Геофизика

УДК 525.21-54-172.552:16:550.93:548.0:53:096

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЭМИССИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД СТРАТИФОРМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО ВАЙГАЧА

В.Н. Сальников, В.И. Силаев*

Томский политехнический университет E-mail: svappolonia@mail.ru *Институт геологии Коми НЦ УРО Российской АН, г. Сыктывкар E-mail: sokerin@geo.komisc.ru

На основе комплексного изучения электрофизических свойств карбонатных пород Янгояхинского рудного поля установлено, что наличие рудных элементов обуславливает более сложную взаимосвязь естественной термолюминесценции и гамма-термолюминесценции с электропроводностью, что является одним из критериев рудоносности доломитов стратиформных полиметаллических месторождений. Одним из перспективных электрофизических методов для определения степени преобразования осадков и генезиса стратиформных месторождений является метод температурной зависимости электропроводности, основанный на анализе аномалий проводимости, возникающих как следствие изменения дефектности горных пород в различных геологических процессах при фазовых превращениях и полиморфных переходах первого и второго рода.

Ключевые слова:

Электрические свойства; исследования электрических и электромагнитных явлений; стратиформное месторождение; карбонатные породы; электропроводность; термолюминесценция; электромагнитная эмиссия.

Key words:

Physical properties; determination of phase electric and electromagnetic appearance; stratiform minefield; carbonaceous rock; electroconductivity; thermoluminescence; electromagnetic emission.

Общая геолого-минералогическая характеристика объекта исследований

Западно-Уральско-Вайгачский регион рассматривается исследователями как перикратонная область, активизированная и переработанная в связи с заложением, эволюцией и закрытием Уральского океана в палеозое [1]. Сходство геотектонической позиции и история развития является основной причиной подобия в пределах региона минерагении в целом и рудообразования в частности. Тождественность состава, строение и история формирования рудопроявлений Северного Урала и Вайгача приводят к выводу об их принадлежности единому Западно-Уральско-Южноземельному рудному поясу. По морфологическому признаку рудные тела подразделяются на пластовые согласные, пластовые секущие и жильные. Во всех случаях они представляют собой минерализованные зоны дробления и смятия. В целом формирование исследуемой минерализации происходило в варисцийский металлогенический цикл тектоногенеза синхронно колчеданному рудогенезу эвгеосинклиналей.

В формационном отношении минерализация Западно-Уральско-Вайгачского региона отвечает формации стратиформных месторождений в карбонатных породах среднего ордовика (O₂). В качестве формационных признаков выделяются приуроченность рудоносных территорий к области отраженной тектоно-магматической активизации, фациальная пестрота рудовмещающих отложений, отсутствие генетической связи с магматизмом, литологический контроль и пластовая форма рудных тел, повышенная германиеносность руд [2]. Комплексный анализ признаков различных стадий и этапов литогенеза позволяет расшифровать историю образования и преобразования пород [3]. Проведены геологические, петрографические и минералогические работы по выявлению генезиса стратиформной сульфидной минерализации на рудопроявлениях Западно-Уральско-Вайгачского региона. Сформулированы критерии топоминералогического прогнозирования рудоносности на примере четырех рудных районов, характеризующихся медно-молибденовой, колчеданно-полиметаллической, барит-полиметаллической и флюоритовой минерализацией. Рассмотрена идея регионального гидротермального минералообразования как результата полихронного функционирования гидротермальных палеосистем.

В состав Янгояхинского рудного поля Северного Вайгача входят несколько медных и цинковых рудопроявлений, рудные тела которых представляют собой стратиформные линзообразные зоны брекчиевидных доломитов с прожилково-вкрапленным сульфидным оруденением (рис. 1). Рудопроявления расположены большей частью в районе оз. Хэхэто и представляют собой участки, образующие своеобразную трех-четырех километровую зону северо-западного простирания, приуроченную к северо-восточному блоку глубинного разлома [4]. Выделяются три основных рудопроявления: Гора медная, Гора цинковая и Академическое (участок Рудный), образующие рудное поле, называемое Янгояхинским.

Хорошая геологическая, минералогическая и геохимическая изученность рудопроявлений послужила основой для постановки исследований электрофизических свойств карбонатных пород Янгояхинского рудного поля с целью выявления новых критериев рудоносности стратиформных месторождений. Одним из перспективных электрофизических методов для определения степени преобразования осадков и генезиса стратиформных месторождений является метод температурной зависимости электропроводности, основанный на анализе аномалий проводимости, возникающих как следствие изменения дефектности горных пород в различных геологических процессах при фазовых превращениях и полиморфных переходов первого и второго рода [5].

Образцы горных пород для электрофизических исследований представлены из одного типичного разреза рудопроявлений Янгояхинского рудного поля. Породы, слагающие Янгояхинское рудное поле, относятся к трехкомпонентным: кальцит-доломит-нерастворимый остаток. Содержание нерастворимого остатка в породах обычно колеблется в интервале 0...10 %, повышаясь лишь в мергелях до 49...52 %. По данным измерения инфракрасных спектров нерастворимые остатки в известковых и доломитовых породах полностью или существенно кварцевые. Совместно с кварцем встречаются слюда, хлорит и изредка калиевый полевой шпат. В тяжелой фракции обнаружены гранат и группа рудных минералов: пирит, халькопирит, борнит, сфалерит, галенит, гематит. Структуры пород бластопелитовые, иногда с переходом в микрогранобластовые. Текстуры массивная и сланцевая. Онтогенез пластовых месторождений представляется в следующем виде:

 Дорудный этап: вдоль разломных зон происходило брекчирование массивных плотных доломитов, которое обусловило увеличение в брекчиях эффективной пористости.

- Рудный этап: гидротермы вынесли часть (до 25...35 %) карбонатов. Общая пористость выросла в 2...2,5 раза, эффективная – в 1,5...2 раза. Рудные минералы начали отлагаться в открытых порах, что подтверждается замедлением темпов роста эффективной пористости.
- Поздний рудный этап: массовая кристаллизация рудных минералов в открытых порах, на что указывает резкое сокращение величины эффективной пористости (почти до исходной) при сохранении и даже некотором возрастании общей пористости.
- 4. Пострудный этап: отложение в открытых порах карбонатов и кварца.

Микроскопические наблюдения позволили установить проявление в породах трех видов перекристаллизации с укрупнением кристаллов, с уплощением зерен и в «тенях давления» [6]. Изучение контактового метаморфизма карбонатных пород указывает на интенсивное проявление в контактовых породах спекания и перекристаллизации с укрупнением кристаллов, которые ведут к резкому снижению пористости пород и росту зернистости агрегата. Перекристаллизация контактовых пород сопровождается «чисткой» кристаллов карбоната от примесей (глинистые частицы, углистое вещество), которые большей частью скапливается в межзерновых промежутках. Подготовка породы к гидротермально-метасоматическому замещению перекристаллизацией (укрупнение зерен минеральных агрегатов и очищение их от примесей) может происходить и при самом гидротермальном процессе - на фронте метасоматоза [7]. С целью экспериментальной проверки принципиальных возможностей перекристаллизации кальцитовых агрегатов при относительно низких температурах осуществлен отжиг спрессованных порошков углекислого кальция марки «ч.д.а.» [8]. В процессе прессовки при нагрузках 1600, 3200, 4800 кг/см² и температуре 20 °С (исходный препарат) экспериментами установлено, что величина энтропии возрастает с повышением температуры отжига, то есть по мере перекристаллизации исследуемых препаратов.

Рассмотрим электрофизические свойства карбонатов, используя проведенные эксперименты по термолюминесценции, электропроводности и импульсному электромагнитному излучению образцов, отобранных по разрезу одного из участков Янгояхинского рудного поля (рис. 1). Существование электрических и электромагнитных явлений в природе общеизвестно, хотя механизмы накопления, место локализации объемного заряда, обуславливающие данные явления, условия и время его релаксации недостаточно изучены. Аккумулирование заряда минералами при радиационном воздействии на горные породы, изменение их состава и увеличение их дефектности, влияние накопленного заряда и нарушений на электромагнитные явления, поиски подобных эффектов в природных объектах представляют научный и практический интерес [9].

Особого внимания заслуживают исследования механизма накопления информации минералами при образовании горных пород, т. е. информация, синхронная кристаллизации минерала в стадию сингенеза, и изменения их в стадию диагенеза с последующей метаморфической дифференциацией в стадию метаморфизма [10]. Поэтому необходимо исследовать внутренние причины возникновения электрических и электромагнитных сигналов при возбуждении минералов и горных пород тепловым, электрическим и радиационным полями, разработать физические модели механизмов их генерации, создать надежную аппаратуру для их регистрации, кодирования, обработки и хранения полученной информации. Часть исследований электрофизических свойств горных пород и минералов проведена для решения конкретных поисково-оценочных и разведочных задач [11], а также для объяснения быстропротекающих процессов в окружающей среде, в геоактивных зонах и в районах с антропогенной нагрузкой [5].

Электрофизические методы исследований

К электрофизическим методам относятся: электропроводность, термолюминесценция, измерение термотока, термостимулированная электромагнитная эмиссия и тангенс угла диэлектрических потерь. Для измерения импульсного электромагнитного излучения синхронно или раздельно с электропроводностью или термотоком образцов горных пород и минералов была изготовлена вакуумная ячейка, работающая в температурном режиме 20...1100 °С. Образец горной породы размером 20×20×2 мм зажимается между верхним измерительным электродом и нижним, на который подается напряжение при измерении проводимости или он заземляется во время регистрации термотоков. Диапазон регистрации тока проводимости или термотока от 10⁻¹³ до 10⁻³ А. Охранное кольцо отводит в землю поверхностные токи и значительно ослабляет краевой эффект [12].

Для измерения интенсивности электромагнитного излучения в радиодиапазоне частот при на-



Рис. 1. Схема расположения и геологического строения Янгояхинского рудного поля (по материалам В.И. Силаева [4]): 1) гора Медная; 2) гора Цинковая: 3) Академическое рудопроявление; 4) безрудные зоны брекчевидных доломитов; 5) Янгояхинское рудное поле

гревании кристаллических и аморфных гетерогенных систем без приложенного напряжения и в электрическом поле была использована установка и вакуумная ячейка. Регистрация электромагнитного излучения в радиодиапазоне частот осуществлялась специально собранной схемой к имеющейся установке по измерению электропроводности. Для измерения электромагнитного излучения в широкой полосе частот применялось пересчетное устройство ПП-9-2М чувствительностью 0,3 В, полоса пропускания 0,3...30 МГц, входное сопротивление 1,25 МОм. Ячейка испытывалась перед началом экспериментов на отсутствие помех и определялся уровень шума по отношению к полезному сигналу. Предлагаемое устройство вакуумной ячейки и схема по синхронной регистрации электромагнитного излучения, электропроводности и термотоков позволяют повысить точность определения температур фазовых превращений в минералах, горных породах и искусственных соединениях [5]. Искусственное облучение образцов карбонатных пород проводилось в лаборатории физики диэлектрических структур СФТИ при Томском госуниверситете от источника 60Со гамма-лучами на установке ГУП-Со-60. Мощность дозы источника составляла 1,6·10⁴ Р/ч, доза облучения образцов равнялась 4,0·10⁵ Р.

Обсуждение результатов исследований

Ранее на кривых естественной термолюминесценции (ЕТЛ) доломитов из рудопроявлений Северного Вайгача получено два пика термовысвечивания при температуре 228...250 и 290...312 °С [2]. В исследуемых породах и рудах выделяются два типа доломита: «неперекристаллизованный» (Дол-1), тонкозернистый и доломит второго типа (Дол-2), который представлен прожилками и выделениями более крупных бесцветных зерен, являющихся результатом перекристаллизации Дол-1. Интенсивность ЕТЛ Дол-2 всегда выше, чем у Дол-1. Установлено, что в то время как высвечивание Дол-1 почти не меняется при переходе от породы к рудам, ЕТЛ Дол-2 в том же направлении усиливается. По данным ЭПР [13] наблюдаемые пики ЕТЛ доломита обусловлены центрами свечения Mn²⁺. Термолюминесценция марганца становится сенсибилизированной в присутствии свинца (Pb²⁺) и линейно возрастает с увеличением его концентрации. Концентрация активатора (Mn²⁺) в перекристаллизованных доломитах выше, чем в неперекристаллизованных. В перекристаллизованных доломитах содержание свинца возрастает, а в доломитах (1 и 2) безрудных пород – приблизительно одинаково.

В данной работе впервые получены результаты по исследованию импульсного электромагнитного излучения и электропроводности карбонатных пород стратиформных полиметаллических месторождений одного из рудопроявлений Северного Вайгача. Для восстановления радиационной «памяти» применялся способ облучения образцов гаммаквантами с последующим термостимулированием и регистрацией светового потока в виде гамма-термолюминесценции. Такая методика была опробована нами ранее на карбонатных породах палеозойских отложений нефтяных месторождений Томской области [12].



Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности образца известняка (а): 1) нагревание; 2) охлаждение; изменение вакуума в системе (б); электромагнитные импульсы при нагревании (в); электромагнитные импульсы при охлаждении (г); природная термолюминесценция (д); дифференциальный термографический анализ (е); дифференциальный термографический анализ потери веса (ж); гамма-термолюминесценция (обр. 1052) (з)

Термолюминесценция карбонатных пород Янгояхинского рудного поля характеризуется двумя максимумами: 220...230 и 280...310 °С для известняков; 230...250 и 280...310 °С для доломитов (рис. 2, д; 3, д). По отношениям третьего пика ТЛ и интенсивности второго пика ТЛ можно довольно точно разделить известняки и доломиты. Для известняков эти соотношения не превышают 1,06, в то время как для доломитов характерны высокие значения -1,28...3,0. Средние значения запасенной светосуммы у известняков более высокие (62,35 отн. ед.), по сравнению с доломитами (23,73 отн. ед.), хотя отдельные значения запасенной светосуммы у пятнистых доломитов превышают средние значения на два порядка. Следует отметить, что пики ТЛ перекристаллизованных доломитов, доломитовых мергелей, доломитов с содержанием рудных элементов слабо проявляются, особенно пик 220 °С. По-видимому, присутствие ионов Fe²⁺, Fe³⁺, Co²⁺ и Ni²⁺ вызывают тушащее действие при люминесценции в рассматриваемых карбонатах. Как было отмечено ранее, первичный характер термолюминесценции минерала, испытавшего термальный метаморфизм, может быть восстановлен гамма-облучением, возбуждающим погашенные метаморфизмом и другими геологическими процессами центры свечения. Кривые гамма-термолюминесценции (гамма-ТЛ) более объективно, чем ЕТЛ, отражают малейшие изменения в плотности локализованных электронов на микродефектах кристаллов, приобретенных как в процессе первичной кристаллизации, так и в течение геологического времени. Установлено, что ТЛ предварительно облученных гамма-квантами известняков имеет три максимума при 110, 235 и 312 °С [14]. Необлученный карбонат СаСО₃ (марки «ч.д.а.») обнаруживает очень слабый пик при 310 °С. Облучение гамма-квантами приводит к появлению пиков в области температур 130...140, 180...220, 260 °C [15].

На кривых гамма-термолюминесценции для всех образцов наблюдаются три пика термолюминесценции 100...110, 200...220, 280...300 °С (рис. 4). Самые низкие значения светосуммы ТЛ относятся к образцам из рудной зоны или доломитовым мергелям. Отношения интенсивности второго пика ТЛ к первому характеризуют доломитостость образцов. Известняки имеют значения этих отношений от 0,3 до 0,68, а доломиты — от 0,6 до 7,34. Особенно высокое значение отношений I₂/I₁ имеют доломиты из рудной зоны и перекристаллизованные. Морфология кривых гамма-ТЛ представлена на рис. 4.

Из литературных данных известно, что первый максимум на кривой термолюминесценции в интервале низких температур 100...120 °С обусловлен рекомбинацией свободных электронов с дырочными центрами окраски (V-центр, CO₃⁻³ и, возможно, другими) вследствие термического разрушения электронных Ca⁺-центров. Снижение величины первого пика TЛ образцов, содержащих доломиты,



Рис. 3. Температурная зависимость электропроводности доломита с сетью прожилок перекристаллизации (a): 1) нагревание; 2) охлаждение; б) гамма-термолюминесценция; в) дифференциальный термографический анализ; г) дифференциальный термографический анализ потери веса; д) природная термолюминесценция (обр. 1010)

обусловлено уменьшением концентрации Са⁺-центров вследствие вхождения в решетку кальцита (CaCO₃) дополнительных ионов магния и образованию кристаллической решетки доломита. Ионы магния, вероятно, не образуют устойчивых Mg⁺-состояний в решетке кальцита. Второй и третий максимумы на кривой гамма-ТЛ обусловлены отжигом карбонатных центров СО3-3, находящихся в комплексах с примесными ионами Fe³⁺, Pb³⁺ и др., а также разрушением электронных и дырочных центров окраски (F^+ -центр, CO_2^-), в результате термической активации ионов и катионов и их вакансий. Здесь обращает на себя внимание отсутствие третьего пика ТЛ после гамма-облучения у доломита пятнистого (обр. 1028). Третий пик естественной термолюминесценции исчезает, вероятно, с процессами рекомбинации дефектов Ca^+ , CO_3^{-3} , CO_2^{-}), и др. в процессе радиационного отжига. Запасенная светосумма гамма-ТЛ увеличивается примерно в 5 раз (от 1109,0 до 5500,0 отн. ед.). Данный доломит можно отнести к Дол-2. Средние значения запасенной светосуммы известняков (159,1 отн. ед.) незначительно превышают таковые доломитов (136,4 отн. ед.). Отношения возрастают с увеличением нерастворимого осадка только у известняков, а для доломитов установлена обратнопропорциональная зависимость. Самые высокие значения отношений второго пика гамма-ТЛ к первому (6,9/7,3) характеризуют доломит, содержащий рудные компоненты, что может служить диагностическим признаком на наличие оруденения.

Рассмотрим возможность регистрации физикохимических процессов в карбонатных породах методом электропроводности и импульсного электромагнитного излучения на наиболее типичных образцах известняков (обр. 1052) и доломитов (обр. 1010). Температурный ход электропроводности при нагревании известняка характеризуется изменением энергии активации носителей заряда, значения которых растут до 160 °С (рис. 2). Данный интервал изменения электропроводности соответствует началу, экстремуму и окончанию первого пика гамма-ТЛ, а, соответственно, обусловлен электронно-дырочной проводимостью при рекомбинации свободных электронов с дырочными центрами окраски (V-центр) вследствие разрушения электронных центров Са⁺. Второму и третьему максимуму естественной и гамма-ТЛ соответствует изменение энергии активации носителей тока при температурах 160...190...220...260...320...390 °С. За электропроводность в этом случае ответственны процессы разрушения электронно-дырочных центров



Рис. 4. Изменение температурной зависимости электропроводности (а) и гамма-термолюминесценции (б); I) известняка (обр. 1033); II) доломита пятнистого (обр. 1009); III) доломита с сетью прожилок перекристаллизации (обр. 1013); IV) доломита брекчевидного с бедным оруденением (обр. 1014). Заштрихованная часть площади – область актов возникновения и рекомбинации носителей зарядов; пунктирная линия (в) – среднее значение энергии активации зарядов

окраски (F^+ -центр, CO_2^-), т. е. исключена возможность ионной проводимости за счет примесных ионов Fe³⁺, Pb³⁺ и др. Если соединить линией точки на кривой электропроводности, соответствующие началу и окончанию гамма-термовысвечивания, то получим среднюю энергию активации (Е) электронно-дырочной проводимости. В данном случае она равна 0,56 эВ. Области, находящиеся между прямой и линией электропроводности снизу, характеризуют акты рекомбинации носителей зарядов, а области, расположенные вверху средней линии активации, отражают процессы разрушения электронно-дырочных центров, а, соответственно, обуславливают увеличение количества носителей зарядов в области проводимости. Число таких областей актов возникновения и рекомбинации носителей зарядов растет с содержанием рудных элементов и перекристаллизации доломитов (рис. 4).

После нагревания до 1000 °С и охлаждения до комнатной температуры образец 1052 через сутки снова нагревали. Начальная электропроводность при 20 °С образца известняка при нагревании второй раз уменьшилась на два порядка. Изменения энергии активации начинаются после 110 °С и также отражают основные точки экстремумов ЕТЛ и гамма-ТЛ. Энергия активации этого участка повышается до 0,71 эВ, а температура окончания этого процесса на 40 ниже (350 °C), чем при первом нагревании. При охлаждении электропроводность также отражает температуры выделения запасенной энергии в виде ТЛ, как при первом, так и при повторном нагревании. Эксперимент доказывает, что в карбонатных породах также существуют биографические дефекты, которые не разрушаются даже после нагревания до 1000 °С, участвуя в перераспределении зарядов, изменяют электропроводность. Эффекты «памяти» о воздействии радиационных полей в ходе формирования и изменения породы записаны на ионно-катионных подрешетках кальцита и доломита (рис. 2, 3). В отличие от известняков, электропроводность доломита более ярко выражает физико-химические процессы. Так, в области выделения запасенной энергии электропроводность изменяется синусоидально. Максимум 100...210...300 °С и минимум 210...300...440 °С температурной зависимости электропроводности обусловлены процессами разрушения электроннодырочных центров окраски и их дальнейшей рекомбинацией. Энергия активации в интервале выделения запасенной энергии (50...440 °C) равна 0,12 эВ, что значительно меньше, чем у известняков. Информация о дефектах, на которых запасается энергия, сохраняется и на обратном ходе кривой проводимости (охлаждения) и проявляется в смене энергии активации и импульсном изменении её значений.

Среднетемпературный интервал изменения температурной зависимости электропроводности, который несет генетическую информацию о формировании горной породы, представлен интервалом температур 400...600 °С (рис. 2, 3). Интервал

характеризуется экзотермическими реакциями, возникающими вследствие окислительно-восстановительных реакций за счет рудных компонентов и органических остатков, содержащихся в карбонатных породах из зоны рудопроявления. За экзотермическими эффектами, после 560...580 °C, следуют эндотермические реакции, сопровождающиеся выделением газовой фазы, распадом твердых растворов и поляризацией образца. Например, исходя из данных работы [2], на термограммах пирита, отобранного из контактных пород, выделяются три этапа преобразования. Интервал нагревания от 20 до 330...420 °С характеризуется только потерей веса (1...8 %). В интервале от 420...470 °С до 500...550 °С наблюдается сильный экзоэффект с максимумом 480...490 °C, сопровождающийся потерей 3...8 % веса исходного образца. Этот эффект обусловлен окислением пирита, протекающим в три этапа, с конечными продуктами – O, SO₂, Fe₂O₃ (магнетит). Полное сгорание пирита приводит к потере 33 % веса минерала. Дальнейшее нагревание пирита до температуры 640...650 °С сопровождается эффектом 570...880 °С. Предполагается, что на этом этапе происходит сложная диссоциация продуктов окисления пирита и потеря еще 5...8 % веса образца. Близкие по температурам экзо- и эндоэффекты установлены и для других сульфидов карбонатных пород Янгояхинского рудного поля.

На основании экспериментов по электропроводности, электромагнитному излучению и дифференциального термического анализа (ДТА) карбонатных пород Янгояхинского рудного поля нами установлена стадийность процесса декарбонатизации, которая также может быть использована для определения условий минералообразования и диагенеза. На кривых ДТА известняков наблюдается один минимум при 960 °С, обусловленный распадом CaCO₃ на CaO и CO₂. Для доломита характерны два минимума: первый, связанный с распадом твердого раствора CaMg(CO₃)₂ на CaCO₃ и MgCO₃, который, в свою очередь, распадается на MgO и CO₂ (780 °C); второй возникает за счет распада Ca-CO₃ на CaO и CO₂ (рис. 2, 3).

Применение электрофизических методов позволяет уточнить кинетику процесса распада твердых растворов и рекомендовать новый способ определения температур геологических процессов [15]. Комплексный анализ электрофизических свойств карбонатных пород, определения различных стадий и этапов литогенеза позволят расшифровать историю образования и преобразования пород.

На рис. 5 представлены кривые изменения естественной термолюминесценции, гамма-ТЛ и энергии активации носителей заряда по разрезу одного из рудных участков. Кривые запасенной светосуммы ЕТЛ и гамма-ТЛ изменяются почти синхронно вкрест простирания рудной залежи. Установлено, что интенсивность гамма-ТЛ меняется в зависимости от состава и элементов примесей карбонатных пород, а также дефектности слагающих их минералов. Максимумы запасенной светосуммы ЕТЛ и гамма-ТЛ приходятся на участки, сложенные пятнистыми доломитами (обр. 1028), известняками (обр. 1045, 1033) и брекчированными доломитами с убогим оруденением (обр. 1013, 1014). Среднее значение энергии активации (Е) в интервалах развития аномалий проводимости безрудных доломитов с сетью прожилок перекристаллизации (Е=0,2 эВ) меньше, чем оруденелых (Е=0,3 эВ) и без следов перекристаллизации (0,47 эВ). Диагностические признаки несет кривая суммы актов возникновения и рекомбинации носителей зарядов в области аномалий проводимости. Кривая, построенная по изменению количества свободных носителей зарядов в интервалах 20...400 °С, представляет собой экспоненту. Убывание количества свободных носителей заряда идет в направлении оруденения. Кривая зависимости температуры окончания аномалий проводимости в интервале 20...440 °С от степени перекристаллизации доломитов имеет максимум (обр. 1010). В зоне развития первичных ореолов рассеяния рудных компонент (обр. 1013-1015) температура окончания аномалий проводимости постоянна и равна 390 °С. На этом участке не меняется количество аномалий проводимости (N). Число их на температурной зависимости проводимости растет от участка пятнистых доломитов к зоне гидротермальной проработки. Аномалии проводимости приурочены к минимумам и максимумам естественной ТЛ и гамма-ТЛ. Кривая, проведенная по минимальным средним значениям электропроводности, показывает, что её значения растут в направлении увеличения содержания рудных компонентов. Наличие участков перекристаллизации, элементов рудной минерализации в разрезе обуславливают сложную взаимосвязь между отдельными электрофизическими свойствами образцов карбонатных пород, что является одним из критериев оценки рудоносности.

Выводы

 Термолюминесценция карбонатных пород Янгояхинского рудного поля характеризуется двумя максимумами: 220...230 и 280...310 °С для известняков и 230...250, 280...310 °С для доломитов. По отношениям интенсивности третьего и второго пиков термолюминесценции можно



Рис. 5. Изменение физических свойств карбонатных пород по разрезу: 1) светосумма естественной ТЛ; 2) светосумма гамма-ТЛ; 3) изменение энергии активации носителей заряда; 4) количество аномалий проводимости; 5) сумма актов возникновения и рекомбинации носителей зарядов; 6) изменение количества свободных носителей зарядов; 7) температуры окончания аномалий проводимости; 8) значения электропроводности при 20 °C; 9) средние значения электропроводности при 20 °C, взятые по минимумам

уверенно разделять известняки и доломиты. Первый пик естественной термолюминесценции отсутствует.

 На кривых гамма-термолюминесценции для всех образцов карбонатных пород наблюдается три пика: 100...110, 200...220 и 280...300 °С. Самые низкие значения светосуммы относятся к образцам из рудной зоны или доломитовым мергелям. Отношения интенсивности второго

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Силаев В.И. Эволюция минералообразования в гидротермальных палеосистемах. – Л.: Наука, 1989. – 264 с.
- Силаев В.И. Минералогия и генезис стратиформной сульфидной минерализации. – Л.: Наука, 1982. – 232 с.
- Силаев В.И. Генетический анализ древних осадочных пород геосинклинальных областей // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 224. – № 2. – С. 43–433.
- Силаев В.И., Тихомирова В.Д., Хорошилова Л.А. Минералогия и условия формирования сульфидных рудопроявлений Северного Вайгача // Проблемы региональной минералогии / Труды Института геологии Коми филиала АН СССР. – Сыктывкар, 1978. – Вып. 24. – № 5. – С. 80–109.
- Сальников В.Н., Арефьев К.П., Заверткин С.Д. и др. Самоорганизация физико-химических процессов в диэлектрических природно-техногенных средах. – Томск: STT, 2006. – 523 с.
- Силаев В.И. Перекристаллизация карбонатных пород при эпигенезе // Доклады АН СССР. – 1974. – Т. 216. – № 2. – С. 414–417.
- Низамутдинов Г.Н. Перекристаллизация минеральных агрегатов в гидротермальном минералообразовании // Теория минералогии / под ред. Н.П. Юшкина. – Л.: Наука, 1988. – С. 97–105.
- Силаев В.И., Петровский В.А. Об энтропии процесса перекристаллизации / Сб.: Минералы рудных месторождений Север-

пика к первому характеризуют доломитистость карбонатных пород.

 Данные по электропроводности, интенсивности электромагнитного излучения, термолюминесценции и термотоков, регистрируемых при физико-химических процессах в карбонатных породах, содержащих оруденение, можно использовать в качестве критерия рудоносности на стадиях поиска и оценки стратиформных месторождений.

ного Урала и Пай-Хоя / под ред. Н.П. Юшкина. – Сыктывкар. 1976. – С. 38–40.

- Способ определения температур минералообразования и полиморфных превращений: а.с. 949445 СССР. заявл. 25.07.80; опубл. 07.04.1982, Бюл. № 29. – 10 с.: ил.
- Жабин А.Г. Стадиальный анализ в генетической минералогии / Исследование рудообразующих минеральных систем. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – С. 45–55.
- Сальников В.Н., Монингер Г.Г., Заверткин С.Д., Коровкин М.В., Долгов И.В. О некоторых электрофизических свойствах кварцитов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1994. – № 3. – С. 89–99.
- Сальников В.Н., Шустов М.А., Паровинчак М.С. Электрофизические свойства горных пород нефтегазоносных месторождений Томской области / Труды Томскгазпрома: Научно-техн. сб. / под ред. Б.И. Соколова. – Томск: STT, 1999. – С. 46–57.
- Марфунин А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. – М.: Недра, 1975. – 320 с.
- Целлер Э. Термолюминесценция карбонатных отложений // Ядерная геология. – М.: Недра, 1956. – 312 с.
- Арефьев К.П., Заверткин С.Д., Сальников В.Н. Термостимулированные электромагнитные явления в кристаллах и гетерогенных материалах. – Томск: STT, 2001. – 400 с.

Поступила 09.04.2010 г.