

Е.П. Мельников, А.В. Ножкина

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Дано историческое описание появления диагностики драгоценных камней и минералов, термина «научная геммология». Показаны области применения синтетических аналогов природных минералов, их преимущество перед природными прототипами, приборы, предназначенные для диагностики алмазов. Дан сравнительный анализ состояния дел по диагностике драгоценных, ювелирных и декоративных (орнаментальных) камней и состояние диагностики алмазов в мире и России.

Ключевые слова: геммология, диагностика драгоценных камней, природные алмазы, синтетические алмазы.

В настоящее время зарегистрировано и утверждено международной минералогической комиссией более 3000 минералов. Значительная часть новых минералов находится еще в процессе утверждения, что увеличит в ближайшее время цифру, превышающую 4000 фактических минералов, находящихся в разной степени освоения человеком.

Состояние диагностики драгоценных камней и минералов в целом можно принять удовлетворительным, начиная с XII в., благодаря работам великого среднеазиатского ученого Аль-Бируни, который впервые ввел в практику минералогии и геммологии точные инструментальные характеристики (удельный вес и др.). С этого времени можно отсчитывать начало рождения научной геммологии. Следует отметить также, что многие минералы, исследованные им, представляли самоцветы в современном понимании. Задача специалиста в данных областях знаний заключалась в ответе на один вопрос: «Что это за камень и как он называется?»

Так продолжалось до середины XIX в., когда в результате активного развития экспериментальной минералогии, французский химик Марк Годен синтезировал первые кристаллы

изумрудов в лабораторном масштабе, а в 1891–92 гг. Огюст Вернейль (тоже французский исследователь и конструктор технологических аппаратов) получил впервые в промышленном виде благородную разновидность корунда – рубин, а в 1911 г. – другую благородную разновидность корунда – сапфир. Естественно, что после таких выдающихся успехов синтеза ювелирных и технических минералов, задачи специалистов-геммологов серьезно усложнились. В дополнение к первому, уже названному вопросу, появился более сложный диагностический вопрос: «А какой это драгоценный камень – природный или синтетический (т.е. техногенный, антропогенный)?» Геммологи, в общем, справились с решением этого вопроса.

Но уже с 1980-х годов диагностика и драгоценных, и ювелирных, и промышленных минералов снова осложнилась широким, можно сказать, даже агрессивным, использованием «модификации» (в русской транскрипции – «облагораживания») минералов. И тот, достаточно большой набор геммологических методов и приборов, позволявших отвечать на актуальные вопросы геммологи на основе определения таких параметров, как твердость,

плотность, оптический знак, осность, показатель преломления, двупреломление, дисперсия, люминесценция, полихроизм, поглощение волн светового спектра и др., оказался неспособным давать ответы со 100% гарантией на все усложняющиеся вопросы. Но такое положение с надежной диагностикой, приборным обеспечением и новыми экспрессными методами инструментального сертифицированного определения параметров самоцветов является, конечно, не отвечающим требованиям времени, престижу геммологов и геммологии, а также условиям мирового ювелирного рынка и желаниям производителей и потребителей алмазной продукции.

Очень важное значение в использовании минерального сырья имело с середины XX-го столетия развитие и становлении технологий синтеза крупных монокристаллов драгоценных и промышленных минералов для высокотехнологичных областей науки и техники. Неоспоримым преимуществом синтетических кристаллов перед их природными прототипами являются большие размеры и минимальная дефектность или ее полное отсутствие в отдельных монообластях. Что касается качественных показателей выращенных кристаллов, то они не уступают природным а чаще – превосходят их.

Синтетические аналоги природных минералов превышают уже 1000 наименований и постоянно продолжают увеличиваться. Наибольшее их количество используется в ювелирной, оптической, полупроводниковой и других отраслях промышленности. Несмотря на широту применения минералов в науке, «высоких технологиях» гражданского или двойного применения, всегда первостепенное значение имеет и будет иметь многоплановая диагностика минералов природы и синтеза, например, генетическая (природа или синтез, в том числе какой из

способов выращивания), использование модификации (облагораживания) минералов, экспертная (установление качественных параметров), технологическая (выявление технологического влияния на изменения кристаллов при их обработке), промышленная (разработка диагностических параметров промышленных минералов, определяющих сферы их использования в различных отраслевых направлениях).

Так, например, большое значение алмаза, кварца, исландского шпата, оптического флюорита и др. минералов в оптической промышленности, в микроэлектронике, космонавтике, и оборонной промышленности обусловлено их уникальными физическими свойствами, оптическими, электрическими, радиационной устойчивостью, а также стабильностью свойств и долговечностью.

К драгоценным камням относятся в соответствии с законом «О драгметаллах и драгоценных камнях», природные алмазы, изумруды, сапфиры, рубины, александриты и морской натуральный жемчуг.

Объемы добычи драгоценных камней достаточно большие. Так, добыча

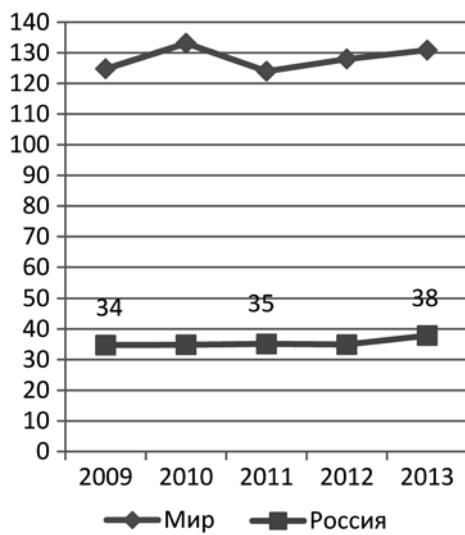


Рис. 1. Добыча алмазов, млн шт.

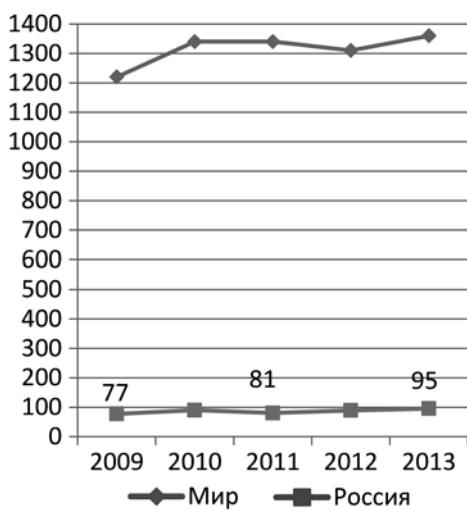


Рис. 2. Ювелирные изделия, млн шт.

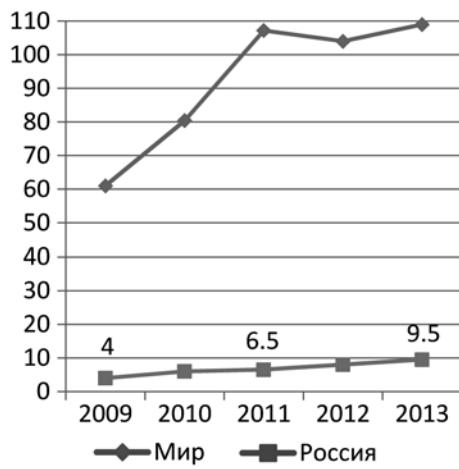


Рис. 3. Ювелирные изделия с цветными камнями, млн шт.

природных алмазов в мире по состоянию на 2013 г. составляет примерно 130 млн карат, причем Россией добыто примерно 25% от общемировой добычи (рис. 1). Производство ювелирных изделий из драгоценных камней в мире составляет примерно 1360 млн штук, в том числе в России 95 млн штук (рис. 2), из них с цветными камнями 109 млн штук в мире и 9,5 млн в России (рис. 3).

В то же время активно развивается производство синтетических алмазов, изумрудов, сапфиров, жемчуга, и др. камней, являющихся синтетическими аналогами драгоценных камней, созданных природой, в связи с чем наиболее актуальной является проблема генетической диагностики драгоценных камней и, прежде всего, алмазов. Диагностика драгоценных камней и промышленных минералов значительно сложнее, чем алмазов, вследствие более сложного химического состава и фазовой неоднородности. Но работ в этом направлении гораздо меньше, по сравнению с обстоятельными и глубокими исследованиями физики алмазов и выявления диагностических признаков генезиса и различных видов воздействия на природные и синтетические алмазы. Это обстоятельство определяется исключительными физическими, физико-химическими и физико-механическими свойствами алмаза, превосходящими аналогичные свойства всех известных природных минералов и синтезированных материалов, что определяет его ведущую роль в технике и ювелирной промышленности.

Основная доля высококачественных природных алмазов используется для изготовления бриллиантов с целью получения ювелирных изделий. ГОСТ Р 52913 «БРИЛЛИАНТЫ. Классификация. Технические требования», целью которого является защита прав потребителя, устанавливает требования к исходному сырью, в соответствии с которыми бриллианты можно изготавливать только из природных алмазов, не подвергшихся внешним физическим и химическим воздействиям (заполнение дефектов, нагреванию и др.) с целью изменения цвета и чистоты. Таким образом, термин «бриллиант» не может быть применен изделиям из природных алмазов, подвергнутым различным видам физического или химического воздействий, приводящих к

изменению цвета и чистоты или к ограниченным вставкам из синтетических алмазов. Такие изделия не должны быть в составе партии бриллиантов. В стандарт включена методика идентификации бриллиантов, позволяющая отличить бриллиант от имитаций. В основе методов идентификации бриллиантов использованы различия между физическими свойствами (теплопроводности, электропроводности, коэффициенту отражения, плотности, фотолюминесценции), алмаза и других материалов, используемых для изготовления имитаций бриллиантов. Следует отметить, что эта диагностика позволяет гарантировать потребителю, что ювелирное изделие изготовлено из алмазов, без определения их генезиса, так как применение только природных алмазов для изготовления бриллиантов гарантировано ГОСТ Р 52913-2008.

В настоящее время разработаны и освоены технологии синтеза крупных монокристаллов алмазов ювелирного качества, по термодинамическим свойствам являющимися аналогами природных алмазов. Синтез монокристаллов алмазов производится в основном двумя принципиально различными способами:

1. Кристаллизацией алмаза из растворов углерода в расплавах металлов в области стабильности алмазной фазы, т.е. при высоких давлениях и температурах (метод НРНТ).

2. Нарашиванием на подложку алмазной фазы в метастабильной области при низких давлениях путем осаждения атомарного углерода, образующегося в результате разложения в реакционном объеме углеродсодержащих газов (метод CVD).

С геммологической точки зрения наибольший интерес представляет первый метод т.к. он позволяет получать достаточно совершенные алмазы размером до нескольких карат. Однако в последнее время и с помощью второ-

го метода были получены достаточно крупные монокристаллы алмазов из которых были изготовлены бриллианты высокого качества массой более 2 карат. Разработаны и освоены технологии изменения цвета природных и синтетических алмазов путем изменения их примесно-дефектного состава при различных физических воздействиях на них, (таких как: НРНТ обработка, облучение потоком электронов, термообработка в области метастабильности алмаза), что требует обязательного проведения диагностики алмазов и бриллиантов, так как известны случаи присутствия ограненных синтетических алмазов в лотах бриллиантов, что недопустимо, так как термин «бриллиант», как было указано выше, в соответствии с ГОСТР 52913-2005 не может быть применен к ограненным синтетическим алмазам. Применяемые в настоящее время методики генетической диагностики как в России, так и за рубежом, основаны, главным образом, на органолептических методах контроля.

В последнее время из-за роста требований однозначности идентификации и надежности аттестации драгоценных камней в геммологии усиливается необходимость обращения к методам, требующим применения более сложного и дорогостоящего научного оборудования и приборов. Однако они требуют солидной подготовки, как при работе с приборами, так и при интерпретации результатов.

Компания DeBeers уже создала приборы для обнаружения в лотах бриллиантов ограненных синтетических алмазов – Diamond Sure, Diamond View и Diamond Plus и для автоматического сканирования (Automated Melee Screening, AMS) мелкоразмерных бриллиантов – от 0,10 до 0,20 карата.

Президент Комиссии CIBJO по жемчугу Кен Скаррatt (Ken Scarratt), который также является управляющим

директором Геммологического института Америки (Gemmological Institute of America, GIA) в докладе на Международной конференции СИВДО, проходившей в Москве в мае 2014 г. сообщил, что в его институте был разработан специальный прибор Diamond Check. Преимуществами данной новинки является то, что она дает меньше «ложных показателей» и может обнаруживать «не бриллианты», однако диагностика алмазов по методике GIA также не обеспечивает 100% надежности.

Жан-Пьер Шален (Jean-Pierre Chalain), директор департамента алмазов в Швейцарском геммологическом институте (Swiss Gemmological Institute, SSEF), представил автоматический алмазный спектрометр (Automated Diamond Spectral Inspection, ASDI), который может анализировать очень большие объемы мелких недорогих алмазов. Он способен определять бесцветные синтетические алмазы, а также алмазы, цвет которых был облагорожен. DeBeers Diamond View строит изображение образцов в соответствии с их флуоресценцией под воздействием излучения с более высоким энергетическим уровнем, чем коротковолновое УФ-излучение. При этих энергетических уровнях все алмазы флуоресцируют, и синтетические алмазы демонстрируют рисунки роста, отличные от природных. Однако определение алмазов, подвергнутых различным видам воздействий, с помощью перечисленных приборов, не лишено проблем. Необходимо отметить, что эти приборы разработаны для диагностики только алмазов и бриллиантов.

Известен разработанный в США и используемый в России спектрофотометр SAS 2000, основанной на анализе спектральных характеристик в видимой области, предназначенный для диагностики не только алмазов, но и других драгоценных камней. Разработчик за-

явил следующие функциональные возможности спектрофотометра:

1. Запись спектров исследуемых образцов:

- в видимой области (0,400÷700 нм);
- раман спектров исследуемых образцов при возбуждении лазером 532 нм и 658 нм;

• раман спектров исследуемых образцов при возбуждении фотолюминесценции лазером 532 нм и 658 нм при низких температурах (с применением жидкого азота).

2. Определение координат цвета исследуемых образцов.

3. Оценка цвета бриллиантов по системе GIA путем сравнения полученных спектров со спектрами эталонных образцов GIA, помещенных в алмазную спектральную библиотеку SAS2000.

4. Указание о том, что исследуемый алмаз, возможно, подвергался ИРНТ обработке.

5. Указание о том, что исследуемый алмаз, возможно, подвергался радиационной обработке.

6. Определение синтетических алмазов, выращенных с использованием растворителей на основе никеля.

Прибор SAS200 является однолучевым оптическим спектрометром со сферическим освещением образца. Такая конструкция позволяет достаточно надежно регистрировать спектры пропускания ограненных драгоценных камней и многих необработанных кристаллов в диапазоне от 400 до 850 нм, т.е. почти во всей видимой области (за исключением диапазона 380–400 нм) и частично в ближней инфракрасной области (свыше 750 нм).

Программное обеспечение прибора позволяет использовать записанные спектры кристаллов для расчета их координат цветности по стандартной методике МКО-31 и пересчитывать их во многие известные сейчас системы цветоизмерений такие как: CIExyY, равноконтрастные координаты, CIE Lab и т.д.

Рамановская/фотолюминесцентная приставка предназначена для получения характерных спектров тепловых колебаний кристаллической решетки (Рамановское рассеяние) и электронных переходов с возбужденных состояний примесных дефектов (фотолюминесценция) в алмазах и других кристаллических материалах.

Опыт работы на SAS 2000 показал, что он является хорошим колориметром, но не обеспечивает однозначную диагностику синтетических алмазов, НРНТ и радиационной обработки природных и синтетических алмазов, т.к. такие универсальные и общепризнанные методики пока не разработаны и прибор является только инструментом для специалистов в этой области. Кроме того, нет промышленного производства таких приборов.

В связи с этим, особенно актуальным является создание надежных методик и приборов для комплексной диагностики драгоценных камней с применением объективных методов контроля. К таким методам относятся ИК-спектроскопия, ультрафиолетовая и оптическая спектроскопия в видимой области (УФ-ВО), спектроскопия комбинированного рассеяния (Раман спектры). Для решения этой задачи надо, прежде всего, провести анализ известных к настоящему времени результатов исследования дефектно-примесного состава природных и синтетических алмазов и влияния применяемых в настоящее время внешних воздействий на его изменение.

Спектральные характеристики примесно-дефектных центров природных и синтетических алмазов полученных в процессе роста, а также подвергнутых НРНТ обработке, облучению и термообработке в широком диапазоне температур с целью изменения их цвета, опубликованы в многочисленных работах [1–17]. Как показано в работе [17] результаты по воздействию тем-

пературы на алмаз в основном сводятся к следующему. При 1100–1200 °C происходит активация движения дислокаций. Известно, что азот входит в кристаллическую решетку алмаза при росте кристаллов в форме изоморфно-замещающего атома (С-центра), который является самым сильным центром желтой окраски алмазов [1, 6, 11]. При температурах обработки алмазов выше ~1300 °C наблюдается взаимодействие соседних атомов азота с образованием дефекта в виде пары азотных атомов в соседних замещающих узлах кристаллической решетки алмаза (А-центр). При температурах отжига выше 2300 °C в алмазах начинается формирование В1-центров, которые представляют собой четыре атома азота в соседних замещающих положениях плюс вакансии [17]. Примерно в этой же температурной области образуется N3-центры (три атома азота + вакансия). Все вышеупомянутые центры удалось получить экспериментально НРНТ отжигом синтетических алмазов. В ходе этих экспериментов были получены также H2, H3 и H4 центры, являющиеся продуктами взаимодействия А и В1 дефектов с вакансиями в различных зарядовых состояниях [17]. Кроме того, при различных режимах отжига и, особенно, в комбинациях с облучением ионизирующими излучениями в алмазе получено большое количество других дефектов с участием азота и других примесей [16]. Особое внимание следует уделить синтетическим алмазам, имеющим примесно-дефектные центры, характерные для природных алмазов, учитывая тот факт, что некоторые разновидности природных алмазов имеют повышенное содержание азота (10^{17} ат./см³) в форме отдельных атомов [10], характерных для синтетических алмазов типа 1b. Необходимо создать эталонную коллекцию кристаллов синтетических алмазов, выращенных с приме-

нением различных катализаторов (как исходных, так и прошедших различные виды обработки) с описанием их спектральных характеристик. Это позволит надежно проводить диагностику природных алмазов и бриллиантов и обеспечить соблюдение требований ГОСТ Р 52913-2008 «Бриллианты» в части защиты бриллиантов от ограненных синтетических алмазов ювелирного назначения, а также от кристаллов природных и синтетических алмазов, подвергнутых различным видам физических и химических воздействий с целью изменения их цвета и чистоты.

Таким образом, генетическая диагностика алмазов (природных, синтетических) в настоящее время практически не обеспечена отечественными приборами и методиками, позволяющими однозначно определить происхождение ограненного алмаза с помощью одного прибора, специально предназначенного для определения наличия ограненных синтетических или природных «облагорожденных» алмазов в лотах бриллиантов. Создание таких приборов является на сегодняшний день актуальной и непростой задачей. Эта задача усложняется еще и тем, что технологии синтеза алмазов ювелирного качества быстро прогрессируют, меняя металлические примеси в выращенных методом НРНТ алмазах на неметаллические в синтезе методом CVD.

В заключение следует отметить, что вопрос о состоянии и проблемах диагностики драгоценных камней и, главным образом, алмазов и бриллиантов, был одним из основных вопросов, обсуждаемых на Конгрессе Международной конфедерации ювелиров CIBJO 2014, проходившем в мае в Москве.

В своем выступлении на Конгрессе президент Американской ассоциации производителей и импортеров бриллиантов (Diamond Manufacturers and Importers Association of America, DMIA) Ронни Вандерлинден (Ronnie Vander-

linden) подчеркнул, что у CIBJO нет никаких возражений против торговли синтетическими алмазами, если их происхождение открыто декларируется.

В решении Конгресса указано, что синтетические алмазы должны декларироваться как таковые согласно пункту 3.7 «Алмазной книги», утвержденной конгрессом: «Тот факт, что синтетический алмаз является полностью или частично синтетическим, подлежит раскрытию. Для описания синтетических алмазов должны употребляться только термины «синтетический», «созданный в лаборатории» или «выращенный в лаборатории», и эти термины также должны, очевидно, и непосредственно предшествовать слову «алмаз».

Для успешного решения проблемы надежной диагностики драгоценных камней предложено:

1. В составе CIBJO создать орган по аккумуляции и анализу научных данных по отличительным признакам природных и синтетических алмазов, подвергнутых различным методам обработки, изменяющих их качество.

2. Создать банк данных по объективным методам контроля диагностических признаков наличия воздействия на природные кристаллы.

3. Создать банк данных по приборам, предназначенных для диагностики алмазов.

4. Сформировать перечень фирм, производящих и поставляющих необходимое диагностическое оборудование на мировой рынок.

5. Провести аналогичную работу и по цветным камням, проблемы происхождения, диагностики и применения которых были широко обсуждены на заседаниях комиссии по цветным камням.

Резюмируя изложенное состояние диагностики в мире и России алмазов, как сырья для получения во все возрастающем количестве ограненных бриллиантов и в расширяющемся ас-

сортименте алмазных изделий и порошков для станкоинструментальной, абразивной, высокотехнологических отраслей, оборонной, атомной промышленностей и космонавтики и сравнительного анализа состояния дел по диагностике драгоценных, ювелирных и декоративных (орнаментальных) камней в глобальном масштабе, можно констатировать следующее:

• Большая детальность разработки некоторых вопросов диагностики алмаза обусловлена только его несомненной важностью в промышленном отношении и культурно-эстетической значимостью. Но даже такое повышенное внимание общества в целом к «Первому камню» не смогло дать полноценного научно обоснованного и приборно-инструментального обеспечения экспрессно-надежного установления диагностических параметров природных алмазов, их синтетических аналогов и модифицированных разновидностей.

- По сравнению с алмазами диагностика цветных камней более сложна из-за:

1. их количества, измеряемого реальной представительностью на региональных и международных выставках по 200–350 наименований минералов;

2. «перекрытием» многих диагностических характеристик у различных минералов, что усложняет выбор однозначных физико-химических параметров;

3. меньшей обеспеченностью методическими материалами, стандартами и слабой обеспеченностью оборудованием, приборами и инструментами.

- В целом можно считать, что и диагностика алмазов, и диагностика цветных камней нуждаются в пристальном внимании к рассматриваемой проблеме профессионалов различных стран и мирового профессионального сообщества для концентрации усилий в улучшении состояния диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

-
1. Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Клюев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмазы. – М.: Наука, 1986. – 220 с.
 2. Davies G. The optical properties of diamond. Chemistry and physics of carbon / Ed. P.L. Walker, P. Thrower, Vol. 13, 1977, pp. 1–143.
 3. De Weerd F., Collins A.T. Optical study of the annealing behavior of the 3107 cm^{-1} defect in natural diamonds // Diamond and Related Materials, 2006, Vol. 15, No. 4/8, pp. 593–596.
 4. Evans T., Qi Z. The kinetics of aggregation of nitrogen atoms in diamond. Proc.Roy. Soc. London A, 1982, vol. 381, No 1780, pp. 159–178.
 5. Белименко П.Д., Лаптев В.А., Клюев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И., Самойлович М.И. Влияние отжига монокристаллов алмаза в условиях их термодинамической стабильности на образование и превращение структурных дефектов // ДАН СССР. – 1981. – т. 259. – № 6.
 6. Клюев Ю.А., Налетов А.М., Колчеманов Н.А., Фейгельсон Б.Н., Зудин Н.Г. Не-
 - которые результаты измерения цвета алмазов // Сверхтвердые Материалы. – 2001. – № 3.
 7. Collins A.T. Migration of nitrogen in electron irradiated type Ib diamond. J. Phys. C: Solid State Phys., v.11, 10, L417-L422, 1978.
 8. Evans T., Phaal C. Graphitisation of diamond. Proc. Roy. Soc. A207, 1962.
 9. De Weerd F., Collins A.T. The influence of pressure on high-pressure, high-temperature annealing of type Ia diamonds // Diamond and Related Materials. 2003. Vol. 12, No. 3/7, pp. 507–510.
 10. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1973. – 222 с.
 11. Винс В.Г., Сарин В.А. Новая LPHT технология облагораживания природных алмазов низких цветовых групп / Рынок драгоценных металлов и камней. XI Конференция. Доклад. – М.: МИРЭА, 2008.
 12. Винс В.Г., Елисеев А.П., Сарин В.А., Физические основы современных методов облагораживания природных алмазов и бриллиантов // Драгоценные металлы. Драгоценные камни. – 2008. – № 12(180). – С. 155–163.

13. Винс В.Г., Елисеев А.П., Сарин В.А., Физические основы современных методов облагораживания природных алмазов и бриллиантов // Драгоценные металлы. Драгоценные камни. – 2009. – № 2(182). – С. 132–145.
14. Винс В.Г., Елисеев А.П., Сарин В.А., Физические основы современных методов облагораживания природных алмазов и бриллиантов // Драгоценные металлы. Драгоценные камни. – 2009. – № 3(183). – С. 127–148.
15. Chrenko R.M., Tuft R.E., Strong H.M. Transformation of the state of nitrogen in diamond. Nature, 1977, Vol. 270, pp. 141–144.
16. Zaitsev A. Optical properties of Diamond, A data handbook. Berlin, 2081 15 B.
17. Ножкина А.В., Костиков В.И., Налетов А.М., Клюев Ю.А., Дудаков В.Б. Структурные превращения в алмазах при термических воздействиях / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов, № 16. – 2013. – С. 223–229. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мельников Е.П. – доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, председатель общества геммологов России, e-mail: evmelnikov@list.ru,
Ножкина А.В. – доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией, e-mail: nojkina@inbox.ru, ОАО «Научно-исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента (ВНИИАЛМАЗ).

UDC 553.08

STATE-OF-THE ART AND PROBLEMS OF DIAGNOSTICS OF PRECIOUS STONES AND INDUSTRIAL MINERALS

Mel'nikov E.P., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, e-mail: evmelnikov@list.ru,
Nozhkina A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory, e-mail: nojkina@inbox.ru,
Scientific-Research Institute of Natural and Synthetic Diamonds and Tools VNIIALMAZ, Moscow, Russia.

The author describes history of diagnostics of precious stones and minerals, and the term of scientific gemology. The article discusses ranges of application available for synthetic analogs of natural minerals, their advantage over natural prototypes and the equipment for diamond diagnostics.

The comparative analysis of the state-of-the-art in the area of diagnostics of precious stones, gems and ornamental stones as well as in the sphere of diamond diagnostics in the world and in Russia is performed.

Key words: gemology, precious stone diagnostics, natural diamonds, synthetic diamonds.

REFERENCES

1. Bokiy G.B., Bezrukov G.N., Klyuev Yu.A., Naletov A.M., Nepsha V.I. *Prirodnye i sinteticheskie almazy* (Natural and synthetic diamonds), Moscow, Nauka, 1986, 220 p.
2. Davies G. *The optical properties of diamond. Chemistry and physics of carbon*. Walker P.L., Thrower P. (Eds.), Vol. 13, 1977, pp. 1–143.
3. De Weerd F., Collins A.T. Optical study of the annealing behavior of the 3107 cm⁻¹ defect in natural diamonds. *Diamond and Related Materials*, 2006, Vol. 15, No. 4/8, pp. 593–596.
4. Evans T., Qi Z. The kinetics of aggregation of nitrogen atoms in diamond. *Proc. Roy. Soc. London A*, 1982, vol. 381, No 1780, pp. 159–178.
5. Belimenko L.D., Laptev V.A., Klyuev Yu.A., Naletov A.M., Nepsha V.I., Samoylovich M.I. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1981. т. 259, no 6.
6. Klyuev Yu.A., Naletov A.M., Kolchemanov N.A., Feygel'son B.N., Zudin N.G. *Sverkhtverdye materialy*. 2001, no 3.

7. Collins A.T. Migration of nitrogen in electron irradiated type Ib diamond. *J. Phys. C: Solid State Phys.*, v.11, 10, L417-L422, 1978.
8. Evans T., Phaal C. Graphitisation of diamond. *Proc. Roy. Soc. A*207, 1962.
9. De Weerdt F., Collins A.T. The influence of pressure on high-pressure, high-temperature annealing of type Ia diamonds. *Diamond and Related Materials*. 2003. Vol. 12, No. 3/7, pp. 507–510.
10. Orlov Yu.L. *Mineralogiya almaza* (Mineralogy of diamond), Moscow, Nauka, 1973, 222 p.
11. Vins V.G., Sarin V.A. *Rynok dragotsennykh metallov i kamney. XI Konferentsiya. Doklad* (Market of precious metals and stones. XI Conference. Presentation), Moscow, MIREA, 2008.
12. Vins V.G., Eliseev A.P., Sarin V.A. *Dragotsennye metally. Dragotsennye kamni*. 2008, no 12(180), pp. 155–163.
13. Vins V.G., Eliseev A.P., Sarin V.A. *Dragotsennye metally. Dragotsennye kamni*. 2009, no 2(182), pp. 132–145.
14. Vins V.G., Eliseev A.P., Sarin V.A. *Dragotsennye metally. Dragotsennye kamni*. 2009, no 3(183), pp. 127–148.
15. Chrenko R.M., Tuft R.E., Strong H.M. Transformation of the state of nitrogen in diamond. *Nature*, 1977, Vol. 270, pp. 141–144.
16. Zaitsev A. *Optical properties of Diamond*, A data handbook. Berlin, 2081 15 B.
17. Nozhkina A.V., Kostikov V.I., Naletov A.M., Klyuev Yu.A., Dudakov V.B. *Porodorazrushayushchiy i metalloobrabatyvayushchiy instrument tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya. Sbornik nauchnykh trudov* (Rock-destructive and metal-processing tools: Technology of Manufacture and Use. Collected scientific papers), no 16. 2013, pp. 223–229.



**Р У К О П И С И ,
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ШАХТОСИСТЕМЫ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

(№ 1055/09-15 от 15.05.2015, 7 с.)

Агафонов Виталий Валерьевич – кандидат технических наук,
Беляев Вячеслав Вячеславович – аспирант,
Воропаева Елизавета Викторовна – студент,
Ежаков Александр Викторович – студент,
МГИ НИТУ «МИСиС».

Приведен обзор тенденций и закономерностей преобразования технологических систем угольных шахт на современном этапе развития научно-технического прогресса в угольной отрасли, социально-экономических требований к труду, трансфера зарубежных технологий и современной горнодобывающей техники.

Ключевые слова: угольная шахта, технологические системы, многофункциональные шахтосистемы.

**MULTIFUNCTIONAL SOTOSERENA THE DEVELOPMENT
OF THE RESERVES OF COAL DEPOSITS**

Agafonov V.V.¹, Candidate of Technical Sciences,
Belyaev V.V.¹, Graduate Student,
Voropaeva E.V.¹, Student,
Yeqakov A.V.¹, Student,
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

The article provides an overview of trends and patterns of transformation of technological systems of coal mines at the present stage of development of scientific-technical progress in coal industry, socio-economic requirements for labor, transfer of foreign technologies and modern mining machinery.

Key words: coal mine, the technological system, multifunction systems of coal mines.