторождения, и в Халхин-Голском рудном районе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О РЯДАХ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ И РУДНЫХ СЕРИЯХ ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕНЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ РУДНЫМИ ФОРМАЦИЯМИ

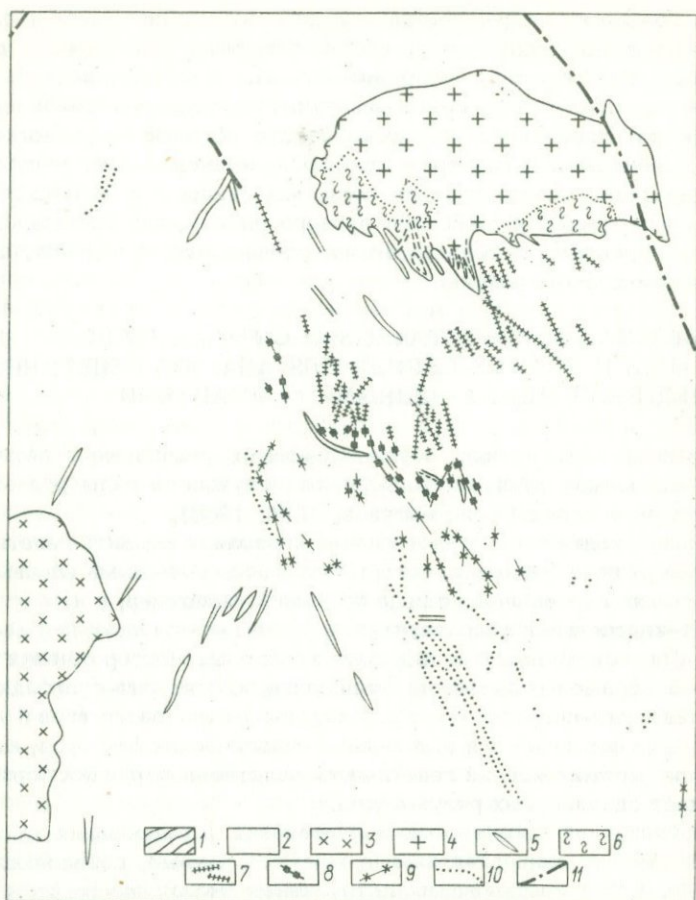
Для выяснения причин, обуславливающих различные генетические соотношения между рудными формациями, изучались ряды рудных формаций и рудные серии (Константинов, 1965, 1966).

Использование этих представлений позволяет выявить генетически родственные рудные формации, которые являются смежными членами горизонтального или вертикального ряда формаций. Например, к ним относятся касситерит-кварцевые и касситерит-вольфрамит-кварцевые, или касситерит-вольфрамит-кварцевые и вольфрамит-кварцевые месторождения ряда оловянно-вольфрамовых формаций Забайкалья, касситерит-сульфидные месторождения пирит-пирротинового и галенит-сфалеритового типа и другие. Изучение рядов формаций для выяснения геологических факторов, вызвавших появление месторождений генетически родственных рудных формаций, обычно не дает однозначных результатов.

При сравнении геологической обстановки формирования месторождений родственных формаций иногда имеются данные, позволяющие предположить, что в застывающих интрузивных телах, являющихся источниками гидротермальных растворов, могли возникать изолированные области отделения гидротерм, с несколько отличной геохимической специализацией. Например, это наблюдается в касситерит-вольфрамит-кварцевых и вольфрамит-кварцевых месторождениях Восточного Забайкалья, залегающих в эндо- или экзоконтактах гранитных интрузий, таких как Дедова Гора и Малый Ангатуй, или Алдакачан и Антонова Гора, или, наконец, Зун-Ундур и Барун-Ундур.

В тех случаях, когда не удастся установить геологические факторы, определившие различия близких по минеральному составу месторождений, то их правильнее считать различными минеральными типами одной рудной формации. Генетически родственными рудными формациями, по видимому, следует считать смежные формации одного ряда, для которых устанавливаются хотя бы минимальные отличия в геологических условиях нахождения.

Усложнение геологической обстановки, естественно, ведет к тому, что в пределах одного рудного района или рудного узла или даже рудного поля возникают удаленные члены горизонтального или вертикального ряда формаций, т. е. в соответствии с данным выше определением, — пространственно-ассоциирующие рудные формации.



Фиг. 11. Схема геологического строения Халчерангинского рудного поля и размещение минерализации различных типов в его пределах (составлена по материалам Э.Б. Ляшкевича, Н.И. Сухенко, Л.В. Жукова, Д.О. Онтоева и др.)

1 - свита филлитов (DoCm-D?); 2 - верхнепалеозойские песчаниково-сланцевые отложения; 3 - гранитоиды Кыринского комплекса; 4 - гранит-порфиры Харалгинского комплекса; 5 - дайки лампрофиров и кварцевых порфиров; 6 - грейзенизированные граниты; 7 - пирит-касситерит-кварцевые и арсенопирит-касситерит-кварцевые жилы; 8 - пирит-пирротинные жилы; 9 - кварц-хлорит-касситеритовые рудные жилы; 10 - галенит-сфалеритовые рудные жилы; 11 - разрывные нарушения: надвиги и сбросы

Находящиеся, как правило, в пределах одних и тех же рудных узлов Восточного Забайкалья, месторождения золото-сульфидно-кварцевой и молибденит-кварцевой формаций отчетливо разобщаются. Месторождения золота тяготеют к участкам брекчий взрыва, состоящим из обломков

гранитов с турмалиновым цементом и полями развития гибридных даек, в то время как молибденовые месторождения располагаются в гранитоидах и тесно ассоциируют с поясами лампрофировых и гранит-порфировых даек. Объясняя этот случай, Н.В.Петровская (1956) высказала предположение об одновременности существования на разных глубинных уровнях областей отделения растворов, давших молибденит-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые месторождения.

Напомним также, что возможность одновременного существования нескольких очагов подтверждается и на примере Щербаковского месторождения в Приморье, где в образование галенит-сфалеритовых рудных тел влчается процесс образования флюорит-слюдяных топазовых грейзенов (Радкевич, Томсон, 1959). Но в данном случае имеют место уже совмещенные рудные формации.

Дальнейшее усложнение геологической обстановки в пределах рудного узла, например появление интрузивных тел, принадлежавших к различным рудоносным магматическим сериям, ведет к еще большему расхождению в типах месторождений. Они становятся крайними членами таких рядов, для которых промежуточные члены устанавливаются с трудом и представлены редкими или уникальными месторождениями. В этих случаях возникают рудные формации, которые выше были названы чуждыми. Например, в Халчерангинском рудном районе Восточного Забайкалья, как это видно на прилагаемой схеме (фиг. 11), месторождения и рудопроявления золота постепенно исчезают среди оловянных месторождений к югу от широтного и к западу от меридионального разломов, разделяющих блоки с оловянной и золото-молибденовой специализацией. Более сложная, но сходная картина распределения минерализации наблюдается в Балеysком золоторудном районе и прилегающих к нему Кукульбейском вольфрамово-оловянном и Борщевочном оловянно-редкометальном районах: здесь на границах этих районов наблюдаются перемежающиеся рудопроявления золота, олова, вольфрама.

Совмещенные рудные формации появляются в тех случаях, когда разновременные и достаточно удаленные друг от друга члены вертикального ряда рудных формаций не располагаются зонально, как в охарактеризованном выше случае миграционной зональности, а совмещаются в пределах одного рудного поля. Таким образом совмещенные рудные формации — это часть рудной серии, локализовавшаяся в пределах одного месторождения. Так же как и в случае генетически родственных рудных формаций, различия в геологической обстановке, сопутствующие образованию каждой формации, устанавливаются здесь с трудом. Наиболее вероятно, что образование их здесь, согласно с предположениями Е. А. Радкевич (1962), происходит в результате постепенного погружения области отделения рудоносных растворов по мере застывания интрузива. Лишь в некоторых случаях более древние рудные тела отделяются от более молодых периодами внедрения даек или небольших гранитных штоков.

Следовательно, изучение рядов рудных формаций помогает установить, что появление в одном рудном районе пространственно-ассоциирующих и чуждых рудных формаций связано с усложнением геологической обста-

новки. Чем разнообразнее в районе структурно-геологические, литологические и магматические факторы рудообразования, тем более разнообразны по своему составу и условиям нахождения рудные формации.

О КЛАССИФИКАЦИИ РУДНЫХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ СООТНОШЕНИЙ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Рассмотренные различные соотношения рудных формаций нами было предложено использовать при классификации рудных районов (Константинов, 1965). В классификации, прежде всего в зависимости от распространенности месторождений одной или нескольких рудных формаций, нами было предложено разделить рудные районы с простой и со сложной минерализацией.

Среди рудных районов со сложной минерализацией различались такие, где месторождения разновозрастные, и такие, где их различный возраст фиксируется геологическими данными или определениями абсолютного возраста.

В рудных районах со сложной разновозрастной минерализацией могут выделяться районы с генетически родственными, пространственно ассоциирующими и совмещенными рудными формациями.

Образование рудных районов с генетически родственными формациями, по-видимому, было связано с незначительными изменениями в специализации рудоносных растворов, одновременно отделявшихся из разных участков рудоносного интрузива. Как уже отмечалось, такие явления наблюдаются при образовании оловянно-вольфрамовых и вольфрамовых месторождений, тяготеющих к одному и тому же интрузиву, а также при образовании различных минеральных типов месторождений внутри одной рудной формации: например, золото-полиметаллических и полиметаллических месторождений, киноварных и антимонит-киноварных и т. д. Дальнейшее усложнение геологических условий в пределах рудного района ведет к появлению месторождений группы пространственно ассоциирующих рудных формаций, а неоднократное возобновление деятельности рудоносных очагов в пределах этих районов — к появлению месторождений группы совмещенных рудных формаций.

Усложнение геологических условий можно фиксировать по разным признакам. К ним относятся сочетание в одном рудном районе или узле разобщенных полей нормальных даек гранитоидов, с одной стороны, и полей гибридных даек и взрывных брекчий, с другой стороны; нахождение в единых разрывных геологических структурах небольших гранитных штоков и дайковых полей и др. Можно подчеркнуть, что металлогеническая специализация этих районов в свою очередь закономерно вытекает из региональных металлогенических особенностей территории (В.И. Смирнов, 1963; Шаталов, 1965).

Приведенные выше данные о возможности выделения типов рудных районов в зависимости от различных соотношений в них рудных формаций позволяют подойти к общей классификации рудных районов складчатых областей. Эта классификация является дальнейшим развитием упо-

мянутой выше классификации рудных районов, предложенной автором ранее (Константинов, 1965).

Поясняя эту классификацию, следует прежде всего заметить, что она основана на материалах о металлогении и геологическом строении рудных районов Востока СССР, где оруденение, как это показывают исследования последних лет (Шеглов, 1968; Казанский, 1965 и др.), сформировалось в основном в этапы завершения складчатости и активизации. Как правило, главная часть оруденения образовалась здесь в течение одного верхнемезозойского цикла. Тем не менее знакомство с геологией рудных районов других областей СССР по литературным данным приводит к выводу, что принципиальные положения предлагаемой классификации могут быть в определенной мере использованы для территорий с другим строением. За основу при построении классификации было принято, с одной стороны, разделение рудных районов по типу магматизма на сиалические, фемические и переходные сиалического-фемического профиля, как это было предложено Е.А.Радкевич (1959) и в дальнейшем использовано в классификации рудных районов Е.Т.Шаталовым (1965) и Ф.К.Шипулиным (1968).

С другой стороны, были учтены данные о зависимости характера рудных формаций от ассоциации с различными фациями глубинности магматических пород (Котляр, 1961; Фаворская, 1960; Радкевич, 1966 и др.). Близкое к этому подразделение рудных формаций было рассмотрено в последнее время И.Н.Томсоном, О.П.Поляковой и автором (Томсон и др., 1969). По этим двум основным признакам, рудные районы подразделяются, во-первых, в зависимости от фаций глубинности магматических пород, с которыми ассоциировано оруденение, на районы с плутоническим (интрузивным мезоабиссальным и гипабиссальным) магматизмом, с вулканическим (субвулканическим и эффузивным) магматизмом и со смешанным плутоническо-вулканическим магматизмом. Во-вторых, рудные районы подразделяются в зависимости от типа магматизма на районы с магматизмом сиалического, фемического и смешанного сиалического-фемического профиля (табл. 35).

В результате рудные районы оказываются разделенными на девять групп. Однако, рассматривая внутри каждой из этих групп различные соотношения рудных формаций: генетически родственные, пространственно ассоциирующие, чуждые и совмещенные, можно убедиться, что эти соотношения позволяют разделить рудные районы на четыре типа. При этом оказывается также, что совмещенные рудные формации в равной мере могут появиться в любом из четырех типов и поэтому не имеют классификационного значения.

Таким образом, в предлагаемой классификации рудные районы делятся на четыре типа.

К районам первого типа относятся такие, в которых проявился магматизм одного профиля и близкие по глубинности фации магматических пород. Эти районы обычно характеризуются месторождениями генетически родственных формаций: близкими членами горизонтального или вертикального ряда рудных формаций. Здесь, так же как в остальных типах районов, могут проявиться и совмещенные рудные формации, как производные одного, длительно функционировавшего магматического очага.

Типы рудных районов в зависимости от различных соотношений рудных формаций, фаций глубинности магматических пород и типа магматизма

Тип магматизма	Фации глубинности магматических пород и оруднения		
	плутонические	плутоно-вулканические	вулканические
	Типы рудных районов и примеры рудных формаций		
	I тип	II тип	III тип
Сиалический	Районы с генетически родственными и совмещенными рудными формациями, Касситерит-кварцевая, Вольфрамит-кварцевая, Редкометалловая, вольфрамит-кварцевая	Районы с генетически родственными и пространственно ассоциирующими и совмещенными рудными формациями, Касситерит-кварцевая, Галенит-сфалеритовый тип Касситерит-сульфидной формации	Районы с генетически родственными и совмещенными рудными формациями, Риолитовая формация (деревянистого олова), Галенит-сфалеритовый тип касситерит-сульфидной формации
	III тип	IV тип	III тип
Сиалический-фемический	Районы с генетически родственными, совмещенными и чуждыми рудными формациями, Касситерит-кварцевая, золото-кварцевая (формации больших глубин) формации, касситерит-сульфидная, молибденит-кварцевая	Районы с генетически родственными и пространственно ассоциирующими, совмещенными и чуждыми формациями, Касситерит-кварцевая, вольфрамит-кварцевая, золото-кварцевая, молибденит-кварцевая, халькопирит-молибденитовая, риолитовая формация (деревянистого олова)	Районы с генетически родственными, совмещенными и чуждыми рудными формациями, Касситерит-силикатная формация, связанная с субвулканическими телами, галенит-сфалеритовый тип касситерит-сульфидной формации, золото-серебряная формация (формация малых глубин), риолитовая формация (деревянистого олова), халькопирит-молибденитовая, киноварная, уран-молибденная, смолково-карбонатная
	I тип	II тип	I тип
Фемический	Районы с генетически родственными и совмещенными рудными формациями, Молибденит-кварцевая, Молибденит-галенит-сфалеритовая, Медно-молибденовая (халькопирит-молибденитовая), Золото-кварцевая (формация больших глубин), Золото-сульфидная (формация средних глубин)	Районы с генетически родственными, пространственно ассоциирующими и совмещенными рудными формациями, Молибденит-кварцевая, золото-сульфидная, золото-серебряная	Районы с генетически родственными и совмещенными рудными формациями, Золото-серебряная (формация малых глубин), Киноварно-антимонитовая, Киноварная, реальгар-аурипигментовая

Эти районы могут иметь только сиалический или только фемический профиль магматизма, плутонические или только вулканические фации, связанные с оруденением магматических пород. Важно лишь, чтобы обе эти категории признаков оставались постоянными для всей территории района.

Рудные районы второго типа встречаются несколько реже. В них наблюдается усложнение геологической обстановки, выражающееся в том, что при сохранении всего, для района единого, сиалического или фемического профиля магматизма оруденение ассоциирует с распространенными в районе различными по глубинности фациями магматических пород. В результате наряду с генетически родственными возникают месторождения, отличающиеся по своим особенностям настолько, что их можно рассматривать лишь как достаточно удаленные друг от друга члены рядов формаций. В соответствии с данным выше определением такие рудные формации могут быть названы пространственно ассоциирующими.

Подобные типы рудных районов, как сиалического, так и фемического профиля, особенно характерны для области Тихоокеанских мезозойских альпид, особенно в Охотском вулканическом поясе.

Здесь, по данным Е.К. Устиева (1966), наиболее распространены структурно-генетические ряды магматических формаций, характеризующиеся родственными типами вулкано-плутонических ассоциаций. Подобные районы известны и для Сихотэ-Алиня, Восточно-Китайских провинций и других частей Восточно-Китайского вулканического пояса. По Е.К. Устиеву, для вулкано-плутонических формаций гранитоидного происхождения характерны крупные месторождения олова, вольфрама, молибдена и другие; для вулкано-плутонических формаций базальтоидного происхождения — месторождения железа и меди.

В Восточном Забайкалье к этому типу относится, в частности, район Шерловой Горы, где совмещается редкометальное оруденение, генетически связанное с мезоабиссальной интрузией гранитов и оловянно-полиметаллическое оруденение, ассоциированное с вулканическим телом кварцевых порфиров.

По-видимому, к этому типу приближаются некоторые рудные районы Малого Хингана, где, по данным Г.В. Ициксон (1965), отмечается пространственное совмещение, с одной стороны, оловянных месторождений риолитовой формации, залегающих в куполах экструзий кварцевых порфиров ("вулканических"), и, с другой стороны, генетически родственных месторождений касситерит-кварцевой, касситерит-кварц-сульфидной и касситерит-сульфидной формаций, ассоциированных с трещинными интрузиями гранит-порфиров.

Районы третьего типа относятся к еще менее распространенным. Они характеризуются одновременным проявлением разнородного магматизма: сиалического и фемического, а также наличием магматических образований, промежуточных по своему составу, но при близких фациях глубинности этих пород. В результате в районах третьего типа, наряду с генетически родственными рудными формациями, присутствуют и такие, которые по своему составу настолько отличаются, что для них не устанавливается единый ряд или такой ряд может быть получен лишь с привлечением данных уникальных месторождений, т.е. в этих районах по-

являются чуждые рудные формации. Одним из наиболее ярких примеров чуждых формаций являются месторождения таких металлов, как олово и золото, можно назвать и некоторые другие примеры (олово – никель, олово – ртуть, бериллий – молибден, бериллий – золото и др.). Возникновение таких, обычно "взаимоисключающих", пар связано с родством металлических элементов с различными типами магматических пород. Возникающие в результате чуждые рудные формации столь же характерны для этих рудных районов, что и генетически родственные. В то же время появление пространственно ассоциирующих рудных формаций для этих районов не характерно.

Рудные районы четвертого типа возникают, по-видимому, в исключительно редких случаях. В этих районах наряду со скрещением различных по составу рудных магм изменяются и фации глубинности ассоциированных с оруденением магматических проявлений. В этом случае в рудном районе возможны проявления самых различных по своим соотношениям рудных формаций: генетически родственных, пространственно ассоциирующих, чуждых и совмещенных. Возможно, к такого рода рудным районам в какой-то мере относятся упомянутые П.Ф.Иванкиным (1966) районы и области, переходной от Калбинского редкометального пояса с сиалическим магматизмом к Рудному Алтаю с его базальтоидными магматическими комплексами. Признаки подобного рода рудных районов присущи территориям с комплексным золото-оловянным и золото-редкометальным оруденением в Приамурье (Кунаев, 1963), на Северо-Востоке СССР (Сидоров, Тренина, 1966) и в Японии (Hideki, 1966).

Таким образом, в представленной классификации, в зависимости от соотношений магматизма различного профиля, фаций глубинности магматических пород и ассоциированных с ними рудных формаций, выделяются четыре типа рудных районов. Первый тип рудных районов характеризуется однородным по составу (фемическим или сиалическим) и фациям глубинности (плутоническим или вулканическим) магматизмом. В этих районах распространены генетически родственные и иногда совмещенные рудные формации. Второй тип рудных районов при однородном по составу магматизме характеризуется появлением вулкано-плутонических ассоциаций магматических пород. Для второго типа рудных районов характерно появление, помимо генетически родственных, пространственно ассоциирующих и отчасти совмещенных рудных формаций. Третий тип рудных районов появляется на стыке областей с разнородным по составу магматизмом, но имеющим одинаковые фации глубинности. В этих районах возможно появление генетически родственных, совмещенных и чуждых рудных формаций. Наконец, четвертому типу рудных районов присущи разнородные по составу и фациям глубинности магматические породы. В четвертом типе рудных районов возможны любые соотношения рудных формаций.

Особое положение в приведенной классификации будут занимать рудные формации, охватывающие месторождения, конвергентные по своему происхождению. К таким, например, по данным Э.Г.Дистанова, относятся колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. Э.Г.Дистанов выделяет среди них две самостоятельные рудные формации –

формацию вулканогенных колчеданно-полиметаллических месторождений и формацию плутогенных колчеданно-полиметаллических месторождений. Обе эти формации связаны с процессами раннего геосинклинального и орогенного базальтоидного магматизма. Вероятно, подобные рудные формации, включающие конвергентные месторождения, могут встречаться в районах с плутоническим и в районах с вулканическим магматизмом, в то время как другие рудные формации могут быть связаны только с определенными по глубинности фациями магматических пород.

Приведенная классификация рудных районов вскрывает возможность и иной конвергентности, связанной с различными по составу магматическими источниками. Некоторые сходные по минеральному составу и морфологии месторождения могут быть связаны как с магмами сиалического профиля, так и фемического. Такого рода явления в определенной мере присущи формациям оловянных, вольфрамовых и многих других месторождений.

Преимущество предложенной классификации при проведении металлогенических исследований заключается, в частности, в том, что, установив тип и глубинность магматических проявлений, образовавшихся в фазу завершения складчатости или в период активизации и зная металлогеническую специализацию района, можно указать, какие рудные формации следует ожидать при поисках.

Проблема гидротермальных рудных формаций охватывает обширный круг вопросов учения о месторождениях полезных ископаемых и в высшей степени актуальна по своему теоретическому и практическому значению.

Предлагаемое исследование является одной из первых работ, в которой делается попытка обобщить накопившийся опыт изучения рудных формаций. В ней дается комплекс собственно геологических и информационно-логических методов, разработанных автором или при его участии, которые делают формационный анализ рудных месторождений более совершенным инструментом для получения прогнозных заключений и теоретических выводов.

Итоги исследований, освещенных в данной работе, можно кратко сформулировать следующим образом:

1. В металлогенических исследованиях должен быть принят принцип группировки рудных месторождений по их естественным признакам, устанавливаемым непосредственными полевыми и камеральными наблюдениями, без использования при этом представлений о процессах их образования. Для этой цели наиболее эффективно использование рудных формаций, понятие о которых сформулировано автором работы. Это понятие и разработанные автором правила формализации минералогических и геологических характеристик месторождений дают основу для использования не только собственно геологических методов, но и специальных методов математики и кибернетики. Последние значительно расширяют возможности формационного анализа рудных месторождений.

Применение развитых в работе методов позволяет доказать, что рудные формации – это объективно существующие в природе группы месторождений со взаимосвязанным минеральным составом и геологическими условиями локализации. Эти группы могут быть определены на основе обработки и классификации данных о геологических признаках и минеральном составе месторождений.

Находящиеся в рамках одной рудной формации группы месторождений с отличающимся по второстепенным особенностям минеральным составом, но имеющие одинаковые геологические признаки, названы минеральными типами месторождений. Такие же группы, но с однородным минеральным составом и различающимися геологическими признаками – геологическими типами месторождений.

2. Необходимым условием оценки месторождений на ранних этапах исследований является правильное определение их формационного типа. Это достигается с помощью критериев выделения рудных формаций, которые подразделяются на минералогические, геологические и прочие.

Минералогическим критерием является устойчивая минеральная ассоциация, присущая всем месторождениям, принадлежащим к данной формации.

К геологическим относятся повторяющиеся на всех месторождениях формации особенности геологического строения, которые могут заключаться в магматическом контроле оруденения, региональной и локальной тектонике, составе и прочих свойствах вмещающих пород.

Прочие критерии выделения рудных формаций основаны на изучении околорудных изменений, поведении элементов-примесей и типоморфных особенностях минералов.

Выделение рудных формаций должно основываться на выявлении комплекса взаимосвязей между устойчивыми минеральными ассоциациями и геологическими условиями образования, что устанавливается с помощью изучения рядов рудных формаций и математической обработки геологических данных.

Необходимо подтверждать правильность определения критериев формаций путем проверки статистической их обоснованности с помощью предложенных в работе методов.

Для получения необходимого для статистической обработки материала должен помочь предложенный автором метод сбора и хранения данных о месторождениях на перфокартах.

3. Формационный анализ большое значение имеет для выяснения степени сходства между рудными месторождениями. Это сходство может определяться количественно на основе разработанных автором методов, заимствованных из теории распознавания образов.

4. Количественное определение сходства между месторождениями по минеральному составу и геологическим признакам должно быть использовано для построения рудно-формационных классификаций, имеющих определенные преимущества перед такими же классификациями, полученными с помощью обычных геологических методов.

Эти преимущества заключаются в статистической обоснованности выделения рудных формаций и в значительно более точном определении формационной принадлежности месторождений путем количественного определения степени их сходства с различными рудными формациями.

Последнее обстоятельство имеет особое значение, поскольку оно связано с перспективной оценкой месторождений.

Преимущества формационных классификаций, основанных на количественном определении сходства, иллюстрируется на примере гидротермальных месторождений олова и золота.

Предложенный вариант формационной классификации гидротермальных месторождений олова отличается от предыдущих в числе прочих следующими принципиальными особенностями:

а) касситерит-силикатная формация в ней выделяется, но рамки ее значительно уже, чем это представляется большинству исследователей;

б) оловянно-полиметаллические месторождения выделены в качестве минерального типа внутри касситерит-сульфидной формации, так как по геологическим условиям нахождения они тождественны с прочими касситерит-сульфидными месторождениями;

в) дана полуколичественная оценка роли минералов в различных выделенных формациях, охарактеризованы особенности геологических условий нахождения этих формаций, что позволяет путем несложной обработки данных о любом вновь найденном месторождении определить его место в предложенной классификации.

Классификация золото-сульфидно-кварцевых месторождений по минеральному составу подтвердила ранее сделанный Н.В. Петровской вывод о зависимости их состава от глубины образования и наметила ряд новых групп, причины появления которых требуют специального исследования.

6. На примере касситерит-сульфидных месторождений установлено, что для оценки перспектив и определения совокупности геологических признаков, характерных для крупных месторождений на основании данных о немногих объектах-эталонах, с успехом могут быть применены методы дискретного анализа. Однако они могут быть использованы лишь при соблюдении определенных условий, заключающихся в следующем:

а) шкала геологических признаков, выбранных для исследования, должна содержать в основном признаки, положительно влияющие на образование крупных месторождений;

б) эталонные месторождения должны принадлежать к одной рудной формации;

в) месторождения, подлежащие оценке, должны находиться в аналогичной геологической ситуации с объектами-эталонами и принадлежать к той же рудной формации.

7. Положительной особенностью применения информационно-логических методов является их способность выявлять вопросы для геологического осмысливания и изучения. Примеры таких вопросов приведены в разделах о рудно-формационных классификациях и о применении дискретного анализа к оценке месторождений.

8. Метод изучения рядов рудных формаций является основным сравнительным геологическим методом изучения месторождений, позволяющим связать данные изменения минерального состава и геологических факторов и тем самым, обосновать выделение рудных формаций и определить их характерные критерии.

В результате данные, полученные путем изучения рядов рудных формаций, могут быть затем использованы для прогнозирования вероятных типов оруденения в новых рудных районах.

Изучение рядов рудных формаций позволяет вскрыть причины, порождающие появление в природе определенных групп рудных формаций, и подойти к классификации рудных районов в зависимости от различных соотношений локализованных в них рудных формаций по минеральному составу, геологическим признакам и времени образования.

9. Доказано широкое распространение специализированных "рудных серий", состоящих из закономерно сменяющих друг друга по времени образования месторождений различных рудных формаций. Закономерности в чередовании месторождений во времени устанавливаются по их абсолютному возрасту и геологическим соотношениям.

Геологический цикл, в течение которого образуется одна рудная серия, имеет длительность до 50 млн. лет. Разрыв во времени между следующими друг за другом рудными формациями достигает 15–20 млн. лет.

10. Комплекс предложенных методов формационного анализа гидротермальных рудных месторождений имеет большое значение при прогнозной оценке отдельных месторождений и рудоносных территорий.

Перечисленные выводы позволяют наметить пути дальнейшего развития методов формационного анализа магматогенных рудных месторождений и самого формационного анализа. Генеральной задачей, как это отметил В.И. Смирнов на "Совещании по эндогенным рудным формациям Сибири и Дальнего Востока" в г. Новосибирске еще в 1964 г., является создание рациональной формационной классификации эндогенных рудных месторождений.

Первый этап в создании такой классификации должен заключаться в углубленном изучении минерального состава руд, обязательно с учетом количественных соотношений минералов и в анализе геологических условий нахождения месторождений. На основании исследования геологических аналогий, использования метода рядов рудных формаций и выяснения закономерностей в их возрастной последовательности, а также путем использования уже имеющихся пометальных формационных классификаций следует создать несколько рабочих вариантов таких классификаций. Этот этап целесообразно проводить, используя современные средства хранения информации (перфокарты, ЭВМ и др.).

Следующим этапом будет проверка статистической обоснованности выделения рудных формаций. Прежде всего, необходимо подтвердить наличие взаимосвязи между минеральным составом и геологическими условиями нахождения.

Затем каждая выделяемая группа – рудная формация, должна получить обоснованную характеристику минерального состава с выделением типичных для формации минералов и характерных присущих данной формации в наибольшей степени условий нахождения, т.е. подлинная формационная классификация должна в равной мере отражать и особенности минерального состава и определяющие их особенности геологической обстановки.

Для решения этой генеральной проблемы необходимо решить целый ряд более частных задач, а именно:

1. В области обработки сведений о геологических условиях нахождения месторождений:

а) продолжение поисков наиболее рациональных методов, позволяющих определять значение отдельных геологических признаков для образования месторождений различных рудных формаций. В этом направлении необходимо усовершенствовать метод изучения рядов формаций, используя математическую обработку геологических данных;

б) дальнейшее совершенствование методов, позволяющих выяснить степень характерности различных геологических признаков для нахождения крупных месторождений.

2. В области использования данных о минеральном составе месторождений:

а) улучшить характеристику количественно-минералогических особенностей месторождений путем разработки и применения специальных ме-

тодов, а также путем широкого использования данных минералогического анализа технологических проб руды;

б) разработать более совершенные программы, позволяющие получить законченные варианты классификации месторождений по минеральному составу и геологическим признакам с помощью ЭВМ;

в) одновременно с данными о минеральном составе использовать для классификации сведения об элементах-примесях в минералах, составе окорудных изменений пород и других геолого-геохимических особенностях месторождений.

3. В области применения современных методов хранения и обработки информации о месторождениях:

а) создать достаточно представительную перфокартотеку, содержащую наибольшее количество сведений об известных месторождениях;

б) создать максимально гибкую и емкую систему хранения данных о месторождениях на ЭВМ.

Касаясь более дальних перспектив развития формационного анализа рудных месторождений, следует заметить, что использование методов распознавания образов, в том числе основанных на теории вероятностей и дискретном анализе, позволит дать более глубокую количественную характеристику аналогии какого-либо отдельного объекта с различными рудными формациями. В результате помимо создания классификации, чрезвычайно удобной для практических целей, пополнятся сведения о факторах, влияющих на процессы рудообразования, возможности промышленной оценки вновь выявленных рудопроявлений.

По-видимому, самое серьезное внимание должно быть уделено рассмотрению процессов рудообразования с позиций теории информации. Процессы рудообразования, перенос рудного вещества от источника к месту локализации последнего имеют, по нашему мнению, значительные аналогии с процессами передачи информации. Это обстоятельство должно стать объектом специального исследования.

Не менее важная задача — развитие методов изучения рядов рудных формаций и уточнение длительности периодов формирования и особенностей геологических условий образования различных типов рудных серий. Развитие исследований в этих направлениях, помимо уточнения границ между рудными формациями, дает дополнительные данные для суждений по некоторым кардинальным проблемам теории рудообразования. В частности, изучение рядов рудных формаций позволит по-новому рассмотреть зависимость изменения минерального состава месторождений от геологических условий их нахождения и в тех случаях, когда попытки выявления этих зависимостей прямыми геологическими исследованиями или статистическим путем могут не дать результатов. Выявление этих зависимостей в свою очередь позволит иначе подойти к некоторым вопросам генезиса.

Изучение рудных серий — характера составляющих их и сменяющих друг друга по времени образования рудных формаций, позволит с новых позиций подойти к вопросу о положении магматического источника рудносных растворов, длительности его существования, к изменению состава и глубины залегания этого источника во времени, а также дать допол-

нительные данные для выяснения причин металлогенической специализации, роли вмещающих пород как источников рудного вещества.

Можно выразить уверенность, что формационный анализ магматогенных рудных месторождений, основанный, с одной стороны, на использовании данных геолого-геохимических методов исследования, а с другой — на применении современных методов обработки информации, при дальнейшем своем развитии и внедрении в практику геологических работ позволит получить новые данные о процессах рудообразования и о закономерностях размещения месторождений.

Формационный анализ по мере своего применения в практических исследованиях даст возможность поднять прогнозную оценку рудоносности на новую, более высокую ступень, сделает более надежной перспективную оценку отдельных месторождений.

- Адельсон И.М., Шураев А.В. О новых структурах южной периферии Байкальского грабена, контролирующих размещение юнокимммерийского оруднения. – В кн. "Вопросы региональной геологии и металлогении Забайкалья", Чита, 1965, вып. 1.
- Архангельская В.В. О возрастных соотношениях свинцово-цинковой минерализации с кварцевыми диоритами на месторождении Савинское № 5 в Восточном Забайкалье. – Геол. руд. месторожд., 1962, № 5.
- Аристов В.В., Станкеев Е.А. Алгачинское рудное поле. – Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 83.
- Аристов В.В., Ляхов Л.Л., Соловьев Г.А. и др. Комплексные геолого-геофизические исследования рудных районов. Изд-во "Недра", 1969.
- Бабкин П.А., Сидоров А.А. Рудные формации Охотско-Чукотского вулкано-генного пояса. – Докл. АН СССР, 1968, т. 183, вып. 1.
- Бейли Н. Статистические методы в биологии. ИЛ, 1962.
- Бетехтин А.Г. О минераграфии. – Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 6.
- Бетехтин А.Г., Шадлун Т.Н., Филимонова А.А. Текстуры и структуры руд. Госгеолтехиздат, 1958.
- Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Структурно-текстурные особенности эндогенных руд. Изд-во "Недра", 1964.
- Билибин Ю.А. Общие принципы металлогенических исследований. – Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 5.
- Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. Госгеолтехиздат, 1955.
- Билибин Ю.А. Общие вопросы металлогении золота. Изд-во АН СССР, 1959.
- Богачкий В.В. О металлогенических классификациях эндогенных месторождений. – В сб. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Богданович К.И. Рудные месторождения. т. 1, СПб., 1912.
- Богушевский Э.М., Вапник В.Н., Певзнер М.Н., Рожкова Г.Ф., Червои енкис А.Я. Результаты экспериментов по применению математических характеристик руд для прогнозирования перспективности урановых месторождений на глубину. – В сб. "Математ. методы в геол.", Изд-во "Недра", 1968.
- Бродин Б.В. К вопросу о проявлении зональности на месторождениях Курганского рудного узла. Металлургиядат (Сб. научных трудов МИЦМИЗ, 1958, ч. 27).
- Бугаец А.Н., Гражданцев Н.Г., Дорофеюк А.А., Мацак А.П., Нарсеев В.А. Формальные методы разграничения геологических объектов и их применение при решении некоторых задач минералогии и металлогении. – В сб. "Применение мат. методов в геол." Алма-Ата, Изд-во "Наука", 1968.
- Бугаец А.Н., Дьячков В.А., Серова Л.Л. К использованию информационно-статистических методов при решении некоторых задач металлогении. – В сб. "Применение мат. методов в геол." Алма-Ата, "Наука", 1968.

- Быбочкин А.М. Месторождения вольфрама и закономерности их размещения. Изд-во "Недра", 1965.
- Быков Л.А. К вопросу о рудных формациях и рудных фациях. - Труды Среднеазиат. политехн. ин-та, 1959, вып. 6.
- Ван-дер-Варден Б.Л. Математическая статистика. Пер. с немецкого. ИЛ, 1960.
- Васильев В.И. Распознающие системы. Киев, 1969.
- Василькова Н.Н., Павловский А.Б. Изменение вмещающих пород на сульфидно-касситеритовых месторождениях Приморья. - Минеральное сырье, 1960, вып. 1.
- Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд-во "Наука", 1966.
- Видячкин Н.С. Колчеданные и полиметаллические рудопроявления в Чичинских горах и условия их образования. - В сб. "Очерки по геол. Сов. Карпат", Изд. Моск. ун-та, 1966, вып. 1.
- Вистелиус А.Б. Задачи геохимии и информационные меры. - Сов. геология, 1964, № 12.
- Вишневский А.С., Латыш В.Т. Основные черты геохимии оловянно-полиметаллического месторождения Сарыбулак в Центральном Тянь-Шане. - Изв. высш. учебн. завед., геология и разведка, 1965, № 8.
- Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1962.
- Вольфсон Ф.И., Невский В.А. О первичной зональности в гидротермальных месторождениях. - Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 1.
- Воробьев Г.Г. Применение перфорированных карт в промышленных и исследовательских лабораториях. - Зав. лаборатория, 1962, № 3.
- Воронин Ю. А., Еганов Э.А. К построению формальных основ учения о формациях. - В кн. "Геологические формации". Материалы к совещанию. Л., 1968.
- Воронин Ю.А., Еганов Э.А. Вопросы теории формационного анализа. - В сб. "Сравнительный анализ осадочных формаций". Изд-во "Наука", 1969.
- Геология олова. - Труды ИГН АН СССР, серия рудных месторождений, 1947, № 2.
- Гинзбург А.И. Типы месторождений редких элементов. - В кн. "Геология месторождений редких элементов". М., Госгеолиздат, 1961, вып. 14.
- Гинзбург А.И., Заболотная Н.П. Генетические типы месторождений редких элементов, связанных с субвулканическими образованиями. - В кн. "Материалы межведомственного совещания по проблеме рудоносность вулканогенных формаций". М., Госгеолиздат, 1965.
- Гогишвили В.Г. К металлогении Алавердско-Болнисской рудной области. - В кн. "Вопросы геологии Кавказа". Ереван, 1964.
- Гомберг Г.Л., Волок З.Е. Применение перфокарт для систематизации геологического материала по месторождениям полезных ископаемых УССР. 2-е Всесоюз. совещание по кодирован. и эффектив. применению ручн. перфокарт. Таллин, 1967.
- Горжевский Д.И. К вопросу о классификации гидротермальных месторождений. Мин. сб. Львов. геол. об-ва, 1962, № 16.
- Горжевский Д.И. О металлогеническом значении рудных формаций. 1964, № 6.
- Горжевский Д.И. Свинцово-цинковые рудные формации Алтая и Забайкалья и их геотектоническая позиция. - В сб. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока", Изд-во "Недра", 1966.
- Горжевский Д.И. Принципы промышленно-генетической группировки свинцово-цинковых месторождений СССР. - Труды ЦНИГРИ, 1967, вып. 75.

- Горжевский Д.И., Бородаевский Н.И. О книге Р.М.Константинова, В.А.Жарикова, Б.Н.Омельяненко, Н.В.Петровской, Е.Т.Шаталова "Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов". - Геол. рудн. месторожд., 1966, № 7.
- Горжевский Д.И., Козеренко В.Н. Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. Изд-во "Недра", 1965.
- Головков Г.С. Некоторые закономерности распределения сульфидной минерализации в оловорудных месторождениях Комсомольского района. - Изв. высш. учебн. завед., геол. и разведка, 1967, № 8.
- Головков Г.С., Степанова М.В., Селезнев П.Н., Кушев В.Б. Особенности медно-оловянной минерализации в Мяо-Чанском районе. - Геол. рудн. месторожд., 1967, № 4.
- * Григорчук Г.Ю. О стадиях минерализации. - Мин. сб. Львовского ун-та, 1965, № 19, вып. 2.
- Григорьев Ив.Ф. Генезис оловянных и оловянно-вольфрамовых месторождений Забайкалья. - Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 8.
- Григорьев Ив.Ф., Долманова Е.И. Об оловорудных месторождениях переходных типов между месторождениями касситерито-кварцевой и касситерито-сульфидной формации. - В кн. "Вопр. геол. южной части Дальнего Востока и Забайкалья. Изд-во АН СССР, 1956, вып. 3.
- Гродек А. Руководство к изучению рудных месторождений. Отрасль геологии. Перев. Ю.И.Эйхвальда, СПб., 1889.
- Дмитриев А.Н., Журавлев Ю.И., Кренделев Ф.Н. О математических принципах классификации предметов и явлений. - В сб. "Дискретный анализ", Новосибирск, 1966, вып. 7.
- Дмитриев А.Н., Журавлев Ю.И., Кренделев Ф.П. Об одном принципе классификации и прогнозе геологических объектов и явлений. - Геол. и геофиз., 1968, № 5.
- Долманова Е.И. Оловянно-вольфрамовые месторождения Ингодинского рудного узла и их генетические особенности. - Труды ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 23.
- * Долманова Е.И., Боярская Р.В., Ракчеев А.Д., Яковлевская Т.А. Касситерит и его типоморфные особенности. - В кн. "Типоморфизм минералов". Изд-во "Наука", 1969.
- * Домарев В.С. Рудные формации как историко-геологические образования. - Геол. рудн. месторожд., 1968, т. 10, № 4.
- Дороницын А.А. Использование математических методов в геологических исследованиях. - Изв. АН СССР серия геол., 1968, № 11.
- Дубровский В.Н. Что такое касситеритово-силикатная формация? - В кн. "Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР", Изд-во "Наука", 1969.
- Жариков В.А. Опыт классификации метасоматических образований на примере скарновых полей Западного Карамазара. - Зап. Всес. мин. об-ва, 1956, ч. 85, вып. 3.
- Жариков В.А. Скарновые месторождения. - В кн. "Генезис эндогенных рудных месторождений". Изд-во "Недра", 1968.
- Жариков В.А., Омельяненко Б.И. Некоторые проблемы изучения изменения вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями. - В кн. "Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов". Изд-во "Недра", 1965.
- Жилинский Г.Б. Оловяносыльность Центрального Казахстана. Изд-во АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1959.
- Захаров Е.Е. К вопросу о классификации месторождений полезных ископаемых. - Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 5.
- Захаров Е.Е. Опыт классификации серебро-свинцово-цинковых рудных месторождений. - Труды МГРИ, 1955, т. 28.

- Захаров Е.Е. О некоторых закономерностях в регионально-геологическом размещении руд черных и цветных металлов. – В кн. "Закономерности размещения месторождений полезных ископаемых". Изд-во АН СССР, 1958, т. 1.
- Захаров Е.Е. Опыт металлогенического районирования Европы. – В кн. "Закономерности размещения месторождений полезных ископаемых", Изд-во АН СССР, 1959, т. 2.
- Захаров Е.Е. О некоторых вопросах классификации рудных месторождений. – Сов. геология, 1965, № 9.
- Звижицкий Я. Свинцовые и цинковые руды в Польше. – В кн. "Геология, парагенезис и запасы руд зарубежных месторождений свинца и цинка". ИЛ, 1951.
- Иванкин П.Ф. Зональность колчеданного ряда месторождений Иртышской зоны смятия. – Докл. АН СССР, 1959, т. 126, № 4.
- Иванкин П.Ф. О соотношениях некоторых рудных формаций и их смене по простиранию рудных поясов. – В сб. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Иванкин П.Ф., Иншин П.В., Кузевный В.С. Рудные формации Рудного Алтая. Гостеолиздат, 1960.
- Иванов В.В. О парагенезисах гидротермальных месторождений, их геохимических особенностях и возможных источниках оруденения. – Труды ИМГРЭ АН СССР, 1963, вып. 10.
- Иванов В.В. Минералого-геохимические черты и индиенность рудных месторождений Якутии. Изд-во "Наука", 1964.
- Иванов В.В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. Изд-во "Недра", 1966.
- Иванов В.В. Некоторые вопросы регионально-геохимических исследований и перспективной оценки рудных районов и месторождений. – Геохимия, 1969, № 8.
- Иванов О.П. Формационный анализ оловорудных месторождений Яно-Борулахского района. – В кн. "Рудообразование и его связь с магматизмом" (тезисы докладов). Якутск, 1969.
- Иванова А.А. Минералогия и некоторые вопросы генезиса флюоритовых месторождений Восточного Забайкалья. Автореферат кандид. диссерт., Л., 1965.
- Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.П. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. Изд-во "Наука", 1967.
- Ициксон Г.В. Эволюция форм связи оловянного оруденения с магматизмом в процессе развития вулканогенного комплекса Малого Хингана. – В сб. "Матер. межведом. совещ. по пробл. рудоносн. вулканоген. формации", 1963, Изд-во "Недра", 1965.
- Ициксон Г.В. Роль тектонического фактора в зональном распределении оловорудных месторождений, их минеральном составе и перспективы рудоносности (в пределах единого рудного узла). – В кн. "Проблемы постмагматического рудообразования с особым вниманием к геохимии рудных жил", Прага, 1965, т. 2.
- Казанский В.И. О размещении верхнепалеозойских гранитоидных интрузий и очертаниях рудоносных площадей в Тихоокеанском рудном поясе. – Геол. рудн. месторожд., 1961, № 4.
- Казанский В.И. Новые структуры земной коры. – Природа, 1965, № 9.
- Казарян А.Г., Шехян Г.Г. К проблеме генезиса колчеданных месторождений Арм. ССР. – Докл. АН Арм. ССР, 1963, № 1.
- Канцель А.В. Функция распределения металла в рудах как генетическая характеристика процесса рудообразования. – Изв. АН СССР, серия геол., 1966, № 10.

- Канцель А.В., Лернер А.Я. Проблема использования вероятностно-статистических характеристик руд для классификации и прогнозирования рудных месторождений. – В сб. "Мат. методы в геол." М., Изд-во "Наука", 1968.
- Карамян К.А., Фармазян А.С. О стадиях минерализации Каджаранского медно-молибденового месторождения. – Изв. АН Арм. ССР, 1960, т.13, № 3-4.
- Каррара К. Новая схема генезиса колчеданно-полиметаллического месторождения Бурон на Северном Кавказе. – Вестн. Моск. ин-та геол., 1966, № 2.
- Кига́й И.Н. Лифудзинское оловорудное месторождение и некоторые вопросы гидротермального минералообразования. Изд-во "Наука", 1966.
- Кига́й И.Н. О пульсационной теории, стадиях гидротермального минералообразования и зональности оруденения. – В кн. "Вопросы генезиса и закономерности размещения эндогенных месторождений". Изд-во "Наука", 1966.
- Князев Г.И., Решитько В.А., Юрьев Л.И. Рудная зональность Береговского месторождения и ее прикладное значение. – В сб. "Проблема геологии и рудоносности неогена Закарпатья". Львов, 1966.
- Коган В.С. Мезозойская эпоха золотого оруденения в области Станового хребта. – Докл. АН СССР, 1968, т. 180, № 5.
- Козеренко В.Н. Геологическая характеристика Приаргунской полиметаллической зоны. – Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 83.
- Комаров П.В., Комарова Г.Н., Гольцман Ю.В., Аракелянц М.М. Возрастные соотношения интрузивных проявлений и минерализации Кличкинского рудного поля в Восточном Забайкалье. – Изв. АН СССР, серия геол., 1965, № 12.
- Комаров П.В., Демидова Н.Г. О возрасте верхнемезозойских грейзенов Восточного Забайкалья. – Геол. рудн. месторожд., 1966, № 4.
- Комарова Г.Н. К вопросу о возрасте флюоритовых месторождений Забайкалья. Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ за 1962 г., М., 1963.
- Комарова Г.Н. О закономерностях формирования флюоритовых месторождений Восточного Забайкалья на примере Гарсонуйского месторождения. – Изв. АН СССР, 1969, № 4.
- Константинов М.М. Зависимость состава свинцово-цинковых месторождений Северной Осетии от глубины их формирования. – Докл. АН СССР, 1965, т. 165, № 6.
- Константинов Р.М. О двух типах касситерита, установленных в кварцево-полевошпатовых жилах Этыкинского месторождения Восточного Забайкалья. – Зап. Всес. мин. об-ва, 1956, ч. 85, вып. 4.
- Константинов Р.М. Термины и понятия, относящиеся к проявлениям минерализации. – В кн. "Некоторые понятия и термины, применяемые при металлогенических исследованиях". М., 1960.
- Константинов Р.М. Рудные районы с длительно формирующимся оруденением на примере Восточного Забайкалья. Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1962 г., М., 1963.
- Константинов Р.М. Термины и понятия, применяемые при изучении рудной минерализации. – В кн. "Обзор геологических понятий и терминов в применении к металлогении". Изд-во АН СССР, 1963.
- Константинов Р.М. Изучение эндогенных рудных месторождений различных рудных формаций при крупномасштабных металлогенических исследованиях. – В кн. "Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов." Изд-во "Недра", 1965.
- Константинов Р.М. Методы изучения и критерии выделения магматогенных рудных формаций при крупномасштабных металлогенических исследованиях (на примере Восточного Забайкалья). – В кн. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.

- Койсантинов Р.М. О применении перфокарт при изучении эндогенных рудных месторождений. - Геол. рудн. месторожд., 1966., № 2.
- Койсантинов Р.М. О статистической обоснованности связей металлогенических факторов. - Сов. геология, 1969, № 2.
- Койсантинов Р.М. Рудные формации, математические и кибернетические методы их изучения. - В кн. "Проблемы геологии минеральных месторождений, петрологии и минералогии". Изд-во "Наука", 1969, т. 1.
- Койсантинов Р.М. Формационный анализ рудных месторождений при металлогенических исследованиях - В кн. "Металлогенический анализ рудо-контролирующих факторов в рудных районах". Изд-во "Недра" (1972).
- Койсантинов Р.М. Математические методы в металлогенических исследованиях рудных районов. - В кн. "Металлогенический анализ рудо-контролирующих факторов в рудных районах". Изд-во "Недра", 1972.
- Койсантинов Р.М., Бунич А.Л. Простые методы подсчета корреляции минерального состава рудных месторождений. - Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 7.
- Койсантинов Р.М., Джабар-Заде Р.М., Сиротинская С.В. О применении электронно-вычислительных машин для классификации рудных месторождений по минеральному составу. - Изв. АН СССР, серия геол., 1968, № 9.
- Койсантинов Р.М., Дмитриев А.Н. Использование математических методов анализа геологических факторов, влияющих на масштабы оруденения (на примере месторождений касситерит-сульфидной формации). - Геол. рудн. месторожд. 1970, № 2.
- Койсантинов Р.М. Определение формационного типа рудных месторождений и оценка их перспектив при металлогенических исследованиях (на примере оловянных месторождений Востока СССР). - В кн. "Рудообразование и его связь с магматизмом." Якутск, 1969.
- Койсантинов Р.М., Дмитриев А.Н. Простые методы определения формационной принадлежности рудного месторождения по геологическим данным. - Изд-во АН СССР, серия геол., 1971, № 2.
- Койсантинов Р.М., Кристалный Б.В. и др. Математические методы при изучении рудных месторождений. - В сб. "Итоги науки, серия геол. Рудные месторождения". Изд. ВИНТИ, 1970.
- Койсантинов Р.М., Лугов С.Ф. и др. Геология зарубежных оловорудных месторождений. Изд-во "Недра", 1969.
- Койсантинов Р.М., Макеева И.Т. Новые данные по геологии месторождений олова, вольфрама и молибдена. - В сб. "Итоги науки, серия геол. Рудные месторождения". Изд. ВИНТИ, 1967.
- Койсантинов Р.М., Макеева И.Т. Новые данные по геологии месторождений золота, свинца и цинка. - В сб. "Итоги науки", серия геол. "Рудные месторождения". Изд. ВИНТИ, 1970.
- Койсантинов Р.М., Сиротинская С.В., Бортников Н.С. О формационной классификации гидротермальных оловянных месторождений на статистической основе. - В сб. "Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР", Изд-во "Наука", 1972.
- Койсантинов Р.М., Тананаева Г.А., Иванов И.Б. Некоторые данные об абсолютном возрасте горных пород и руд Давендинского молибденового и Ключевского золоторудного месторождений (Восточное Забайкалье). - В сб. "Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР". Изд-во "Наука", 1969.
- Койсантинов Р.М., Тананаева Г.А. Изучение рядов рудных формаций, как метод сравнительного исследования месторождений. - Изв. АН СССР, серия геол., 1972, № 5.

- Константинов Р.М., Томсон И.Н. О месте низкотемпературного золотого оруденения в общей истории мезозойского рудообразования в Восточном Забайкалье в связи с задачами поисков. - В сб. "Золоторудные месторождения Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Константинов Р.М., Томсон И.Н. О типах рудных районов в Восточном Забайкалье. - В сб. "Очерки по металлогении восточных районов СССР". Изд-во "Наука", 1966.
- Константинов Р.М., Томсон И.Н., Чеглаков С.В., Андреева М.Г. Особенности зональности оруденения в некоторых рудных узлах Восточного Забайкалья. - Геол. рудн. месторожд., 1967, т. 9, № 3.
- Константинов Р.М., Томсон И.Н., Полякова О.П. Закономерности в возрастной последовательности формирования рудных формаций Восточного Забайкалья. - В сб. "Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР", Изд-во "Наука", 1971.
- Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов. - В сб. "Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях". Изд-во АН СССР, 1959.
- Коржинский Д.С. Кислотность-щелочность, как главнейший фактор магматических и послемагматических процессов. - В кн. "Магматизм и связь с ним полезных ископаемых". Госгеолтехиздат, 1960.
- Кормилицин В.С. Основные черты мезозойской металлогении Восточного Забайкалья. - Сов геология, 1959, № 11.
- Кормилицин В.С. Общие принципы выделения магматических и рудных формаций в зонах мезозойской тектонической активизации Забайкалья. - В кн. "Геологические формации", 1968.
- Кормилицин В.С. Мезозойские рудные формации Забайкалья (систематика и характеристика месторождений, закономерности их размещения и процессы рудообразования). Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук, Л., 1969.
- Котляр В.Н. Об особенностях образования некоторых близповерхностных послемагматических месторождений. - Изв. высш. учебн. завед., серия геол., разведка, 1961, № 1.
- Котляр В.Н. Однительности формирования послемагматических месторождений различной глубинности. - В кн. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1960, ч. 1.
- Куземко В.Н. Структура и рудоносность Михайловского рудного поля (Вост. Забайкалье). Автореферат канд. диссерт. Львов, 1967.
- Кузнецов В.А. Генетические группы и формации эндогенных рудных месторождений и их значение для металлогенического анализа. - В кн. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока", М., Изд-во "Наука", 1966.
- Кузнецов В.А. О книге Г.А.Твалчрелидзе "Геология рудных месторождений", 1967, № 3.
- Кузнецов В.А. и др. Эндогенные рудные формации, принципы их выделения и систематизации. - В кн. "Геологические формации", Л., 1968.
- Кузнецов В.А. Основные проблемы металлогении ртути. - В кн. "Вопросы металлогении ртути". Изд-во "Наука", 1968.
- Кузнецов В.А. Рудные формации. - Геология и геофизика, 1972, № 6.
- Кузнецов В.А., Дистанов Э.Г., Оболенский А.А., Сотников В.И., Тычинский А.А. Основы формационного анализа эндогенной металлогении Алтае-Саянской области. Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966.
- Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. Изд-во "Недра", 1964.

- Кулагашев А.П. Закономерности локализации и строения рудных полей в Нерчинско-Заводском районе Восточного Забайкалья. Автореф. кандид. диссерт. Новосибирск, 1965.
- Кунаев И.В. О зональном размещении редкометалльно-золотого оруденения Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья. - В кн. "Конференция проблемы постмагматического рудообразования", Прага, 1963.
- Лазаренко Э.А. Альпийский магматизм и рудообразование Закарпатья и сопредельных районов. - В сб. "Пробл. геол. и рудоносн. неогена Закарпатья". Львов, 1966.
- Лазаренко Э.А., Малыгин О.А. Особенности рудоносности вулканогенных формаций Закарпатья. - В кн. "Труды II Всес. вулканолог. совещ.", М., 1966, т. 1.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Рудные месторождения, ч. 1 (общая), СПб., 1911.
- Левицкий О.Д. Геология рудных месторождений Забайкалья. Изд-во "Наука", 1964.
- Левицкий О.Д., Смирнов В.И. Значение первичной занальности для поисков рудных тел гидротермального происхождения, не выходящих на поверхность. - Сов. геология, 1959, № 2.
- Левицкий О.Д., Аристов В.В., Константинов Р.М., Станкеев Е.А. Этыкинское оловорудное поле. - Труды ИГЕМ АН СССР, 1961, вып. 100.
- Лейфман Е.М. Геология и металлогения области сочленения Монголо-Охотского пояса и Становой зоны (на примере Шилка-Тургинского междуречья). Автореферат кандид. диссерт., Львов, 1967.
- Линдгрэн В. Минеральные месторождения. Перев. с англ. ОНТИ, 1934.
- Литвинов В.В. Основные черты геологии и петрологии юрских интрузий района среднего течения р. Газимур (Вост. Забайкалье). Автореферат канд. диссерт., Львов, 1966.
- Лугов С.Ф. Генетические типы оловянно-вольфрамового оруденения Чукотки и их промышленное значение. - Сов. геология, 1963, № 4.
- Лугов С.Ф. Геологические особенности оловянно-вольфрамового оруденения Чукотки и вопросы поисков. М., Изд-во "Недра", 1965.
- Лутков Р.И. Метод кодирования геолого-географического размещения месторождений полезных ископаемых на перфокартах с краевой двухрядной перфорацией. - В сб. "5-я научн. конф. мол. сотр. ИМГРЭ, М., 1967.
- Магакьян И.Г. Главнейшие промышленные семейства и типы руд. - Зап. Всес. мин. об-ва, вторая серия, 1950, вып. 4.
- Магакьян И.Г. Опыт классификации рудных формаций СССР. - Геол. рудн. месторожд. 1967, т. 9, № 5.
- Малахов А.А., Брагин И.К., Евфименко И.М. и др. Эндогенные рудные формации Узбекистана, Изд-во "ФАН", Ташкент, 1968, т. 1, 2.
- Малиновский Е.П. Структурные условия формирования жильных вольфрамитовых месторождений. Изд-во "Наука", 1965.
- Матвеев В.Т. Классификация месторождений олова С.С. Смирнова и ее роль в развитии оловянной промышленности СССР. - В сб. "Проблемы региональной металлогении и эндогенного рудообразования" (Годичная сессия Ученого совета ВСЕГЕИ, 1966). - Труды ВСЕГЕИ, 1968, т. 155.
- Матвеев В.Г., Шаталов Е.Т. Основные закономерности размещения оловянного оруденения на Северо-Востоке. - Геол. рудн. месторожд., 1964, № 2.
- Материки М.П. Генетические группы и формации оловорудных месторождений. - Сов. геология, 1964, № 11.
- Миллер Р. Кан. Дж. Статистический анализ в геологических науках. Перев. с англ. Изд-во "Мир", 1965.
- Мирошников А.Е., Прохоров В.Г., Гончук А.П. Статистическое исследование распределения золота в одном месторождении Кузнецкого Алатау. Геол. и геофиз., 1968, вып. 10.

- Надирадзе В.Р., Назаров Ю.И. Условия формирования и закономерности размещения эндогенных месторождений в Юго-Восточной Грузии. – В сб. "Закономерности размещения полезн. ископ". Изд-во АН СССР, 1962, т. 5.
- Назарова А.С., Пантелеева А.И., Александров Е.А. К вопросу о возрасте оловянного оруденения в Южном Приморье. – Изв. АН СССР, серия геол., 1969, № 1.
- Некрасов И.Я., Ненашев Н.И. О возрасте оловянного оруденения Северо-Восточной Якутии. – В сб. "Абсолютн. датирование тектономагматич. циклов и этапов оруденения по данным 1964 г.". Изд-во "Наука", 1966.
- Некрасов И.Я. Первичная зональность в рудных месторождениях северо-восточной Якутии и ее значение для поисков скрытых рудных тел. – В сб. "Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения", Госгеолтехиздат, 1963.
- Ниггли П. Генетическая классификация магматогенных рудных месторождений. Перев. с нем., Геолразведиздат, 1933.
- Никольская Л.В., Горчакова С.С. К вопросу о разработке системы кодирования по геологии рудных месторождений Центр. Казахстана. – Бюлл. МОИП, отд. геол., 1968, № 4.
- Образцова З.А. О термине "стадия минерализации". Вестник ЛГУ, серия геол. и геогр., 1962, вып. 4, № 24.
- Образцова З.А. О роли рудовмещающих пород в формировании гипогенных руд полиметаллических месторождений. – В кн. "Вопросы геологии и генезиса полезных ископаемых". Л., 1966.
- Обручев В.А. Рудные месторождения. Изд-во Московской горной академии, 1928, ч. 1.
- Онихимовский В.В. Структурные комплексы и интрузивные породы Комсомольского оловорудного месторождения. – Труды ЦНИИОлово, 1964, № 3.
- Онищук Ю.В., Колосова Т.Б. О золотоносности магнетитовых руд на примере одного из районов Восточного Забайкалья. – В сб. "Вопр. геол. Прибайкалья и Забайкалья", Чита, 1966, вып. I (3).
- Петровская Н.В. О некоторых случаях пространственного совмещения минеральных образований. – Зап. Всес. мин. об-ва, 1956, ч. 85, вып. 3.
- Петровская Н.В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций и формаций золотых руд СССР. – В кн. "Генетические проблемы руд", Госгеолтехиздат, 1960.
- Петровская Н.В. О систематике минеральных ассоциаций, возникающих при гидротермальном рудообразовании. – Геол. рудн. месторожд., 1965, № 1.
- Петровская Н.В. Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Советского Союза – Труды ЦНИГРИ, 1967, вып. 76.
- Петровская Н.В. О формациях золотых руд Узбекистана. – Геол. рудн. месторожд., 1968, № 3.
- Петровская Н.В. О типоморфизме самородного золота. – В сб. "Проблемы геол. минеральн. месторожд., петрол. и минералогии", Изд-во "Наука", 1969, т. 2.
- Петровская Н.В. Типоморфизм и некоторые черты генезиса самородного золота в убогосульфидных рудах формации малых глубин (на примере месторождений Забайкалья). – В кн. "Типоморфизм минералов". Изд-во "Наука", 1969 2.
- Петровская Н.В., Бернштейн П.С., Мирчинк С.Г., Андреева М.Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля. – Труды ЦНИГРИ, Госгеолиздат, 1961, ч. I и II, вып. 45.
- Петровская Н.В., Гриненко Л.Н., Чулахин М.С. Опыт применения метода изотопного состава серы при изучении медноколчеданного месторождения Учалы (Ю.Урал). – Геохимия, 1958, № 8.

- Петровская Н.В., Константинов Р.М., Сиротинская С.В. О применении математических методов для систематики золотых месторождений по минеральному составу. – Сов. геология, 1971, № 2.
- Покалов В.Т. Условия образования эндогенных месторождений молибдена в СССР. Изд-во "Недра", 1964.
- Полякова О.П. Геологические особенности, минеральные ассоциации и условия формирования свинцово-цинковых месторождений Кадаинского рудного поля (Восточное Забайкалье). Автореферат кандид. диссерт., М., 1963.
- Радкевич Е.А. Метаморфизм руд Синанчи. – Изв. АН СССР, серия геол., 1948, № 3.
- Радкевич Е.А. Касситерито-сульфидные месторождения. Изд-во АН СССР, 1953.
- Радкевич Е.А. К вопросу о классификации оловорудных месторождений. Изд-во АН СССР, серия геол., 1956, № 6.
- Радкевич Е.А. О типах вертикальной и горизонтальной зональности. – Сов. геология, 1959, № 9.
- Радкевич Е.А. К вопросу о классификации послемагматических месторождений и принципах выделения рудных формаций. – В сб.: "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Радкевич Е.А. Оловорудные формации и их практическое значение. – Сов. геология, 1968, № 1.
- Радкевич Е.А., Томсон И.Н. Наложение слюдисто-флюоритовой минерализации на сульфидную минерализацию на Щербаковском рудном поле. – Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 10.
- Радкевич Р.О. О процессах внутренних преобразований минералов на примере кварц-турмалиновых зон Комсомольского района (Дальний Восток). – В сб. "Генетические типы, условия образов. и закономерн. размещ. месторожд. олова и вольфрама сев.-запад. сектора Тихоокеанского пояса", Владивосток, 1966.
- Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. Изд-во "Недра", 1968.
- Родионов Д.А., Серых В.И. Проблема выбора поисковых признаков и ее статистическое решение. – В сб. "Математ. методы в геологии". М., изд-во "Наука", 1968.
- Рожков И.С. Генетические типы месторождений золота и их положение в геотектонических структурах. – Геол. и геофиз., 1968, № 7.
- Рудакова Ж.Н., Тихомиров Н.И. Типы оловорудных месторождений Забайкалья. – Зап. Всес. мин. об-ва, 1965, ч. 1, вып. 6.
- Рундквист Д.В. О факторе времени при формировании метасоматических пород, жил, прожилков грейзеновых месторождений. – Зап. Всес. мин. об-ва, вып. 94, № 1, 1965.
- Рундквист Д.В. О влиянии распределения температур горных пород на процессы метасоматического гидротермального минералообразования. – Зап. Всес. мин. об-ва, 1966, ч. 95, вып. 5.
- Рундквист Д.В. О генетической классификации месторождений при формационном анализе в аспекте времени. – В кн. "Геологические формации". Материалы к совещанию. Л., 1968.
- Рундквист Д.В. Эволюция рудообразования во времени. – В кн. "Геологическое строение СССР", Изд-во "Недра", 1969, т. 5.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Гостоптехиздат, 1953.
- Сергеев А.Д. О связи свинцово-цинкового, вольфрамового и редкометаллового оруденения в Приаргунье. – В сб. "Вопр. рудоносн. Вост. Забайкалья". Изд-во "Недра", 1967.
- Сидоров А.А., Тренина Т.И. Окологранитоидные золото-серебряные проявления Центральной Чукотки. – Геол. и геофиз., 1966, № 12.

- Скляр В.И., Перец В.А. Опыт подготовки данных для статистической оценки локализации золотого оруденения. — Разв. и охр. недр., 1966, № 11.
- Смирнов В.И. Наследование при эндогенном рудообразовании. Научн. докл. высш. школы, геол.-геогр. науки, 1958, № 4.
- Смирнов В.И. Конвергентность колчеданных месторождений. — Вестн. Моск. ун-та, серия 4, геология, 1960, № 2.
- Смирнов В.И. Очерки металлогении. Госгеотехиздат, 1963.
- Смирнов В.И. Порядок эндогенной рудной зональности. — В кн.: "Конференция. Проблемы постмагматического рудообразования", Прага, 1963.
- Смирнов В.И. Геологическая классификация гидротермальных месторождений. — Вестн. Моск. ун-та, геология, 1964, № 3.
- Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. Изд-во "Недра", 1965.
- Смирнов С.С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья. — Труды Всес. геол.-развед. объедин. НКТП СССР. Научно-технич. горно-геол., нефт. изд-во, 1933, вып. 327.
- Смирнов С.С. Очерк металлогении Восточного Забайкалья. Госгеолитиздат, 1944.
- Смирнов С.С. Некоторые общие вопросы изучения рудных месторождений. Избр. труды, Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 5.
- Смирнов С.С. Рецензия на книгу П.Ниггли "Систематика рудных месторождений". Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 1.
- Смирнов С.С. О современном состоянии теории образования магматогенных рудных месторождений. — Зап. мин. об-ва, 2-я серия, 1947, ч. 76, вып. 1.
- Смирнов С.С. Заметки по некоторым вопросам учения о рудных месторождениях. — Изв. АН СССР, серия геол., 1946, № 3. Избр. труды, Изд-во АН СССР, 1955.
- Смирнов С.С. К минералогии некоторых полиметаллических руд Забайкалья. Избр. труды, Изд. АН СССР, 1955.
- Смирнов С.С., Левицкий О.Д., Радкевич Е.А. и др. Геология олова, Изд-во АН СССР, 1947.
- Соколов Г.А. Основные геологические закономерности распределения рудных месторождений железа различных генетических типов в СССР. — В сб. "Закономерности размещения полезных ископаемых". Изд-во АН СССР, 1959, т. 2.
- Суганов Б.И., Богацкий В.В. Пространственно-статистический анализ геологических данных при металлогенических и геохимических исследованиях. — В сб. "2-е Сибир. совещание по применению матем. методов и ЭВМ в геол. и геофиз.", Новосибирск, 1967.
- Тананаева Г.А. О соотношении гидротермально измененных пород и рудных жил на молибденит-кварцевых и золото-сульфидных месторождениях Восточного Забайкалья. — В сб. "Новые данные по металлогении рудных районов Востока СССР". Изд-во "Наука", 1970.
- Твалчредидзе Г.А. О методике металлогенического анализа. — Сов. геология, 1961, № 3.
- Твалчредидзе Г.А. Опыт систематики эндогенных месторождений складчатых областей (на металлогенической основе). Изд-во "Недра", 1966.
- Твалчредидзе Г.А. Главные металлогенические особенности базальтоидных и гранитоидных геосинклиналей. — Геол. рудн. месторожд., 1967, № 5.
- Тимофеевский Д.А. Особенности геологического строения и структуры Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье). — Труды ЦНИГРИ, 1962, вып. 43.
- Тихомиров Н.И., Рудакова Ж.Н. Время выделения турмалина в ходе формирования некоторых оловорудных месторождений Забайкалья. — Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 3.

- Томсон И.Н., Дежин Ю.П., Лобанова Г.М., Иванов И.Б. О возрасте мезозойских эффузивов Восточного Забайкалья в свете данных абсолютной геохронологии. – В сб. "Новые данные по геологии рудных районов Востока СССР", Изд-во "Наука", 1969.
- Томсон И.Н., Константинов Р.М. О соотношениях между рудными формациями на примерах некоторых районов Тихоокеанского рудного пояса. – Геол. рудн. месторожд., 1961, № 4.
- Томсон И.Н., Константинов Р.М., Полякова О.П. О генетических рядах рудных формаций Забайкалья. – Геол. рудн. месторожд., 1964, № 2.
- Томсон И.Н., Полякова О.П., Константинов Р.М., Есиков А.Д. О внутреннем строении свинцово-цинкового пояса Восточного Забайкалья в свете свинцово-изотопных данных. – Геохимия, 1966, № 8.
- Томсон И.Н., Иванов И.Б., Константинов Р.М., Лобанова Г.М., Полякова О.П. Об абсолютном возрасте мезозойских магматических комплексов и рудных формаций Восточного Забайкалья. – Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 12.
- Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения. – Сов. геология, 1968, № 10.
- Томсон И.Н., Константинов Р.М., Полякова О.П. О системах повторных генетических рядов рудных формаций как основном выражении закона их множественности. – В кн. "Геологические формации". Матер. к совещанию. Л., 1968.
- Трофимов Н.Н., Полякова О.П., Малиновский Е.П. Свинцово-цинковые месторождения Смирновского рудного поля. – Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 83.
- Усов М.А. Краткий курс рудных месторождений. Томск, 1931.
- Устиев Е.К. Основные проблемы изучения вулканоплутонических формаций и связанных с ними рудных месторождений. – В сб. "Вулканич. и вулканоплутонич. формации", Изд-во "Наука", 1966, т. 2.
- Фаворская М.А. К вопросу о взаимоотношении эндогенного оруденения с эффузивными формациями. Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. – Труды 2-го Всес. петрограф. совещ. Госгеолтехиздат, 1960.
- Ферсман А.Е. Геохимия. Избранные труды. Изд-во АН СССР, 1955, т. 3.
- Филатов Е.И. Геологические предпосылки и методика поисков скрытого оруденения в блоках древних пород, располагающихся среди интрузивов (на примере Кадаинского рудного поля в Восточном Забайкалье). Автореферат канд. диссерт, М., 1967.
- Флакс Я.Ш. Диагностика медного эндогенного оруденения Южного Урала на основе использования закономерностей, выявленных обработкой эмпирического материала с помощью ЭВМ. – В сб. "Мат. юбил. научн. сессии по вопр. геол. Южн. Урала и Русск. платф." Тезисы докладов, Уфа, 1967.
- Фогельман Н.А. О связи близповерхностных золоторудных месторождений Забайкалья с нижнемеловым вулкан. мом. – В кн. "Рудоносность вулканогенных формаций", Изд-во "Недра", 1963.
- Фогельман Н.А. Структурное положение и металлогенические особенности некоторых мезозойских вулканоплутонических формаций Восточного Забайкалья. – В сб. "Материалы симпозиума по вулканоплутонич. формациям и их рудоносности". Алма-Ата, Изд-во "Наука", 1966.
- Хрущов Н.А. Классификация месторождений молибдена. – Геол. рудн. месторожд., 1959, № 6.
- Чайников В.И. Извержение породы и рудная минерализация южной части Тернейского района (Приморье). Автореферат кандидат. диссерт. Владивосток, 1962.

- Четырбоцкая И.И. Особенности распределения тантала, ниобия и скандия в вольфрамитах. – В сб. "Минералогия и геохимия вольфрамитовых месторожд." Изд. Ленингр. ун-та, 1967.
- Четырбоцкая И.И. Танталоносность вольфрамитов и касситеритов. – Геол. рудн. месторожд., 1968, № 3.
- Читаева Н.А. Геология и вещественный состав руд некоторых свинцово-цинковых месторождений Кадаинско-Покровского района (Восточное Забайкалье). Автореферат кандид. диссерт. М., 1962.
- Чухров Ф.В. Типоморфизм – важнейшая проблема современной минералогии. – В кн. "Типоморфизм минералов". Изд-во "Наука", 1969.
- Чухров Ф.В., Ермилова Л.П. О некоторых особенностях минерализации молибденовой и вольфрамовой формаций Центрального Казахстана. Межд. геол. конгресс, 22 сессия, "Проблемы генезиса руд". Изд-во "Недра", 1964.
- Шаталов Е.Т. Основные принципы генетической классификации рудоносных площадей (с эндогенной минерализацией). – В кн. "Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях рудных районов". Изд-во "Недра", 1965.
- Шахов Ф.Н. Принцип формаций в систематике месторождений, созданных горячими растворами. – В сб. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Шатский Н.С. О длительности складкообразования и о фазах складчатости. – Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 1.
- Шатский Н.С. Парагенезисы осадочных и вулканогенных пород и формаций. – Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 5.
- Шехтмар П.А. Принципы количественного прогнозирования на основе применения электронно-вычислительных машин. – В с. "Матем. методы в геологии". М., Изд-во "Наука", 1969.
- Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. ИЛ, 1958.
- Шило Н.А., Загзузина И.А. Магматические комплексы и металлогения Восточной Чукотки. – Труды Сев.-Вост. компл. н.-и. ин-та, 1965, вып. 12.
- Шило Н.А., Ложкин А.В. Месторождения золота Северо-Востока СССР. В кн. "Проблемы металлогении Советского Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1967.
- Шило Н.А., Сидоров А.А. Главнейшие черты золотого и золото-серебряного оруденения Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. – В кн. "Проблемы металлогении Советского Дальнего Востока", Изд-во "Наука", 1967.
- Шиманский А.А., Базанов Г.А. О возможности использования распределения Вейсбулла в решении геохимических задач. – В сб. "Математ. методы геохим. исследований." М., Изд-во "Наука", 1968.
- Шипулин Ф.К. О связи некоторых типов эндогенного оруденения с глубинными источниками. – В кн. "Симпозиум по проблеме связи магматизма и рудообразования". Изд-во "Наукова думка", Киев, 1968.
- Шеглов А.Д. О низкотемпературных месторождениях вольфрама в Забайкалье. – Труды ЧГУ, 1958, вып. 2.
- Шеглов А.Д. О некоторых особенностях формирования ртутно-сурьмяных вольфрамовых месторождений Забайкалья. – Зап. Всес. мин. об-ва, 1959, вып. 1.
- Шеглов А.Д. Остатках минерализации в молибденовых месторождениях Забайкалья. – Докл. АН СССР, 1960, т. 131, № 1.
- Шеглов А.Д. К вопросу о классификации вольфрамовых месторождений. – Труды ВСЕГЕИ, 1964.
- Шеглов А.Д. Мезозойские рудные формации активизированных складчатых областей Забайкалья. – В сб. "Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока". Изд-во "Наука", 1966.
- Шеглов А.Д. Металлогения областей автономной активизации. Изд-во "Недра", 1968.

- Шеглов А.Д. Представления С.С.Смирнова о рудных формациях и их значение для классификации эндогенных месторождений. – В сб. "Проблемы регион. металлоген. и эндоген. рудообраз". (Годичная сессия Ученого совета ВСЕГЕИ, 1966). Труды ВСЕГЕИ, 1968, т. 155.
- Шерба Г.Н. Грейзеновые месторождения. – В сб. "Генезис эндоген. рудн. месторожд." М., Изд-во "Недра", 1965.
- Шербаков Д.И. Принципы и методы составления металлогенических карт. – Сов. геология, 1945, № 5.
- Эндогенные рудные формации Узбекистана. Сб. под ред. А.А.Малахова, М.С.Кучукова, Р.А.Мусина, В.М.Петрова. Изд-во ФАН Узб. ССР, 1966.
- Эшби Р.У. Введение в кибернетику. ИЛ, 1959.
- Югай Т.А. Генетические группы третичных золоторудных проявлений в вулканических формациях Нижнего Приамурья. – Геол. рудн. месторожд., 1967, № 3.
- Яблонский С.В., Демидова Н.Г., Константинов Р.М., Королева З.Е., Кудрявцев В.Б., Сиротинская С.В. Тестовый подход к количественной оценке геолого-структурных факторов и масштабов оруденения. – Геол. рудн. месторожд., 1971, № 2.
- Amstutz G.C. A quantitative approach to paragenetic relations of ore minerals. Freiberg Forschung, 1965, 186.
- Cadigan R. A method for determining the randomness of regionally distributed quantitative geologic data. – Journ. Sediment. Petrol., 1962, v. 32, N 4.
- Cambell B., Tarkovsky J. Die bedeutung der Anwendung von graphischen darstellungen bei der Erforschung von Mikroelementen. – Geol. sb., 1968, bd.19, N 2.
- Denny J.D.M. A small set of circles for the determinations of nonopaque minerals. – Amer. Mineral., 1938, v. 21.
- Dines G., Henry. The meta liferous mining region of South-West England. With petrographical notes by J.Phemister, London, 1956, v. 1–2.
- Hideki Y. Formation of fissures and their mineralization in the vein-type Deposite of Japan. – J. Fac. Engng., Univ.Tokyo, 1966, B. 28, N 3.
- Klovan J.E. Selection of target areas by factors analysis. – West Miner., 1968, v. 41, N 2.
- Pouba Zdenek. On some causes of the repetition of mineralization in ore regions and ore deposits of the Czech massif. Praha, 1965, N 2.
- Thiergarther H. Zur Anwendung objektiver statischer kriterien bei geochemischen Vergleichen. – Z. angew. Geol., 1967, v. 13, N 4.
- Tischendorf G. Das System der metallogenetischen Faktoren und Indikatoren bei der Prognose uns Suche endogener Zinnlagerstätten. – Zeitschrift für angewandte Geologie. 1968, Bd.14, Hf. 8.

58-70-72
мозер

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА I	
ПОНЯТИЕ О РУДНЫХ ФОРМАЦИЯХ	9
Современное содержание понятия о рудных формациях, критериях и методах их выделения	9
История развития представлений о рудных формациях	18
ГЛАВА II	
КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МАГМАТОГЕННЫХ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМАЦИОННОГО ТИПА МЕСТОРОЖДЕНИЙ	29
Использование минерального состава для выделения рудных формаций и определения формационной принадлежности месторождений	29
Некоторые основные понятия, характеризующие вещественный состав руд и возрастные категории процессов рудообразования, необходимые для выделения рудных формаций	29
Применение простых методов распознавания образов для исследования минерального состава месторождений при формационном анализе	39
Другие минералого-геохимические критерии выделения рудных формаций	42
Определение геологических критериев при формационном анализе месторождений	48
Статистическое обоснование геологических характеристик рудных формаций	51
Способы обработки геологических данных для выявления характерных геологических признаков и определения формационного типа месторождений	63
ГЛАВА III	
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	75
Принципы составления шкалы признаков для характеристики месторождений	76
Применение электронно-вычислительных машин для классификации рудных месторождений по минеральному составу и геологическим условиям нахождения	80
О классификации гидротермальных оловорудных месторождений по минеральному составу и геологическим условиям нахождения	81
О классификации золоторудных месторождений по минеральному составу	111
Использование дискретного анализа для исследования данных о влиянии геологических факторов на образование крупных месторождений, относящихся к одной рудной формации	113

ГЛАВА IV

ИЗУЧЕНИЕ РЯДОВ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ КАК МЕТОД СРАВНИ- ТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 136

Ряды рудных формаций	136
Примеры рядов рудных формаций	147

ГЛАВА V

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ВОЗРАСТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБ- РАЗОВАНИЯ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ 154

Время формирования различных типов постмагматической минера- лизации в Восточном Забайкалье и Приморье	154
Возраст постмагматической минерализации в районах с золотым и молибденовым оруденением	163
Возраст постмагматической минерализации в районах с оловянным и вольфрамовым оруденением	166
Возраст постмагматической минерализации в районах со свинцово- цинковой минерализацией	169
О закономерностях в возрастной последовательности формирования рудных формаций Приморья	173

ГЛАВА VI

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ, КЛАССИФИ- КАЦИЯ РУДНЫХ РАЙОНОВ НА ФОРМАЦИОННОЙ ОСНОВЕ 179

Генетически родственные рудные формации	179
Пространственно ассоциирующие рудные формации	181
Совмещенные рудные формации	182
Чуждые рудные формации	184
Использование представления о рядах рудных формаций и рудных серий для анализа генетических соотношений между рудными фор- мациями	185
О классификации рудных районов на основе различных соотноше- ний рудных формаций	188

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 194

ЛИТЕРАТУРА 200

Рэм Михайлович Константинов

ОСНОВЫ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Утверждено к печати Институтом геологии
рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии

Редактор Издательства Н.В. Знаменская
Художественный редактор С.А. Литвак
Технический редактор С.М. Бякерева

Подписано к печати 4/VII-1973 г.
Формат 60 x 90 1/16, Усл.печ.л. 13,625
Уч.-изд.л. 14,81 Бумага офсетная № 1.
Т - 08391 Тираж 1400 экз. Тип. зак.436
Цена 1р.48к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 103717 ГСП,
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства "Наука".
Ленинград, 199034, 9-я линия, 12

1 p. 48 к.

825