

УДК 001(091)

А.Д. ВЕРХОТУРОВ, Б.А. ВОРОНОВ, Н.П. РОМАНОВСКИЙ,
В.М. МАКИЕНКО, Л.А. КОНЕВЦОВ

К 100-летию со дня рождения Е.И. Богданова – одного из основателей минералогической материаловедения

Освещена роль видного ученого в области горного дела члена-корреспондента АН СССР Е.И. Богданова в сфере использования высоких технологий для получения материалов и изделий в Дальневосточном регионе и основании минералогической материаловедения. Предложено развитие идеи превращения Дальнего Востока из поставщика сырья в поставщика материалов и изделий, показана необходимость комплексного подхода к решению этой проблемы. Приведены результаты экспериментальных исследований, показавшие возможность получения в Дальневосточном регионе материалов с использованием высоких технологий.

Ключевые слова: минеральное сырье, наука о материалах, минералогическая материаловедения, производство, экология.

To the 100th anniversary of E.I. Bogdanov's birth – one of founders of a new part of science about materials.

A.D. VERHOTUROV, B.A. VORONOV (Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Khabarovsk), N.P. ROMANOVSKIY (Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk), V.M. MAKIENKO (Far East State University of Means of Communication, Khabarovsk), L.A. KONEVTSOV (Institute of Science of Materials of the KhSC, FEB RAS, Khabarovsk).

The role of E.I. Bogdanov – corresponding member of the Academy of Sciences of the USSR, the prominent scientist of mining in applying high technologies for reception of materials and products in the Far-Eastern region and in foundation of mineralogical science about materials is shown. The further development of an idea about transformation of the Far-Eastern region from raw materials supplier to supplier of materials is offered and the necessity of complex approach to solving this problem is shown. Results of experimental researches which have shown the possibility of reception of materials in the Far-Eastern region with use of high technologies are given.

Key words: mineral raw materials, science about materials, mineralogical science about materials, manufacture, ecology.

Член-корреспондент АН СССР Евгений Иванович Богданов считал, что горные предприятия являются ведущими на Дальнем Востоке, а горная наука – важнейшее направление их деятельности. Соответственно, исследования хабаровского отдела физикохимии неорганических материалов Института химии ДВНЦ АН СССР (ныне – отдел горного материаловедения Института горного дела (ИГД) ДВО РАН) должны быть направлены на решение материаловедческих проблем в горном деле. Е.И. Богданов был уверен, что процветание Дальневосточного региона, как и всей страны, определяется успешной работой горнорудной промышленности, и повышение ее эффективности составляло основу его работы.

*ВЕРХОТУРОВ Анатолий Демьянович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, ВОРОНОВ Борис Александрович – член-корреспондент РАН, директор (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск), РОМАНОВСКИЙ Николай Петрович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск), МАКИЕНКО Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор (ГОУ ВПО Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск), КОНЕВЦОВ Леонид Алексеевич – доктор технических наук, научный сотрудник (Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, Хабаровск). *E-mail: verhoturov36@mail.ru



Член-корреспондент АН СССР Евгений Иванович Богданов (1913–1993 гг.)

При посещении отдела физикохимии неорганических материалов президентом АН СССР академиком А.И. Александровым (1983 г.) и академиком-секретарем отдела физикохимии и технологии неорганических материалов академиком Н.М. Жаворонковым (1982 г.) обсуждались преимущественно планы исследовательских работ отдела в области создания перспективных материалов. Было рекомендовано использовать для этого плазменную металлургию; такое направление работ предлагал и специалист в области плазменных технологий академик Ю.В. Цветков. Однако по ряду объективных причин (значительные финансовые трудности, связанные с формированием ИГД и началом в стране «перестройки») директор института Е.И. Богданов рекомендовал использовать в исследованиях альтернативные технологии: методы порошковой металлургии, металлотермии, искровых и дуговых разрядов. Евгений Иванович, имевший основательные знания в области мате-

риаловедения, считал, что главная задача здесь – получение материалов с заданными свойствами для деталей машин горного производства, а также материалов и изделий из концентратов и шлихов в районе добычи минерального сырья (МС) при использовании высоких технологий.

Евгений Иванович Богданов неоднократно повторял, что от «слияния» проблем горного дела, металлургии и материаловедения должно появиться новое направление в развитии науки и техники, способное принципиально изменить технологию и методологическую схему получения материалов с заданными свойствами. Он также полагал, что не только концентраты, но и отходы горного производства, особенно шлихи, должны служить сырьем для получения материалов. При этом утверждал, что необходимо создавать специальное оборудование для переработки сырья в местах его добычи, основываясь на методах воздействия на МС с использованием дугового разряда, плазменных потоков, порошковой металлургии. Он был убежден, что «использование местного доступного сырья из шлихов рассыпных месторождений и концентратов основных производств с целью прямого (минуя металлургический процесс) получения композиционных порошков для порошковой металлургии несомненно имеет большую перспективу. Развитие этого направления будет иметь существенное значение как для горного дела, так и для порошковой металлургии. Оно позволит организовать полезное использование больших объемов ныне теряемого шлихового сырья рассыпных месторождений, превратить их, наравне с основным добываемым металлом, в товарную продукцию горного производства, резко повысит комплексность использования минерального сырья и обеспечит безотходную технологию на горных предприятиях» [31, с. 12].

Особенно нравилась Евгению Ивановичу идея плазменного котла, в котором продукты горнорудного производства (концентраты и шлихи) переходили бы в парообразное состояние, затем разделялись в зависимости от атомного веса (или другого свойства) и далее раздельно конденсировались, образуя слитки элементов или соединений. Он утверждал, что отчетливо представляет такой котел (установку), который станет основой будущей технологии металлургии, заметив при этом, что для разработки и получения опытного образца потребуются усилия даже не одного института и громадные деньги. «Таких денег нам никто не даст, тем более что там – он поднял вверх указательный палец – эту проблему считают абстрактной фантазией ученых. Поэтому исследования надо продолжать

на стандартном оборудовании, приспособивая его к нашим задачам. Проблема очень важная. Надо работать, хотя бы так...».

Следует отметить, что предложенное научное направление в развитии науки о материалах оказалось полностью соответствующим новой парадигме развития России (и не только России) [28]. В соответствии с этим направлением в отделе горного материаловедения при поддержке Е.И. Богданова были начаты исследования возможности получения материалов и изделий из местного МС. Использовали технологии порошковой металлургии, а также методы, основанные на воздействии на МС (титаномагнетит, бадделейто-вый, шеелитовый и другие концентраты и шлихи) концентрированных потоков энергии (дугового разряда, низкотемпературной плазмы). Была выработана принципиальная схема получения композиционных (многокомпонентных) порошков из местного МС для получения изделий методами порошковой металлургии, а также показана перспективность использования МС Дальневосточного региона для получения инструментальных и сварочных материалов [3, 6, 9].

После перевода ОГМ во вновь организуемый Институт машиноведения и металлургии (1988 г.), а затем в Институт материаловедения (1991 г.) исследования по созданию новых материалов из МС и дальнейшему развитию минералогического материаловедения были продолжены [4, 7, 8, 12]. Материалогия получила развитие в вузах региона – Дальневосточном государственном университете путей сообщения, Институте материаловедения ХНЦ ДВО РАН [1, 13, 20]. Появилось новое научное направление в области наук о материалах – минералогическая материалогия, изучающая возможности получения материалов и изделий из МС в регионе его добычи с применением высоких технологий, обеспечивающих комплексное и рациональное использование сырья. У истоков направления был директор ИГД член-корреспондент РАН Е.И. Богданов. Позднее в исследованиях приняли участие сотрудники Института водных и экологических проблем и Института тектоники и геофизики ДВО РАН, было продолжено объединение усилий научных организаций, занимающихся вопросами геологии, горного дела и экологии. То есть была выдержана последовательность подхода к проблеме получения материалов «геология→горное дело→материаловедение→экология», четко изложенная в основном труде первого русского академика М.В. Ломоносова еще три века назад [23]. В наше время, на новом витке развития цивилизации, при рассмотрении этой последовательности нужно учитывать достижения научно-технического прогресса и связанные с ними глобальные проблемы человечества. Эти обстоятельства обусловили появление нового раздела в науке о материалах – энтропийно-экологической материалогии [9]; минералогическая материалогия представляет собой ее подраздел. Энтропийно-экологическая материалогия изучает получение не только материалов и изделий из МС, но и сырья и материалов из отходов, а также возникающие при этом экологические проблемы.

Все это позволило более широко рассматривать проблему получения материалов и изделий в условиях устойчивого развития человеческого общества. Как следствие, появилась обобщающая наука о материалах – материалогия [5, 12, 15].

Таким образом, Е.И. Богданов предвосхитил основополагающую идею руководителей ИПКОН академиков К.Н. Трубецкого и В.А. Чантурия, четко сформулированную ими в начале 2000-х годов: переработка МС с использованием высоких технологий.

В последнее время значительно вырос общественный интерес к перспективам развития Дальневосточного региона [1, 8, 10, 24, 30]. Отмечено, что в долгосрочной перспективе ресурсный сектор будет безальтернативным компонентом экономической стратегии. Предложена концепция «новой индустриализации», теснейшим образом связанная с эксплуатацией сырьевых ресурсов.

По утверждению академика В.И. Ишаева, в настоящее время сырьевые отрасли «вытягивают» экономику, но без поддержки государства Дальний Восток может окончательно превратиться в сырьевой придаток стран АТЭС [21]. Необходима политика в области



Е.И. Богданов во время выступления на Международной научно-технической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 1990-е годы

промышленности, опирающаяся на модернизацию научно-технического потенциала, создание наукоемкой продукции, в том числе в МС-комплексе [7, 22, 25, 26, 29]. Для ресурсодобывающих регионов экспортировать необработанное МС – прямой путь превращения России в колониальную страну [28].

В ряде исследований разработаны методологические и информационные основы оценки текущего состояния регионов, показаны системные подходы к стратегии их устойчивого развития с учетом развития и модернизации сырьевой экономики. Приведенные концепции отражают разные стороны

стратегии устойчивого развития, однако все они завершаются выводами о необходимости создания производств по переработке регионального и транзитного сырья, промышленных кластеров, при этом показана необходимость учета региональной специфики и сохранения многообразия и устойчивости природных систем и их природно-ресурсного потенциала [25, 26, 29]. Однако общая идея дальнейшего развития Дальневосточного региона четко не сформулирована, тем более что она должна опираться не только и не столько на научно-технический, сколько на общечеловеческий прогресс [18, 30]. Кроме того, экономика должна опираться на получение конечного продукта (материалы, изделия) с учетом развития наукоемких технологий, а не на промежуточный этап производства, как это показано в идеях «новой индустриализации», «инновационной экономики» и т.д.

Для исследования и использования рассмотренных выше концепций устойчивого развития необходим не только комплексный и системный анализ состояния и перспектив количественного развития МС-базы до 2050 г., но и осуществление мероприятий по



Е.И. Богданов, И.А. Подчерняева и А.Д. Верхотуров (справа налево) за работой над статьей

развитию науки о материалах, технологий переработки сырья, по сохранению окружающей среды, подготовке соответствующих высококвалифицированных кадров. Чрезвычайно важно предусмотреть практические варианты получения материалов в районах добычи сырья в условиях сохранения экологической безопасности.

Необходима разработка новой концепции развития ресурсного потенциала Дальневосточного региона, основанной на материалогическом подходе к созданию минерально-сырьевого материаловедческого производственного кластера, учитывающей значительное влияние ресурсного сектора на развитие экономики края. Основопологающие идея и стратегия развития региона – его превращение из поставщика сырья в поставщика материалов, продуктов, изделий на основе использования достижений общечеловеческого прогресса [14–16, 22, 28]. Для получения материалов в регионе добычи сырья необходимо применение передовых технологий, а именно плазменной переработки сырья, методов порошковой металлургии, концентрированных потоков энергии, металлотермии, метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [11, 13, 32, 33]. Анализ последних достижений в области наук о материалах связан с необходимостью комплексного исследования вещества и материалов от сырья до изделия, а также переработки отходов и их повторного использования, когда они частично или полностью возвращаются в циклический круговорот вещества и материалов (ЦКВМ). Для исследования движения вещества и материалов представляет значительный интерес сырьевой участок ЦКВМ: а именно комплекс: геология → горное дело → металлургия → получение материалов (см. рисунок).

На начальном (сырьевом) участке ЦКВМ эффективность использования сырья и материалов будет повышаться при сокращении расстояния (или времени) между циклами, а также внутри циклов. Мерой эффективности процесса производства материалов и изделий в биосфере может служить изменение энтропии окружающей среды или же энергозатрат на единицу продукции [15]. Эффективность сырьевого этапа ЦКВМ, как показывает анализ, во многом зависит от длительности (I_i) составляющих его звеньев и от длительности переходов (звеньев связей) между ними (L_i) (см. рисунок). При этом снижение их значений приводит к снижению энтропии:

$$L_{\min} \rightarrow S_{\min} \text{ и } I_{\min} \rightarrow S_{\min},$$

где S – энтропия окружающей среды при движении вещества от одного звена ЦКВМ к другому и осуществлении в них технологических процессов.

Так как уменьшение S возможно за счет сокращения расстояния между циклами или времени между циклами, а также расстояния (времени) в каждом цикле производства, рассмотрим три гипотезы:

1) для уменьшения расстояния между циклами необходимо осуществлять процесс получения материалов и изделий в регионе его добычи;

2) для уменьшения расстояния (времени) в каждом цикле необходимо использовать современные (высокие) технологии добычи и переработки сырья – применение концентрированных потоков энергии (плазменной обработки, методов порошковой металлургии, металлотермии и т.д.);

3) идеальным вариантом может стать «плазменный котел» с глубокой (элементной) переработкой МС в экологически безопасном производстве [13].

Наиболее подходящим для реализации идеи превращения Дальневосточного региона в производителя материалов и изделий является использование электрошлакового переплава (ЭШП), металлотермии и порошковой металлургии, уже применяемых на практике [2]. Для примера рассмотрим в качестве МС шеелитовый концентрат Лермонтовского ГОКа. Дальневосточный регион России располагает достаточно значимой минерально-сырьевой базой для развития вольфрамодобывающей промышленности [17, 19]. В 2006 г. ресурсная база вольфрама в здесь составляла 35–37% от общероссийских разведанных запасов и более 60% от общероссийских ресурсов при добыче WO_3 2,8–3,6 тыс. т в год. На юге

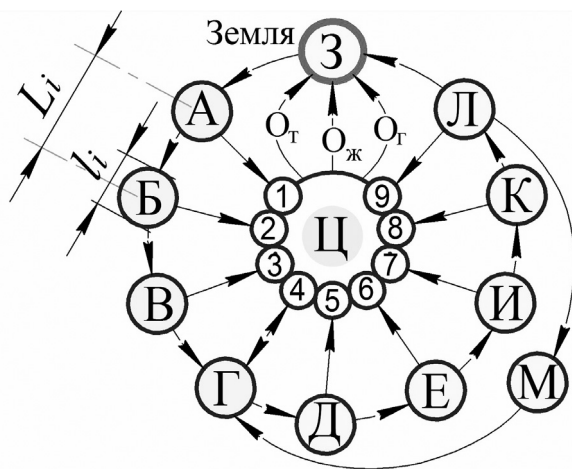


Схема циклического круговорота вещества и материалов.
 А – данные геологии, Б – добыча сырья, В – подготовка, обогащение сырья, Г – получение материала, Д – создание изделий, конструкций, Е – использование изделий, И – поломка изделий, К – реновация, демонтаж, Л – переработка отходов, М – повторное использование, Ц – центр сбора и переработки отходов, О_т, ж, г – отходы твердые, жидкие, газообразные

вредных составляющих. Это не позволяет вести более широкое промышленное освоение многих перспективных вольфрамсодержащих месторождений Дальнего Востока.

Для получения вольфрама и вольфрамсодержащих материалов в регионах его добычи использована методология, базирующаяся на основных достижениях минералогической материаловедения [4].

Получение вольфрамсодержащих материалов методом алюминотермии [27]. Плавку проводили внепечным способом в реакторе с жаропрочной футеровкой. Реакция, инициируемая электрозапалом, далее проходила без внешнего подогрева на воздухе. Для улучшения условий формирования сплава в компактном виде в шихту вводили флюсы (CaO , CaF_2), снижающие температуру плавления и вязкость шлаковой фазы. Количество флюсующей добавки определяли исходя из расчета соотношения $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в шлаке, равного $\sim 0,2$. В результате плавки получали металлическую фазу в виде компактного слитка и шлак, легко отделяющиеся друг от друга. Эту технологию использовали для получения электродных материалов для электроискрового легирования (ЭИЛ) металлических поверхностей состава W–Me (Fe, Cr, Mo, Zr, Co, Ni). Формировали специальную шихту, состоящую из шеелита и оксидов указанных металлов, а также алюминия. Полученная металлическая фаза состояла из W ($\sim 77,5\text{--}49,0$ масс.%), металлической связки (Me $\sim 22\text{--}35,5$ масс.%), а также Al ($\sim 1,1\text{--}2,8$ масс.%), Si ($\sim 1,0\text{--}1,6$ масс.%) и оксидов (до $\sim 2,9$ масс.%). Полученные материалы использовали в качестве электродных для ЭИЛ стали 45. Физико-химические и эксплуатационные характеристики в большинстве случаев превышали таковые, полученные при использовании стандартных вольфрамсодержащих твердых сплавов ВК8. Интенсивность изнашивания при ЭИЛ сплавом ВК8 равна 6,0 ед., при использовании приведенных сплавов – $\sim 3,8\text{--}4,3$ ед. Жаростойкость повышалась в 1,2–1,5 раза.

Получение вольфрамсодержащих материалов методом ЭШП [1]. ЭШП стальной проволоки в шлаковой ванне, содержащей шеелитовый концентрат, выполняли на спроектированной и изготовленной в Дальневосточном государственном университете путей сообщения (ДВГУПС) установке с режимами $J = 350\text{--}1000$ А, $U = 20\text{--}90$ В, скорость подачи проволоки 1,5–6,3 м/мин. Получаемый материал формировался в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе с рабочим объемом 40 x 40 x 100 мм³. Были сформированы

Дальнего Востока России кроме уже используемых собственно вольфраморудных месторождений «Восток-2» и «Лермонтовское» известен ряд вольфрамсодержащих месторождений комплексных Sn–W–Mo руд, из которых вольфрам может извлекаться в качестве сопутствующего компонента.

Технология обогащения вольфрамитовых руд, определяемая минеральным составом как собственно рудных тел, так и околорудноизмененных вмещающих пород, отработана только для шеелитовых руд. Вольфрамитовые руды такими исследованиями не охвачены, хотя они отличаются высоким содержанием WO_3 , повышенными количествами полезных компонентов (FeO , MnO) и практически полным отсутствием

составы двух флюсов: первый содержал неметаллические материалы (известняк, плавиковый шпат и др.) и шеелитовый концентрат в соотношении 1 : 1; второй – неметаллические материалы, шеелитовый концентрат и NiCr в соотношении 1 : 1 : 1. Металлографический, электронноскопический и микрорентгеноспектральный анализ показал, что полученный материал состоит из механической смеси интерметаллидов Fe_2W , твердых растворов $Fe(W)$ и $W(Fe)$. При использовании первой шихты содержание W в сплаве составляло 10%, при использовании второй в сплаве на отдельных участках – 77,6%.

Полученные сплавы могут быть использованы в качестве ферросплавов при выплавке легированных вольфрамом конструкционных сталей (броневых сталей) либо после переплава с углеродом с добавками V, Mo в качестве быстрорежущих сталей. Полученные нами сплавы использовали в качестве электродов при ЭИЛ. Показано, что эффективность формирования легированного слоя значительно выше при использовании сплава 1, полученного при ЭШП, чем сплава 2. Эффективность использования полученных сплавов для легирования режущего инструмента показала повышение их стойкости при резании стали 45.

Таким образом, эксперименты только с использованием двух методов обработки показали перспективность использования высоких технологий для получения материалов в регионе добычи сырья. В результате разработан новый подход к проблеме получения материалов и изделий из минерального сырья в регионе его добычи с использованием высоких технологий, у истоков которого стоял Е.И. Богданов – один из основателей минералогической материалографии. Показано, что основой идеи развития общества является не научно-технический, а общечеловеческий прогресс, учитывающий прежде всего нравственный, духовный потенциал. Предложена идея дальнейшего развития Дальневосточного региона: превращение из поставщика сырья в поставщика материалов и изделий, а также материалографический аспект проблемы получения материалов: необходимость переработки сырья в регионе его добычи с использованием высоких технологий, а также комплексного подхода: геология → горное дело → металлургия → экология. Экспериментальные исследования по двум гипотезам показали возможность получения в Дальневосточном регионе материалов с использованием высоких технологий.

Представляется необходимым создание материаловедческого кластера, разрабатывающего и выпускающего перспективные материалы и изделия из МС в регионе его добычи с использованием высоких технологий и обеспечивающего создание новых видов оборудования для его переработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабенко Э.Г., Верхотуров А.Д., Григоренко А.Г. Основные аспекты транспортного минералогического материаловедения. Владивосток: Дальнаука, 2004. 224 с.
2. Богданов Е.И., Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А. и др. Использование минерального сырья в получении новых электродных материалов для электроискрового легирования // Порошковая металлургия. 1989. № 9. С. 85–90.
3. Богданов Е.И., Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А. Шлихи рассыпных месторождений и титаномагнетитовые пески – новые источники сырья для порошковой металлургии // Колыма. 1987. № 2. С. 6–8.
4. Бутуханов В.А., Верхотуров А.Д., Золотоев Е.В. Возможности рациональной переработки вольфрамового минерального сырья Дальневосточного региона для получения инструментальных и наплавочных материалов / ред. Е.И. Богданов. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 107 с.
5. Верхотуров А.Д., Шпилев А.М. Введение в материалогию. Владивосток: Дальнаука, 2010. 780 с.
6. Верхотуров А.Д., Гладких Ю.Ф., Ткачук Н.С. Использование природного минерального сырья в качестве наплавочных флюсов // Сварочное производство. 1989. № 8. С. 21–22.
7. Верхотуров А.Д., Романовский Н.П., Шнайдер А.А. К вопросу о промышленном получении материалов из вольфрамсодержащего минерального сырья в Дальневосточном регионе // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 1. С. 75–80.
8. Верхотуров А.Д., Лебухова Н.В. Комплексное использование минерального сырья в порошковой металлургии. Владивосток: Дальнаука, 1998. 116 с.

9. Верхотуров А.Д., Сокол И.А., Мельникова О.А. Композиционные материалы из природного минерального сырья Дальневосточного региона // Вестн. ДВО АН СССР. 1990. № 2. С. 130–132.
10. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Романовский Н.П. Материалогический подход к проблеме устойчивого развития ресурсодобывающих регионов // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 17–24.
11. Верхотуров А.Д., Бабенко Э.Г., Макиенко В.М. Методология сварочных материалов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. 128 с.
12. Верхотуров А.Д., Шпилев А.М. Начала материалогии. Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2008. 437 с.
13. Верхотуров А.Д., Фадеев В.С. Некоторые вопросы современного состояния и перспективы развития материаловедения. Владивосток: Дальнаука, 2004. 320 с.
14. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. Некоторые особенности развития науки на данном этапе существования человечества // Современное материаловедение и нанотехнологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. Комсомольск-на-Амуре, 2010. С. 39–49.
15. Верхотуров А.Д., Шпилев А.Н., Евстигнеев А.И. Основы материалогии. Т. 1. Владивосток: Дальнаука, 2012. 270 с.
16. Верхотуров А.Д., Виноградов В.А., Сокол И.В., Подчерняева И.А., Ткачук Н.С. Разработка конструкционных и инструментальных порошковых материалов с использованием концентратов и шлихов горного производства // Неорганические материалы. 1990. Т. 26, № 6. С. 1313–1318.
17. Верхотуров А.Д., Макиенко В.М., Строителей Д.В., Романов И.О. Технология создания сварочных материалов на основе минерального сырья Дальневосточного региона. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. 142 с.
18. Верхотуров А.Д., Бутуханов В.А., Ершова Т.Б., Лебухова Н.В. Физико-химические основы получения порошковых материалов из вольфрам- и борсодержащего минерального сырья. Владивосток: Дальнаука, 2001. 105 с.
19. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. Энтропийно-экологическая материалогия // Экология промышленного производства. 2012. № 1. С. 5–15.
20. Ершова Т.Б. Научные основы получения порошков тугоплавких соединений вольфрама из минеральных и вторичных ресурсов: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Пермь: Изд-во Перм. техн. ун-та, 2012. 36 с.
21. Ишаев В.И. Россия в глобальном мире. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2003. 364 с.
22. Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К., Денянюк Ю.Г. Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России: проблемы формирования национальной стратегии. Владивосток: Дальнаука, 1997. 84 с.
23. Ломоносов М.В. Первые основания металлургии или рудных дел. СПб.: Императорская Академия наук, 1763. 85 с.
24. Минакир П.А., Оноприенко О.М. Региональная экономическая динамика. Хабаровск: ДВО РАН, 2010. 304 с.
25. Мирзеханова З.Г. Особенности региональной экологической политики и стратегии перспективного развития Хабаровского края // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 2. С. 119–125.
26. Мирзеханова З.Г., Климина Е.М. Экологические критерии устойчивого развития ресурсоориентированных регионов: сохранение ландшафтного разнообразия // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 16. С. 109–118.
27. Мулин Ю.И., Верхотуров А.Д. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья. Владивосток: Дальнаука, 1999. 110 с.
28. Новая парадигма развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты / ред. В.А. Коптюг, В.М. Матросов, В.К. Левашов. М.: Academia, 2000. 397 с.
29. Природопользование Дальнего Востока России и Северо-восточной Азии: потенциал интеграции и устойчивого развития / ред. А.С. Шейнгауз. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 528 с.
30. Синтез научно-технических и экономических прогнозов: Тихоокеанская Россия-2050 / ред. П.А. Минакир, В.И. Сергиенко. Владивосток: Дальнаука, 2011. 912 с.
31. Трефилов В.И., Богданов Е.И., Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А. Горное дело и порошковая металлургия // Горный журн. М.: Недра, 1988, февр. С. 12–15.
32. Туманов Ю.Н. Новые технологии для химико-металлургических процессов получения неорганических материалов // Вестн. РАН. 2009. Т. 79, № 12. С. 1082–1116.
33. Цветков Ю.В. Плазменная металлургия и проблемы комплексного использования сырья // Комплексное использование руд и концентратов. М. Наука, 1989. С. 27–37.