

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домаренко В.А., Еханин А.Г. Состояние минерально-сырьевой базы радиоактивного сырья Красноярского края, республик Хакасия, Тыва и перспективы её развития и освоения // Сборник КНТС – УРАНГЕО-ВИМС / Под ред. Г.А. Машковцева. – М.: Изд-во ВИМС, 2000. – С. 48–50.
2. Домаренко В.А., Молчанов В.И. и др. Основные результаты и перспективы развития геологоразведочных работ на радиоактивные и сопутствующие им полезные ископаемые в Красноярском крае // Геологическая служба Красноярья / Под ред. С.С. Сердюка. – Красноярск: Изд-во КНИИГИМС, 2000. – С. 248–264.
3. Домаренко В.А., Рихванов Л.П., Молчанов В.И., Рубинов И.М. Перспективы Обь-Енисейской водосборной системы на выявление промышленных месторождений радиоактивного сырья // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы ТЭК Сибири / Под ред. В.А. Домаренко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 92–100.
4. Еханин А.Г., Домаренко В.А., Молчанов В.И. Золото-урановые с платиноидами месторождения «типа несогласия» и перспективы их обнаружения в Красноярском крае // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. 2000 / Под ред. С.С. Сердюка. – Красноярск: Изд-во КНИИГИМС – С. 133–143.
5. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.

Поступила 10.09.2008 г.

УДК 553.94(571.5):553.078

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕЙ В СИБИРИ

С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов

Томский политехнический университет
E-mail: siarbuzov@mail.ru

Выполнен историко-научный анализ геохимических исследований углей в Сибири. Показаны основные достижения в области изучения геохимии неорганических компонентов в углях Сибири. Отмечена тенденция возрастания интереса к элементам-примесям в углях как с точки зрения качества углепродукции, так и как к потенциальному сырьевому источнику многих ценных металлов. Для эффективного освоения редкометалльного потенциала углей региона необходимо проведение комплексных исследований угольных месторождений и бассейнов на основе государственной программы, для реализации которой должны быть привлечены специалисты самых разных отраслей знаний.

Ключевые слова:

Геохимия, редкие элементы, уголь, угольные бассейны, Сибирь, история исследования.

В Сибирском регионе сосредоточено более 30 % мировых ресурсов угля. Колоссальный ресурсный потенциал и высокие перспективы роста угледобычи требуют научно обоснованного подхода к его освоению.

В Сибири в той или иной мере проявились все основные эпохи угленакопления, известные на планете. На сравнительно небольшой территории, включающей в себя эпипалеозойскую Западно-Сибирскую плиту, Алтае-Саянскую складчатую область и западную часть Сибирской платформы, сосредоточена колоссальная масса захороненного органического вещества разного возраста и различной степени метаморфизма. Возрастной диапазон угленосных отложений колеблется от среднего девона до неогена. Не прекращается накопление и захоронение органического вещества и в настоящее время, о чем свидетельствует наличие на территории Сибири погребенных торфяников и крупнейших на планете современных болотных массивов.

С момента описания «огнедышащей горы» по р. Томь Д.Г. Мессершмидтом в 1720–1722 гг. и проверки В.М. Татищевым заявки о находке М. Волковым угля на берегу р. Томи интерес к изучению

важнейшего для человечества источника энергии в Сибирском регионе остается постоянным и все возрастающим.

Комплексный подход к изучению и освоению минерально-сырьевой базы, отличающий томскую геологическую школу, нашел свое отражение и при исследовании угольных месторождений. На первых этапах изучения угольных месторождений Сибири прежде всего анализировались геологические условия залегания угольных пластов, определялись их мощности, запасы угля и доступность его для освоения, технологические свойства углей. Ведущая роль в выполнении этих исследований принадлежит воспитанникам сибирской геологической школы. По существу дела они заложили основы развития угольной промышленности Сибири. Среди наиболее ярких личностей, решавших эту проблему, следует отметить А.В. Аксарина, И.Н. Звонарева, М.К. Коровина, И.И. Молчанова, Н.И. Рубанова, Ю.А. Спейта, Б.Ф. Сперанского, Н.Н. Урванцева, А.С. Хоментовского, А.З. Юзвического и др.

На этом этапе почти до середины XX в. практически не обсуждался вопрос о геохимических особенностях углей Сибирского региона, хотя мысль о

комплексном подходе к изучению и освоению угольных месторождений постоянно витала в работах исследователей. Так, профессор Томского технологического института (ТТИ) М.К. Коровин, не занимаясь специально вопросами геохимии углей, тем не менее отмечал возможность попутного получения из них металлов. Еще в 1938 г. он заметил, что золы углей Минусинского бассейна, обогащенные глиноземом, перспективны для получения из них алюминия [1]. М.К. Коровин ввел понятие о геохимических поясах Кузбасса и поставил вопрос о геохимической карте Кузбасса [2]. Более того, он предсказал связь общих геохимических особенностей углей (их газонасыщенность и др.) с теми или иными типами тектонических структур.

Особенности той эпохи освоения Сибири предопределили, что ведущую роль в исследованиях геохимии углей региона играли научные коллективы московской и петербургской геологической школ.

В 30-х гг. прошлого века были получены первые данные по радиоактивности углей Сибири. Г.С. Лабазин [3] провел изучение радиоактивности угленосных отложений в Минусинском бассейне, а Е.С. Бурксер с соавторами [4] опубликовали сведения о радиоактивности каменных углей Кузбасса. В эти же годы пионерные исследования по изучению геохимии германия и бериллия в образцах углей Кузнецкого, Минусинского и Иркутского бассейнов были выполнены силами минералогической лаборатории ВИМСа под руководством В.А. Зильберминца [5, 6].

Следует отметить, что еще ранее в 1908 г. К.А. Кулибин [7], исходя исключительно из общих геологических соображений, предсказал аномальную золотоносность углей Бачатского и Крапивинского районов Кузбасса и даже предложил технологию их комплексного использования. В конце XX в. его выводы были подтверждены работами Б.Ф. Нифантова и других исследователей [8].

Начало планомерным геохимическим исследованиям углей Сибири было положено профессором ТТИ Ф.Н. Шаховым, опубликовавшим в 1946 г. в Докладах АН СССР вместе со своим аспирантом М.Э. Эффенди статью «К геохимии углей Кузнецкого бассейна» [9]. В дальнейшем это направление было поддержано аспирантом профессора М.К. Коровина А.Б. Травиным, внесшим большой вклад в изучение геохимии германия и других элементов-примесей в углях [10–13].

Предпринимались попытки решать с помощью геохимических методов и задачи прогнозирования и поисков угольных месторождений, оценки качества углей. С начала восьмидесятых годов 20 века изучение состава элементов-примесей в углях СССР стало обязательным при разведке угольных месторождений. Это обеспечило накопление обширной геохимической информации по углям страны. Результаты этих исследований были обобщены в целом ряде исследований. В 90-х гг. во

ВСЕГЕИ под руководством А.А. Смылова на основе этих данных впервые была подготовлена и издана карта геохимической специализации угольных бассейнов России [14].

Однако сложность анализа углей, отсутствие относительно дешевых экспрессных количественных методов анализа, позволявших изучать низко-кларковые элементы в углях, ограничивали возможности геохимических исследований. Применявшийся повсеместно для исследования углей полуколичественный эмиссионный спектральный анализ из-за низкой чувствительности не позволял определять многие ценные и токсичные элементы-примеси. Необходимость предварительного озоления пробы для концентрирования химических элементов приводила к потере многих из них с газовой фазой и обуславливала низкую достоверность результатов. Кардинально изменилась ситуация с внедрением в практику геологоразведочных работ нейтронно-активационного анализа, с появлением других новых аналитических методов.

Конец XX – начало XXI вв. ознаменовались в России, как и во всем мире, невиданным ранее по размаху подъемом общественного движения за чистоту окружающей среды. Это обусловило возросший интерес к топливной энергетике как к одному из наиболее активных факторов воздействия на окружающую среду. Особое внимание уделяется тепловым станциям, работающим на угле. Степень их воздействия определяется не только технологией сжигания топлива, но, в первую очередь, особенностями его состава. Однако слабая информационная база, отсутствие систематических исследований микроэлементного состава угля в большинстве случаев не позволяет объективно оценить и спрогнозировать уровень потенциальной экологической опасности от использования того или иного топлива и от получаемых в топочном процессе продуктов горения. В связи с этим в последние годы резко возросло внимание к геохимическим исследованиям.

В настоящее время геохимия угля является одним из наиболее динамично развивающихся направлений научных исследований геологической среды. Обобщаются многочисленные материалы, накопленные за более чем 70-летнюю историю изучения элементов-примесей в углях. На смену полуколичественному эмиссионному спектральному анализу пришли высокоточные количественные методы анализа, позволяющие с высоким качеством определять большой спектр химических элементов, ранее не изучавшихся в углях. В массовом масштабе, хотя все еще недостаточно, проводится комплексное изучение угольных месторождений как с точки зрения оценки возможного их воздействия на окружающую среду, так и с позиций перспектив их комплексного освоения.

В последние два десятилетия сделан большой шаг в изучении металлоносности угольных месторождений и бассейнов региона. Наиболее значи-

тельные успехи достигнуты в исследовании геохимии углей Кузбасса. В этих исследованиях большая роль принадлежит выпускнику Томского политехнического института (ТПИ) 1961 г. Б.Ф. Нифантову, собравшему и опубликовавшему обширный фактический материал по металлоносности товарной продукции основных угледобывающих предприятий Кузбасса [15–17].

С 1989 г. к изучению геохимии и металлоносности углей Сибири подключился коллектив кафедры полезных ископаемых и геохимии редких элементов (впоследствии кафедры геоэкологии и геохимии) Томского политехнического университета. За эти годы с разной степенью детальности исследованы основные угольные бассейны и месторождения региона. Впервые в результате массового применения современных высококачественных методов анализа дана оценка металлоносности и токсичности углей разных бассейнов и месторождений Сибири [8, 18–27]. В эти годы изучены геохимические особенности углей Кузнецкого, Минусинского, Горловского, Тунгусского, Канско-Ачинского, Улугхемского, Западно-Сибирского бассейнов, месторождений Горного Алтая.

Проведенные исследования показали, что угли Сибири геохимически специализированы на Ве, Ge, Se, Au, Sc, U, Co, As, Sb, Mo, Nb, Y, Zr и лантаноиды. Такой тип специализации углей хорошо согласуется с общей геохимической специализацией интрузивно-вулканогенных и осадочных образований региона. Высокая контрастность аномалий редких элементов-примесей позволяет прогнозировать высокую вероятность выявления месторождений и угольных пластов с промышленно значимыми содержаниями Ge, Se, Au, Sc, U, Ве, Nb, Zr, Y и лантаноидов. Этот вывод согласуется с находками в регионе промышленных концентраций Ge (Минусинский бассейн, Кузбасс, Западно-Сибирский бассейн), аномальных содержаний Au (Кузбасс, Канско-Ачинский, Западно-Сибирский бассейн), Sc (Минусинский бассейн, Западно-Сибирский бассейн), U (Канско-Ачинский, Иркутский, Западно-Сибирский бассейн), Ве (Тунгусский бассейн), Nb, Zr, Y, REE (Кузбасс, Минусинский бассейн), Mo (Убруское месторождение).

Формирование геохимического облика углей Сибири происходило под влиянием разнообразных геологических, ландшафтно-климатических, гидродинамических, фациальных обстановок, обусловивших неравномерное распределение редких элементов как в регионе в целом, так и в пределах отдельных бассейнов и месторождений. В процессе глобальной эволюции угленакопления изменялась и роль отдельных факторов концентрирования редких элементов-примесей. Изменение геотектонического режима осадконакопления практически на всей территории Сибири носило синхронный и региональный характер. Поэтому в регионе возможно достаточно надежная корреляция угленосных формаций палеозойского, мезозойского и кай-

нозойского уровней угленакопления. Это дает возможность изучить эволюцию геохимического спектра углей как в отдельных бассейнах, так и в регионе в целом.

Особенностью палеозойской эпохи угленакопления в регионе является значительное влияние на углеобразовательный процесс вулканической деятельности, главным образом в виде многочисленных пеплопадов [28]. Это выразилось в повсеместном обогащении углей D и C-P возраста литофильными, в том числе умеренно и слабоуглефильными элементами, такими как Zr, Hf, Y, REE, Nb, Ta, Th и U. Их аномалии в палеозойских углях связаны с горизонтами тонштейнов, измененных туффитов и рассеянного вулканогенного материала. На участках с более мощными прослоями пироклаستيки уровни накопления этих элементов-примесей в углях могут достигать промышленно значимых величин [28, 23]. Значительная роль пеплового материала в палеозойских углях объясняет не только устойчивую на территории всего региона их геохимическую специализацию, отличающуюся от специализации углей мезозоя и кайнозоя, но и несколько повышенную среднюю зольность, составляющую 12,4 % на фоне 10,5 % зольности мезозойских углей [30].

Мезозойская эпоха угленакопления отличается незначительной ролью пироклаستيки в углеобразовательном процессе и значительно большей ролью терригенного и, особенно, аквагенного накопления элементов-примесей в углях. Значение вулканоклаستيки резко снижается, хотя следы ее периодически отмечаются в отдельных угольных бассейнах [31, 32]. Наличие в углях тонштейнов установлено в Улугхемском и Иркутском бассейнах. В углях этого периода отчетливо накапливаются углефильные элементы, такие как Ge, Sc, Au, Se, Ве, Y, Zr. Среди редких земель возрастает роль тяжелых лантаноидов (Yb, Lu). Мезозойская эпоха угленакопления в регионе существенно золотоносна, скандиеносна и германиеносна. Если германиеносность ограничена меловыми лигнитами Западно-Сибирского и Тунгусского бассейнов, то скандиеносность и золотоносность – почти повсеместное явление. Аномальные уровни накопления этих элементов характерны для золы угля Западно-Сибирского, Канско-Ачинского, Иркутского и Кузнецкого бассейнов. Особенно ярко золотоносность и скандиеносность проявлена в Западно-Сибирском бассейне [24]. Следовательно, отличие мезозойской эпохи угленакопления от палеозойской заключается в первую очередь в преимущественном накоплении углефильных элементов, что предполагает их поступление в формирующийся торфяник в виде водных растворов. Этот факт хорошо согласуется с мощным развитием коры выветривания в регионе в мезозойскую и кайнозойскую эры [33, 34].

Кайнозойская эпоха угленакопления отчетливо унаследует геохимическую специализацию мезозоя, хотя и имеет некоторые свои особенности. В

первую очередь, здесь практически отсутствует пирокластик. Не известно ни одного достоверно установленного факта ее наличия в углях Сибири. Основная роль в концентрировании элементов-примесей здесь так же, как и в мезозое, принадлежит терригенному и аквагенному их накоплению. Для этого периода характерны менее благоприятные геодинамические условия угленакопления, о чем свидетельствует повсеместно высокая зольность углей этого возраста (обычно A^d более 20 %). Это обуславливает важную, часто преобладающую, роль терригенного вещества в концентрировании элементов-примесей.

Процессы углефикации (угольного метаморфизма) приводят к частичной потере углефильных редких элементов (Ge, U, Be, Nb) и к относительному концентрированию элементов-гидролизатов (Th, Y, REE, Ta, Zr, Hf) в связи с выносом из угольного пласта основных золообразующих элементов. При этом потери элементов существенны лишь для углей высокой степени метаморфизма. Обычно в процессе углефикации даже для антрацитов потери редких элементов-примесей не превышают 50 %.

Наложённые процессы гипергенного окисления углей, гидротермального и контактово-метасоматического воздействия на угли сопровождаются перераспределением, выносом и накоплением редких элементов. Из-за сравнительно локального характера этих процессов они не способны существенно повлиять на геохимический облик угольных бассейнов, но обуславливают значительные нарушения геохимического фона отдельных угольных месторождений в пределах бассейнов. Нередко с ними связаны возможно промышленно значимые концентрации U, Au и других элементов-примесей.

Таким образом, исследования показывают, что эволюция геохимического спектра редких элементов-примесей в углях Сибири обусловлена последовательной сменой ведущих факторов элементонакопления от палеозоя к кайнозою. Для палеозоя характерно значительное влияние вулканизма на редкометалльный состав углей. Для мезозоя и кайнозоя преимущественное значение имеет формирование кор выветривания в структурах обрамления. В последнем случае сказалось различие климатических условий. Более холодный климат кайнозоя снизил интенсивность химических процессов. Начиная с позднего олигоцена, а особенно в четвертичном периоде продукты выветривания были почти исключительно терригенными, объем ионного стока ограничен [35].

Проведенные исследования показали, что в процессе формирования углей происходит изменение форм нахождения редких элементов. На ранних стадиях углеобразования в торфах, бурых углях

и лигнитах основная их масса накапливается в составе органического вещества, главным образом в гумусовых веществах: гумусовых кислотах, гуматах и лигнине. В торфе некоторые элементы (Au, Y, тяжелые РЗЭ, Zr, Hf, Ta, Nb, Th и др.) образуют прочные комплексные соединения с гуминовыми веществами, другие (легкие и средние РЗЭ, Rb, Cs, отчасти U) находятся в ионообменной форме. В процессе углефикации элементы, находящиеся в ионообменной форме, закрепляются в органическом (РЗЭ, U, отчасти Cs и др.) или минеральном (Rb, Cs и др.) веществе. В связи с этим, если в торфе для многих элементов велика роль водорастворимых форм их нахождения, то в бурых углях и лигнитах доминируют комплексные гуматы.

Упорядочение структуры органического вещества в процессе углефикации, сопровождающееся потерей активных гидроксильных, карбоксильных, аминных и других функциональных групп, приводит к высвобождению связанных с ними металлов, их миграции и формированию новых минеральных форм — аутигенных минералов. Аутигенное минералообразование в углях еще слабо изучено, но уже доказано, что оно имеет большое значение в концентрировании многих металлов [36–39]. Проведенные исследования показали, что в каменных углях, особенно в высокометаморфизованных, по сравнению с бурыми углями существенно возрастает роль минеральных форм нахождения редких элементов. Данные электронно-микроскопических исследований позволяют считать, что основное значение приобретают аутигенные микро- и наноминералы. В зрелых каменных углях преобладает минеральная форма нахождения основной массы редких элементов.

Выполненные в разные годы исследования показывают, что угли Сибири характеризуются высоким редкометалльным потенциалом, в изучении которого сделаны только первые шаги. Но уже сейчас при современных технологиях на базе отдельных месторождений может быть создано рентабельное производство по извлечению этих металлов. Наиболее перспективно извлечение из углей германия, скандия, золота и комплекса литофильных редких металлов (Ta, Nb, Zr, Hf, Y, REE) [25].

Для эффективного освоения редкометалльного потенциала углей региона необходимо проведение комплексных исследований угольных месторождений и бассейнов Сибири на основе государственной программы, для реализации которой должны быть привлечены специалисты самых разных отраслей знаний. Только при таком подходе может быть осуществлен прорыв в решении проблемы комплексного освоения угольных месторождений и получен ощутимый экономический и социальный эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин М.К. Минусинский бассейн // Полезные ископаемые Красноярского края. – Красноярск: Красн. краевое кн. изд-во, 1938. – С. 89–114.
2. Коровин М.К. О структурах угленосных районов // Труды научной конференции по изучению и освоению производительных сил Сибири. – Томск: Изд-во «Красное знамя», 1940. – С. 214–224.

3. Лабазин Г.С. О месторождениях радиоактивных минеральных образований в Хакасском округе бывш. Енисейской губернии. – М.-Л.: Геол. Изд-во. Гл. Геол. Управл., 1930. – 56 с.
4. Бурксер Е.С., Кондогури В.В., Капустин Н.П., Потапов П.П. Радиоактивность каменных углей Кузнецкого бассейна // Украинский химический журнал. Техн. Часть. – 1932. – Т. 9. – Кн. 3–4. – С. 441–445.
5. Зильберминц В.А., Русанов А.К. О распространении бериллия в ископаемых углях // Доклады АН СССР. – 1936. – Т. 2. – № 1. – С. 25–29.
6. Зильберминц В.А., Русанов А.К., Кострикин В.М. К вопросу о распространении германия в ископаемых углях // Академику Вернадскому к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности. – М.: Изд-во АН СССР, 1936. – С. 169–189.
7. Кулибин К.А. Драгоценные металлы в каменном угле // Золото и платина. – 1908. – № 24. – С. 510–511.
8. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 2000. – 248 с.
9. Шахов Ф.Н., Эфенди М.Э. К геохимии углей Кузнецкого бассейна // Доклады АН СССР. – 1946. – Т. 51. – № 2. – С. 135–136.
10. Травин А.Б. К вопросу о минеральных примесях в углях Кузбасса и некоторых путях возможного использования их // Тр. Горно-геологического ин-та АН СССР Западно-Сибирский филиал. Вып. 17: Вопросы геологии. – Новосибирск, 1956. – С. 141–155.
11. Травин А.Б. О путях накопления германия в углях и некоторые задачи его дальнейших исследований // Известия Восточного филиала АН СССР. – 1957. – № 1. – С. 44–48.
12. Травин А.Б. Некоторые закономерности распространения германия в углях Западной Сибири // Геология и геофизика. – 1960. – № 2. – С. 58–73.
13. Травин А.Б. О накоплении германия в углях // Геология и геофизика. – 1961. – № 4. – С. 106.
14. Смыслов А.А., Малышев Ю.Н., Голудев Б.Б., Горцевский А.А., Кирюков В.В. Карта угленосности, сланценоности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России. Масштаб 1:10 000 000. Объяснительная записка. – М.-СПб, 1996. – С. 27–47.
15. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. – М.: Недра, 1996. – 238 с.
16. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
17. Нифантов Б.Ф., Потапов В.П., Митина Н.В. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – 100 с.
18. Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. Радиоактивные элементы в углях // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы Междунар. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 104–109.
19. Рихванов Л.П., Ершов В.В., Арбузов С.И. Комплексное эколого-геохимическое исследование углей // Уголь. – 1998. – № 2. – С. 54–57.
20. Ершов В.В. Металлоносность углей Кузнецкого бассейна: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2000. – 215 с.
21. Арбузов С.И., Рихванов Л.П., Ершов В.В. Редкометалльный потенциал углей Средней Сибири // Известия Томского политехнического университета. – 2001. – Т. 304. – № 1. – С. 130–147.
22. Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов Л.П. О германиеносности углей Минусинского каменноугольного бассейна // Геология угольных месторождений. – Екатеринбург, 2002. – С. 161–180.
23. Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов Л.П., Кяргин В.В., Булатов А.А., Дубовик Н.Е. Редкометалльный потенциал углей Минусинского бассейна. – Новосибирск: Изд-во СО РАН Филиал «ГЕО», 2003. – 300 с.
24. Арбузов С.И., Рихванов Л.П., Маслов С.Г., Архипов В.С., Павлов З.И. Аномальные концентрации золота в бурых углях и торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 7. – С. 25–30
25. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
26. Арбузов С.И., Волостнов А.В., Ершов В.В., Рихванов Л.П., Мионов В.С., Машенькин В.С. Геохимия и металлоносность углей Красноярского края. – Томск: Изд-во «СТТ», 2008. – 300 с.
27. Волостнов А.В. Уран и торий в углях Центральной Сибири: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2004. – 24 с.
28. Ван А.В. Вулканогенный пепел в угленосных отложениях верхнего палеозоя Средней Сибири // Литология и полезные ископаемые. – 1972. – № 1. – С. 40–51.
29. Середин В.В. Первые данные об аномальных концентрациях ниобия в углях России // Доклады РАН. – 1994. – Т. 335. – № 5. – С. 634–636.
30. Арбузов С.И., Ершов В.В. Роль вулканизма позднего карбонаперми в формировании геохимического облика углей Минусинского бассейна // Вулканизм и геодинамика: Матер. III Всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии. – 5–8 сентября 2006 г. – Т. 3. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2006. – С. 628–632.
31. Ван А.В. Роль вулканизма в образовании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Труды Западно-Сибирского отделения ВМО. – Вып. 1. Магматизм, литология и вопросы рудоносности Сибири. – Новосибирск, 1974. – С. 52–61.
32. Нестеров И.И., Ушатинский И.Н., Рыльков А.В. О роли вулканокластического материала в породах осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Доклады РАН. – 2003. – Т. 392. – № 5. – С. 666–670.
33. Цыкин Р.А. Рудоносные коры выветривания и палеокарст центральных и южных районов Красноярского края // Отечественная геология. – 1994. – № 10. – С. 39–44.
34. Забияка А.И. Эпохи корообразования на юге средней и западной Сибири // Золотоносные коры выветривания Сибири / Под ред. С.С. Сердюк. – Красноярск: КНИИГиМС, 2002. – С. 18–25.
35. Синицин В.М. Природные условия и климаты территории СССР в раннем и среднем кайнозое / Под ред. Н.Н. Верзилина. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. – 104 с.
36. Finkelman R.V. Modes of occurrence of trace elements in coal // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. – 1981. – № 81–99. – 322 p.
37. Кизильштейн Л.Я. Роль состава органического вещества в процессах аутигенного минералообразования // Геохимия современных и ископаемых осадков. – М.: Наука, 1982. – С. 174–178.
38. Середин В.В., Магазина Л.О. Минералогия и геохимия ископаемой древесины Павловского бурогоугольного месторождения (Приморье) // Литология и полезные ископаемые. – 1999. – № 2. – С. 158–173.
39. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 422 с.

Поступила 11.09.2008 г.