

УДК 553:550.4

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ УГЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ И ИХ ОБРАМЛЕНИЯ: СОСТАВ И ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Р.Р. Хасанов

Аннотация

Исследована геохимия и рудная минералогия палеозойских углей, фоссилизированных растительных остатков и обогащенных органическим веществом (ОВ) морских отложений. Установлены причины различной сернистости исследованных углей, выявлены закономерности образования сульфидной минерализации.

1. Введение и постановка задачи

Угленосные формации характеризуются особым химизмом среды, оказывающим влияние на специфику миграции и накопления химических элементов. Вследствие этого с угленосными формациями, помимо энергетического сырья, связан широкий комплекс парагенных полезных ископаемых, в том числе и концентраций металлов [1, 2]. В палеозойских отложениях Татарского свода отмечаются три эпохи угленакопления [3] – девонская (франский ярус), раннекарбоновая (визейский ярус) и пермская (казанский ярус). С углепроявлениями и породами их обрамления ассоциируют концентрации рудного вещества, состав и количество которых зависят от геолого-геохимических условий образования угленосных формаций. Сингенетичная рудная минерализация в органических веществах представлена практически исключительно сульфидной формой. Основная цель исследования состояла в анализе генетических причин возникновения в угленосных и сопряженных с ними формациях рудных минералов и их скоплений.

2. Объекты и методы исследований

Исследована сульфидная минерализация в палеозойских углепроявлениях на территории Республики Татарстан, связанных с ними изолированных растительных остатках и морских обогащенных ОВ отложениях.

Для достижения цели произведено комплексное литолого-минералогическое и геохимическое исследование пород угленосных формаций, состава и свойств углей с применением физических и химических методов изучения вещества. Исследовано более 100 образцов углей, фоссилизированных растительных и фаунистических остатков, терригенных и карбонатных пород с включениями растительного детрита и иных органических фрагментов. Минералогия рудных включений в исследуемых образцах изучалась в отраженном свете и рентгенофазовым анализом. Использованы результаты углепетрографических исследований, выполненные в ВНИГРИУголь (г. Ростов-на-Дону).

Экспериментальные данные анализировались с позиции теории рудообразования с выявлением возможного источника вещества, транспортирующего агента, места рудоотложения и источника энергообеспечения [4]. Происхождение сульфидов и серы в углях и иных формах фоссилизированной органики имеет бактериальную сульфатредукционную природу [5], и реализация процесса обеспечивается жизнедеятельностью бактерий (энергоисточник). Большое значение для состава образующихся минералов имеют источники сульфат-иона (SO_4^{2-}) и вступающих в реакцию с серой металлов.

Полученные результаты имеют генетическое значение, так как свидетельствуют о связи ископаемых углей с пространственно и стратиграфически сопутствующими геологическими объектами (доманикиты, медное оруденение, нефть и др.).

3. Результаты и их обсуждение

В период палеозойского осадконакопления на территории Татарского свода существовали различные ландшафтно-геохимические обстановки, благоприятные для реализации рудообразующего процесса по схеме биогенной сульфатредукции. К числу основных относятся континентальные обстановки торфяников (углеобразование), обстановки морского накопления богатых ОВ осадков (доманикиты и сероцветные лингуловые глины) и изолированные фоссилии (растительный детрит, лигниты, минерализованная древесина).

3.1. Девонский период. В девонском периоде (франский ярус) существовали две основные обстановки биогенного образования сульфидов, различающиеся условиями литогенеза и составом ОВ, – континентальная (торфяники и изолированные растительные остатки) и морская (доманиковые фации).

Континентальные обстановки были связаны с гумидизацией климата, возникновением немногочисленных прибрежных торфяников и разлагающихся изолированных растительных остатков. Девонские угли – гумусовые, но характеризуются относительно высоким содержанием липоидных компонентов [3]. Они относятся к классу липоидолитов и обладают низкой сернистостью (2.35%). Рудные включения в углях встречаются редко и представлены сингенетичным пиритом в виде мелких сферических стяжений – фрамбоидов или выделений кристаллического пирита (кубы, октаэдры), расположенных согласно текстурированности угля. Среди терригенных образований отмечены выделения пирита и других сульфидов (халькопирит, сфалерит), связанные с углестым детритом [6]. Для реализации бактериальной сульфатредукции необходимо достаточное количество растворенного сульфат-иона (SO_4^{2-}) и реакционноспособного железа, в общем случае – металла [5]. В приморские торфяники сульфат-ион просачивался, очевидно, с морской водой. Источником растворенного железа служил терригенный материал девонских отложений, залегающих на кристаллическом фундаменте и питающихся продуктами разрушения магматических и метаморфических пород. Функционирование системы обеспечивалось в результате жизнедеятельности сообществ сульфатредуцирующих микроорганизмов. Отличительной чертой девонских углей является высокое

содержание липоидных компонентов, что обусловлено составом первых растений-углеобразователей [5].

Синхронно с углеобразованием в морских условиях происходило накопление обогащенных ОВ отложений мелководных доманиковых фаций, где также шло образование сульфидов железа (пирита, марказита). Они встречаются в виде фрамбOIDов, отдельных кристалликов и псевдоморфоз по микрофаунстическим остаткам. Принципиальная схема образования сульфидных минералов не отличалась от торфяников. Исследование доманикитов продиктовано следующими соображениями. Рассматривая генезис юрских горючих сланцев, Я.Э. Юдович [7] предложил концепцию образования черных сланцев, основанную на идее о гумидизации (увлажнении) климата в период их образования. Это приводило к поступлению с заболачиваемого побережья в мелководный бассейн обогащенной органикой болотных вод, повышению в нем биопродуктивности, снижению скорости минеральной терригенной седиментации и увеличению степени фоссилизации ОВ в придонном осадке. Тогда очевидно, что между угленосными и черносланцевыми отложениями существует генетическая и парагенетическая связь, обусловленная едиными причинами – климатическими изменениями.

Доманикиты, образованные аквагенным ОВ сапропелевой природы, характеризуются высоким содержанием липоидных компонентов. Наличие липоидов неблагоприятно для сульфатредукционной деятельности [5] и, по всей видимости, является причиной низкой сернистости девонских углей и доманикитов. Подчеркнем, что низкая сернистость характерна и для девонских нефтей.

3.2. Каменноугольный период. Углеобразование паралического типа [3] в карбоне происходило на пассивной континентальной окраине [8] в условиях гумидного литогенеза. Минералообразующие среды карбона связаны в основном с обстановками визейских торфяников, локализованных в углублениях на поверхности турнейской карбонатной толщи [3, 9]. Визейские угли (длинно-пламенные витринитовые) отличаются высокой (3–4% и более) сернистостью и относительно низким содержанием сульфидов железа – пирита, который встречается в виде мельчайших включений в основной массе (рис. 1) и замещает фрагменты исходной органики (рис. 2). Можно предположить, что визейское биогенное рудообразование характеризовалось высокой концентрацией SO_4^{2-} и активной сульфатредукцией при низкой концентрации реакционноспособного железа [9]. Сульфат-ион в торфяники поступал в результате просачивания морской воды. По [5, 9] теплый и влажный климат способствовали интенсивному разложению органической массы и развитию сульфатредуцирующего процесса, но из-за дефицита реакционноспособного железа, обусловленного преимущественно карбонатным составом обрамления торфяников, образование сульфидов было ограничено. В подобных условиях доминирующим процессом становится образование органической серы, избыток которой концентрировался в составе гуминовых кислот – преобладание органической серы является характерной чертой визейских углей. Косвенно эта гипотеза подтверждается тем, что в обогащенных терригенным материалом углистых аргиллитах недостатка железа не существовало, содержание сульфидов железа (пирита) значительно

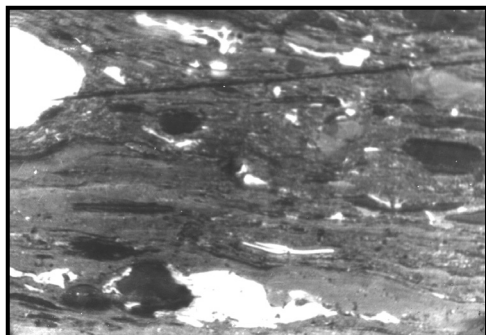


Рис. 1. Сульфиды железа в основной массе угля (Егоркинская залежь, скв. 8259). Увеличение – 600^x. Никколи параллельны

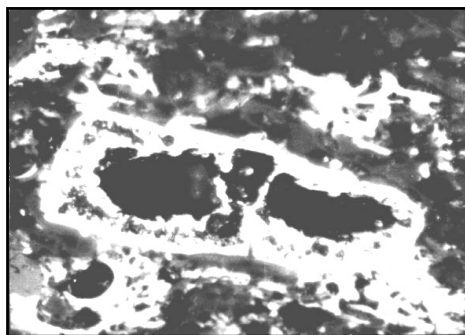


Рис. 2. Пиритизированная оболочка склероции (Красно-Ярская залежь, скв. 285). Увеличение – 760^x. Никколи параллельны

выше. В углистых аргиллитах часты находки пиритизированных фаунистических остатков (скв. 2156, 936) или скоплений сульфидов в породе (скв. 3489, 11845).

Таким образом, высокая сернистость и низкое содержание сульфидов в визейских углях обусловлены спецификой литогенеза. Известным фактом является высокая сернистость карбоновых нефтей Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, что может указывать на их генетическую связь с визейскими углями.

3.3. Пермский период. Пермские угленосные осадки формировались в обстановке бассейна форланда [8] и отвечают периоду кратковременной гумидизации [3] на фоне общей аридности климата [10]. В пермском периоде четко различаются два вида обстановок накопления седиментогенного ОВ с биогенным рудообразованием – континентальные и мелководно-морские.

В континентальных условиях в прибрежной зоне возникли очаги углеобразования, из которых в ходе геологической эволюции сформировались современные пермские углепроявления (Рудный Лог, Ахтиял, Голюшурма и др.). Величина сернистости слабометаморфизованных (буроугольная стадия Б1) пермских углей изменяется в широких пределах от 0.3% до 4%. Рудные включения в углях представлены мелкими кристалликами пирита, содержание которого не превышает 1%. Сульфат-ион, основным источником которого являются соседствующие с торфяниками гипсоносные толщи уфимского времени и ранней перми, просачивался в составе морской воды и, возможно, метеорных вод. Красноцветные отложения содержат значительное количество железа, которое, очевидно, поступало в торфяники в составе терригенной взвеси с поверхностными водами.

Другой тип обстановок связан с прибрежными и мелководно-морскими фациями, в которых образовались многочисленные рудопроявления типа медистых песчаников и сланцев. Особенность рудовмещающих пород заключается в обилии ОВ в виде остатков растений, фрагментов стволов деревьев, водорослей и морских организмов, к которым приурочены минералы меди – сульфиды (халькозин, ковеллин), оксиды (куприт, тенорит), карбонаты (малахит, азурит)

и другие [11, 12]. Проявления меди приурочены к зоне сочленения морской сероцветной и континентальной красноцветной формаций. Принято различать мансфельдский, каргалинский и вятский типы оруденения [12–14], которые характеризуются различными продуктами рудогенеза. Мансфельдский и вятский типы обладают некоторым литолого-геохимическим сходством и представляют собой ассоциации глинисто-алевритистых и глинисто-мергелистых пород с углистым детритом и рассеянной медной минерализацией (малахит, реже азурит). Первый из них связан с регионально залегающими в основании казанского яруса трансгрессивными мелководно-морскими сероцветными глинами (лингуловый горизонт). Второй спорадически проявлен по всему разрезу казанского яруса, кроме нижнего горизонта, в виде локальных прослоев меденосных пестроцветных отложений регрессивной серии.

В трансгрессивную стадию происходило накопление сероцветных глин лингулового горизонта. Согласно концепции Я.Э. Юдовича [7], морскую сероцветную толщу, обогащенную ОВ (1–5%), можно рассматривать в генетической связи с континентальными угленосными отложениями как следствие одного события – гумидизации климата. С толщиной лингуловых глин связано формирование «мансфельдского» (пластового) типа медного оруденения. Накопление осадков происходило в условиях мелководного теплого моря с соленостью, близкой к нормальной или несколько ниже, и низким окислительным потенциалом. Обилие органического вещества в породах рассматриваемой толщи свидетельствует о господствовавшей тогда бескислородной щелочной обстановке. Известно [15], что минеральными показателями высокой щелочности среды являются монтмориллонит и кальцит, широко распространенные в байтуганских породах. Осаждение кальцита из раствора происходит при $pH > 7.8$. Показателем токсичности среды, обусловленной, прежде всего, недостатком кислорода, являются также моллюски *Lingula* [15], из-за изобилия остатков раковин которых в глинах горизонт получил название «лингуловый». Недостаток кислорода приводил к ограничению санитарной деятельности микроорганизмов, разлагающих органическое вещество. Как следствие, придонный ил обогащался неразложившейся органикой, которая, в частности, и обуславливает темную окраску осадков, содержащих мелкую сингенетичную вкрапленность пирита, но не сульфидов меди.

А.М. Лурье [13] связывает осаждение меди с сероводородными сингенетичными и эпигенетичными барьерами, первые из которых действовали в нелитифицированных осадках, вторые – в породах. Но отсутствие сульфидов меди в сероцветных лингуловых глинах позволяет предполагать и иные механизмы ее осаждения. В стандартных условиях образование FeS_2 возможно, если концентрация $[Fe^{2+}]$ будет больше $10^{33} [Cu^{2+}]$ – более высокие концентрации меди исключали бы образование пирита [13]. По всей видимости, вследствие бактериальной сульфатредукции в придонном иле осаждались сульфиды железа (пирит), а не меди. Источником железа служил терригенный материал осадков, а поступление меди в лингуловые глины происходило уже после затухания сульфатредукционного процесса. В сероцветных морских глинах лингулового горизонта часто наблюдается вторичная минерализация карбонатов меди (преимущественно малахит, реже азурит), что свидетельствует о наличии в породах

ее более ранних концентраций в иных формах. Глины лингулового горизонта характеризуются большим количеством выявленных точек минерализации и геохимических аномалий меди (до 1–5% Cu), приуроченных преимущественно к приподошвенной части пласта, контактирующей с красноцветными отложениями. Седиментогенным водам красноцветных отложений, согласно гидрогенной модели рудообразования [13], отводится роль транспортирующих агентов. Геохимические аномалии меди указывают на возможность ее сорбции разлагающейся органикой и глинистыми минералами – основным минеральным компонентом лингуловых глин. Это подтверждается данными [16], согласно которым в глинистой фракции пород сероцветной формации, очищенной от карбонатного и органического вещества, было определено содержание меди 420 г/т. Исходя из этого, можно предположить, что функционировавшие в уже литифицированных сероцветных глинах эпигенетические барьеры имели сорбционную природу.

С прибрежными фациями (подтапливаемые морем дельтовые и русловые протоки) связан «каргалинский» тип оруденения. Рудопроявления (Сармановское, Рантамаское и др.) отмечаются в узком стратиграфическом интервале почти исключительно в отложениях приказанской толщи в основании верхнеказанского подъяруса. Особенностью оруденения каргалинского типа является локальность, обусловленная сульфидизацией обломков древесины. Под микроскопом она представляет собой однородную массу халькозина с почковидной текстурой. Участками проявляется первичная структура древесины (рис. 3), но обычно в результате минерализации такая структура не сохраняется.

Минерализация обломков древесины происходила на стадии седименто- и раннего диагенеза [17]. На исследуемой территории, испытавшей в начале позднеказанского времени континентальный перерыв, господствовал аридный климат [10]. Руслу постоянных или временных водотоков пересекали ареал формирования красноцветных осадков с характерным для них щелочным и окислительным режимом вод. Обломки древесных стволов и другие растительные остатки, приносимые потоками, отлагались в затонах под слоем песка и ила. При подъеме уровня моря и подтоплении речных дельт и протоков создавались благоприятные условия для развития восстанавливающих серу бактерий. Морская вода обеспечивала поступление сульфат-иона, выносимого из гипсоносных раннепермских или уфимских отложений. Высокая концентрация серы приводила к осаждению меди, основным источником которой считаются красноцветные отложения [13]. По данным [18] первоначально из раствора кристаллизовались джарлеит ($\text{Cu}_{1,96}\text{S}$) и другие нестехиометрические сульфиды с различными соотношениями меди и серы в кристаллической структуре, что подтверждается находками дигенита ($\text{Cu}_{1,98}\text{S}$) [12]. Позднее в результате перекристаллизации минеральный состав руд существенно упрощался (до халькозина и ковеллина). Существенным отличием процесса рудообразования от мансфельдского является преимущественное осаждение сульфидов меди, а не железа. Этот факт указывает на то, что концентрация $[\text{Fe}^{2+}]$ в растворе была меньше $10^{33} [\text{Cu}^{2+}]$, иначе происходило бы образование пирита [13]. Дефицитом меди на начальной или, наоборот, конечной стадии сульфатредуцирующего процесса можно объяснить выделения пирита, находящиеся в ассоциации и различ-

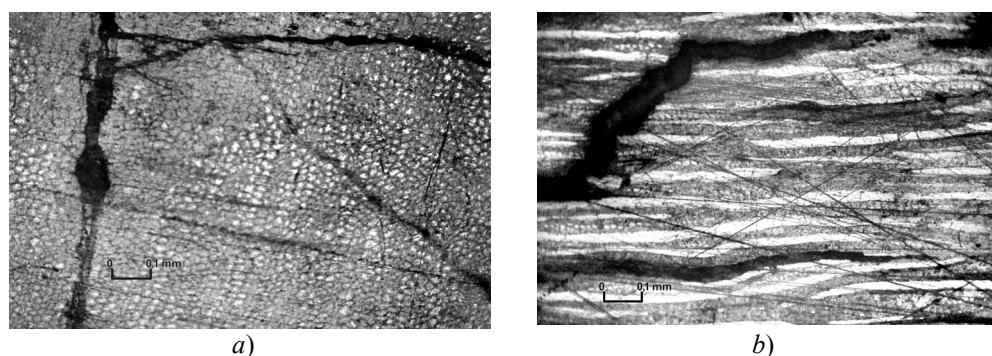


Рис. 3. Псевдоморфозы халькозина (белое) и ковеллина (серое) по древесине с сохранением исходного рисунка растительной ткани (Сармановское рудопроявление): *a* – поперечный, *b* – продольный срез. Николи параллельны

ной последовательности с сульфидами меди. По-видимому, приток меди только за счет выщелачивания красноцветов был недостаточным, для превышения необходимого порога требовалось большее ее количество. Дополнительным источником могли служить уже сформированные рудопроявления мансфельдского и, возможно, вятского типа, залегающие в стратиграфически более низких горизонтах. Причем, учитывая токсичность меди, сульфатредуцирующий процесс должен был начинаться с первичного осаждения железа, что мы наблюдаем по псевдоморфозам, где выделения пирита предшествуют выделениям сульфидов меди. Такая последовательность может быть обеспечена только тогда, когда сульфатрукционный процесс начинается в обычных условиях с нормальным соотношением растворенного железа и меди, а поступление медесодержащих растворов происходит позднее, в результате подъема уровня грунтовых вод. В пользу этой гипотезы говорит многоуровневость исследованных рудных залежей – Сармановского и Рантамаского. Миграция меди происходила, главным образом, в результате инфильтрации подземных вод сквозь пористые породы (пластовая) и по зонам трещиноватости (вертикальная).

С фациями регрессивной серии связан также «вятский» тип оруденения. Его характерной особенностью является совмещение отличительных черт мансфельдского и каргалинского типов – среди ассоциации глинисто-алевритистых и глинисто-мергелистых пород (иногда с углистым детритом и малахитовой минерализацией) отмечаются сульфидизированные фрагменты флоры и фауны. Можно предположить, что при формировании «вятского» типа оруденения необходимые для рудогенеза условия возникали в локальных водоемах в период кратковременных регрессий. Накопление рудного вещества происходило в результате сорбции металлов органическим веществом и глинистыми минералами (эпигенетические барьеры), а также поступления дополнительных порций меденосных растворов в участки, охваченные биогенной сульфатредукцией (сингенетичные барьеры). Рудопроявления данного типа практического значения не имеют.

Заключение

Состав и особенности рудных минералов, образующихся в результате биогенной сульфатредукции в фоссилизированных органических остатках, нахо-

дятся в тесной зависимости от условий седиментогенеза и могут служить индикаторами их изменения.

1. Исследование ископаемых углей показало, что существует определенная связь между величиной сернистости и содержанием сульфидов, с одной стороны, и геолого-геохимическими условиями литогенеза, с другой. Выявлена зависимость между величиной сернистости углей и нефтей, залегающих в разновозрастных отложениях, что указывает на их генетическую связь.

2. Формирование медного оруденения в рассматриваемом регионе происходило поэтапно в течение длительного геологического времени как результат сложной эволюции минералого-геохимических процессов.

На первом этапе произошла первичная концентрация меди в региональном масштабе в горизонте лингуловых глин («мансфельдский» тип) путем ее сорбции компонентами разлагающейся органики и монтмориллонитом (эпигенетический барьер).

В последующие этапы шло формирование проявлений «вятского» и «каралинского» типов оруденения в результате выноса меди элизионными водами лингулового горизонта в воды казанского моря и ее переосаждения в органических остатках с участием сульфатредуцирующих бактерий. Просачивание в иловые воды морских осадков дополнительных порций медесодержащих растворов из литифицирующихся меденосных осадков ниже лежащих горизонтов обеспечивало необходимое превышение концентраций меди над железом. Ее первичное осаждение происходило в виде сульфидных псевдоморфоз (сингенетичный барьер) по растительным и фаунистическим остаткам.

Основной процесс сульфидного рудообразования происходил на стадии седименто- и раннего диагенеза. Рудообразование зависело от целого ряда локальных факторов, вызванных различными гидродинамическими (гидрохимическими) режимами, степенью деградации и биологического разложения органических остатков, их первичной биологической природы (растительная или животная), наличием колоний сульфатредуцирующих микроорганизмов и питательных веществ. Поэтому характер и интенсивность рудообразующих процессов менялись на чрезвычайно коротких расстояниях (буквально несколько метров), а состав и концентрация медного оруденения в пределах рудных тел носят незакономерный характер. Главная особенность оруденения – неравномерность и локальность, что является характерным признаком микробиального рудообразования.

В эпигенезе под воздействием пластовых вод происходили ремобилизация рудного вещества и формирование карбонатной формы рудной минерализации (малахита, редко азурита). Важную роль при этом исполняет гидргеологический фактор, обеспечивающий подвижность и перенос химических элементов. На этой стадии шло изменение характера и состава химических соединений оруденения, сопровождаемое перераспределением и частичным рассеянием рудного вещества.

Полученные результаты свидетельствуют о взаимосвязи геологических процессов, протекавших в угленосных и обрамляющих их формациях в период формирования, что может быть использовано в прогнозно-минерагенических целях.

Summary

R.R. Khassanov. Ore mineralization of the coal formation and its framing: composition and genetic meaning.

The geochemistry and the mineralogy of paleozoic coals, the fossilized flora residues and the marine sediments with high organic matter contents were studied, reasons for different sulfur enrichment were established, and regular trends in sulfide mineralization were revealed.

Литература

1. *Клер В.Р., Ненахова В.Ф., Сапрыкин Ф.Я. и др.* Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентраций элементов и методы их изучения. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
2. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Неорганическое вещество углей. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2002. – 423 с.
3. *Блудоров А.П.* История палеозойского угленакопления на юго-востоке Русской платформы. – М.: Наука, 1964. – 275 с.
4. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. – М.: Недра, 1989. – 288 с.
5. *Кизильштейн Л.Я.* Генезис серы в углях. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1975. – 198 с.
6. *Эллерн С.С., Пеньков И.Н., Ситдииков Б.С., Валеев Р.Н., Матяева К.И.* Ассоциация гидротермального карбоната битума и сульфидов в девонских отложениях северной части Казанско-Кировского прогиба // Докл. АН СССР. – 1962. – Т. 145, № 5. – С. 1123–1126.
7. *Юдович Я.Э.* Генезис юрских горючих сланцев: концепция, развитая в институте геологии Коми НЦ УрО РАН // Вестн. ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2005. – № 6. – С. 22.
8. *Басков Е.А., Беленицкая Г.А., Романовский С.А. и др.* Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – 480 с.
9. *Хасанов Р.Р., Кизильштейн Л.Я., Гафуров Ш.З. и др.* Петрографические типы визейских углей Камского бассейна. Атлас. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 132 с.
10. *Игнатьев В.И.* Формирование Волго-Уральской антеклизы в пермский период. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976. – 255 с.
11. *Миропольский Л.М.* Медные руды в пермских отложениях Татарской АССР и их генезис // Уч. зап. Казан. ун-та. – 1938. – Т. 98, Кн. 1. – Вып. 10. – 188 с.
12. *Полянин В.А., Изотов В.Г.* Минералогия и геохимия медных руд Вятско-Камской полосы // Уч. зап. Казан. ун-та. – 1967. – Т. 126, Кн. 2. – С. 98–143.
13. *Лурье А.М.* Генезис медистых песчаников и сланцев. – М.: Наука, 1988. – 188 с.
14. *Справочное пособие по стратиформным месторождениям / Под ред. Л.Ф. Наркелюна, А.И. Трубачева.* – М.: Недра, 1990. – 391 с.
15. *Петтиджон Ф.Дж.* Осадочные породы / Пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – 751 с.
16. *Чайкин В.Г., Глебаев С.Г., Закирова Ф.А., Месхи А.М., Шевелев А.И.* Металлогения Вятской зоны Восточно-Европейской платформы // Руды и металлы. – 1997. – № 6. – С. 17–26.

17. *Хасанов Р.Р., Галеев А.А.* Минералообразующая роль захороненных растительных остатков в процессе гидрогенного медного рудогенеза // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 1. – С. 18–22.
18. *Габлина И.Ф.* Минералы системы медь-сера. – М.: Наука, 1993. – 46 с.

Поступила в редакцию
02.11.05

Хасанов Ринат Радикович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры полезных ископаемых и разведочного дела Казанского государственного университета.

E-mail: *Rinat.Khassanov@ksu.ru*