

ISSN 0034-026X



РАЗВЕДКА И ОХРАНА ЦЕНТР ПЕДР

ОСНОВАН В 1931 ГОДУ

ВНИИСИМС
50 лет



1—2004

С НОВЫМ ГОДОМ !

2

1

Министерство природных ресурсов РФ



1954

Всероссийский научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья и опытно-экспериментальный завод



2004

2 марта 1954 г. Постановлением Совета Министров СССР №360-163 в Москве был создан ВНИИ пьезоматериалов (ВНИИП) с опытным заводом синтеза пьезокварца для отечественной промышленности.

Апрель 1956 г. Получены первые крупные отечественные кристаллы кварца.

2 октября 1956 г. Подписан акт о приемке лабораторного корпуса завода в г. Александров. Началась поставка продукции в промышленность.

10 апреля 1963 г. На основании решения коллегии Государственного комитета по координации научно-исследовательских работ СССР от 18 февраля 1963 г. №11 ВНИИП преобразован во ВНИИСИМС в качестве основной научной и экспериментальной базы синтеза минерального сырья и геологических исследований природных кристаллов.

7 января 1971 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР за выдающиеся успехи ВНИИСИМС награжден орденом Трудового Красного Знамени.

30 июля 1993 г. Приказом №64 Роскомнедр институт переименован из "Всесоюзного" во "Всероссийский" ввиду мировой известности и значимости аббревиатуры ВНИИСИМС.

Трудовые успехи ВНИИСИМС:

Ленинская премия (1965 г.),

Государственная премия СССР (1979 г.),

Премия Совета Министров СССР (1982 г.).

В номинации "Всероссийская марка III тысячелетия" продукция ВНИИСИМС удостоена двух платиновых и пяти золотых наград "Знак качества - 21 век" (2000 г.).

40 патентов института действуют в области синтеза минерального сырья. В настоящее время ВНИИСИМС удостоен Правительством РФ звания "Российская организация высокой социальной активности" (2002 г.).

Признание заслуг за рубежом:

ВНИИСИМС участвовал во Всемирной выставке в Монреале (1965 г.), награжден Золотой медалью Лейпцигской ярмарки (1972 г.), Знаком отличия "Факел Бирмингема" (1997 г.) за выживание предприятия в условиях рыночной экономики и Знаком отличия Швейцарии "Хрустальный рыцарь" (1998 г.).



РАЗВЕДКА И ОХРАНА НЕДР

1 ♦ январь ♦ 2004

Основан в июле 1931 года

Ежемесячный
научно-технический
журнал

Учредители:
Министерство природных
ресурсов РФ,
Российское геологическое
общество

Главный редактор В.В. Караганов

Председатель редакционного совета,
зам. гл. редактора В.Б. Мазур

Заместители гл. редактора
А.П. Дорогутин, В.Ф. Рогов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В.А. Алискеров, Г.С. Вартамян,
В.А. Евстрахин, В.С. Зимич,
С.Л. Зубайраев, В.Г. Кардыш,
М.Б. Келлер, Г.А. Машковцев,
Н.В. Милетенко, Р.Р. Мурзин,
Л.В. Оганесян, Н.П. Пинчук,
А.К. Соколовский, В.П. Федорчук,
Е.И. Филатов, Ю.Г. Шульгин

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Ю.И. Бакулин, П.А. Бродский,
Э.К. Буренков, В.С. Быкадоров,
Н.Н. Ведерников, С.В. Гошовский,
Л.Г. Грабчак, С.Ж. Даукеев,
А.Н. Клюквин, Э.А. Кравчук,
О.Л. Кузнецов, В.А. Кулындышев,
И.Ф. Мигачев, С.С. Наумов,
Г.В. Остроумов, Н.К. Попков,
О.В. Смирнов, В.С. Сурков,
Ю.С. Татарчук, Б.Н. Хахаев,
В.Я. Шарафан

СОДЕРЖАНИЕ

Коваленко И.В., Костелова Т.Г., Шуляева Л.Н., Багрова З.А., Тигетова И.С. Сводная ресурсная карта цветных камней России	2
Смирнов А.А., Соболева Т.В. Ювелирно-поделочный чароит – один из уникальнейших самоцветов России	6
Коваленко И.В., Коваленко В.С. Жадеитовые самоцветы России и Казахстана	11
Марьин А.А., Крылова Г.И., Ивичева С.Н., Махина И.Б., Кожбахтеев Е.М., Реу А.А., Репина О.В. Прикладное значение и стратегические задачи облагораживания некондиционного камнесамоцветного сырья	17
Ляшенко Е.А. Минерально-сырьевая база цветных камней России	20
Ляшенко Е.А. Сибирские самоцветы	22
Турашева А.В. Геолого-экономический анализ минерально-сырьевой базы приоритетных видов камнесамоцветного сырья России	24
Морохов В.А. Реальность и целесообразность комплексной оценки ресурсной базы Уральской изумрудоносной полосы	30
Ивичева С.Н., Крылова Г.И., Марьин А.А., Турашева А.В. Анализ состояния и перспектив развития российского рынка камнесамоцветного сырья	34
Ляшенко Е.А., Лисицын Д.В. Коллекционные камни как самостоятельное полезное ископаемое	38
Степанова Т.А., Сопелева Е.Г., Муханова Н.Г., Мареева Т.В., Марьин А.А., Шишминин А.В. Промышленное выращивание цветных разновидностей кварца	40
Дикк Е.В., Хаджи В.Е., Шванский П.П. Синтетический опаловидный кварц	43
Иванова О.А., Смирнова С.А., Дубовская В.М., Горева Т.Ф., Смирнов А.А. Синтетическая шпинель, легированная кобальтом, выращенная методом ГНК	44
Иванова О.А., Смирнова С.А. Окраска и качество кристаллов иттрий-алюминиевых гранатов с различными концентрациями циркония и титана	45
Горобец Б.С., Рогожин А.А. Применение люминесценции при поисках и оценке камнесамоцветного сырья	46
Сучкова Е.М., Дубовская В.М., Кузьмина А.В. Методика оценки цвета ювелирного синтетического кварца	51
Жариков Е.В., Горашенко Н.Г., Ахметшин Э.А. Технология драгоценных камней: новая уникальная специализация в РХТУ	53
УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА	
Черненькая И.Г. Недропользование и малый бизнес	54
ХРОНИКА	
Вести Росгео	56
Александрю Ивановичу Спиваку – 80 лет	60
Льву Ивановичу Ровнину – 75 лет	60
Пятьдесят лет в геологии	61
Всеволоду Иосифовичу Подоляну – 75 лет	62
Алексею Марковичу Коломийцу – 65 лет	62
Шеко Аркадий Илларионович	63



МОСКВА "НЕДРА"

Журнал "Разведка и охрана недр", 2003
Изготовлено в ОАО "Издательство "Недра"

И.В. Коваленко, Т.Г. Костелова, Л.Н. Шуляева,
З.А. Баргова, И.С. Тигетова

СВОДНАЯ РЕСУРСНАЯ КАРТА ЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ РОССИИ

На территории России, начиная с 30–40 годов XX столетия и до настоящего времени, планомерно проводятся ГРР по изучению и освоению месторождений кварцевого, оптического и камнесамоцветного сырья. Сводные карты по этим видам нерудных полезных ископаемых на территорию России составились в основном для целей прогноза. Поэтому по инициативе Роскомнедр с января 1993 г. в геологическом отделе ВНИИСИМСа было начато поэтапное составление ресурсных карт РФ, отражающих размещение перечисленных видов сырья и их ресурсов. Эта работа является логическим продолжением многолетних НИР, проводимых во ВНИИСИМСе.

Основное назначение ресурсных карт — наиболее полное отображение состояния минерально-сырьевой базы того или иного вида полезного ископаемого. Как известно [3], минерально-сырьевая база складывается из учтенных Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ (ГБЗ) разведанных месторождений, утвержденных МПР прогнозных ресурсов перспективных площадей и объектов, а также запасов предварительно оцененных месторождений, потенциальных (авторских) ресурсов объектов, не учтенных действующими балансами запасов.

Рассматриваемая Сводная ресурсная карта цветных камней России представляет собой первый опыт составления мелкомасштабной карты подобного содержания применительно к камнесамоцветному сырью. При ее составлении в качестве основы использованы карты структурно-формационная, геологическая, полезных ископаемых, геохимической специализации, теплового потока, магматических формаций и др. В ходе работы также собран и проанализирован обширный материал (опубликованная литература, в том числе выпуски ГБЗ, рукописные труды, материалы Госкадастра месторождений и проявлений РГФ и др.). На Сводную ресурсную карту цветных камней (29 наименований) вынесены месторождения и проявления с оцененными ресурсами, что составило около 400 объектов*.

Некоторые общие понятия и термины. Под понятием «цветные камни» объединено около 100 видов минералов, минеральных агрегатов и горных пород. Их общая классификация, основанная на принципах рыночной стоимости и частоты встречаемости в природе, разработана Е.Я. Киевленко в 1980 г. (табл. 1, [1]). По данной классификации цветные камни подразделяются на три основные группы: ювелирные (драгоценные), ювелирно-поделочные и поделочные.

Ювелирные или драгоценные камни, как правило, прозрачны. Исключение составляют бирюза, благородный опал и натуральный жемчуг. По стоимости ювелирные камни подразделяются на четыре порядка (см. табл. 1). Первый — включает самые дорогие самоцветы, которые традиционно с древности до настоящего времени высоко ценятся и пользуются устойчивым спросом. Драгоценные камни первого порядка наряду с золотом и платиной относятся к активам Государственного банка России. Камни второго порядка имеют цены, незначительно уступающие самоцветам первого порядка. Вхождение самоцвета в данную группу в значительной мере определяется конъюнктурой рынка. В силу

* Авторы выражают искреннюю признательность за консультации и содействие в работе К.К. Атабаеву, М.Ф. Ярмаку Ю.А. Шатнову.

более широкого распространения в природе цветных камней третьего и четвертого порядков цены на них в 5–10 раз ниже и подвержены заметным колебаниям. Кроме перечисленных в таблице ювелирных камней, в России пользуется успехом изумрудно-зеленый ограночный хромдиопсид из Якутии, который является нетрадиционным для внешнего рынка самоцветом. Обычно его относят к ювелирным камням четвертого порядка.

Ювелирно-поделочные и поделочные камни обычно представлены моно- и полиминеральными агрегатами, обладающими красивой окраской или рисунком. В отличие от ювелирных — все они, за малым исключением, непрозрачны или просвечивают в тонких сколах.

Ювелирно-поделочная группа цветных камней объединяет наиболее красивые и сравнительно редкие камни, которые широко используются в массовых ювелирно-галантерейных изделиях и для изготовления художественных камнерезных поделок. В эту же группу входят прозрачные камни — бесцветный и дымчатый горный хрусталь, а также янтарь. Лучшие сорта камней этой группы, например, малахита, лазурита и жадеита, вполне сопоставимы по стоимости с ювелирными камнями четвертого порядка.

Поделочные камни, декоративные свойства которых проявляются на относительно больших поверхностях, применяются для изготовления художественных изделий и предметов декоративно-утилитарного назначения, из мелкоузорчатых разновидностей делают кабошоны и вставки для недорогих украшений.

Россия располагает уникальными месторождениями хромдиопсида, янтаря и чароита, продолжительное время являясь монопольным поставщиком этих камней, особенно янтаря, на мировой рынок.

К нетрадиционным ювелирно-поделочным камням следует отнести также друзы-«щетки» из тесно сросшихся мелких блестящих кристаллов аметиста, граната (уваровита, демантоида и др.), пригодные для изготовления вставок и высокодекоративных камнерезных изделий.

Методические подходы к составлению ресурсной карты. Процесс составления Сводной ресурсной карты включал минерагеническое районирование территории России

Таблица 1
Общая классификация цветных камней по Е.Я. Киевленко [1]

Группа	Порядок	Главные камни
Ювелирные (драгоценные камни)	I	Алмаз, рубин, изумруд, синий сапфир
	II	Александрит, благородный жадеит, оранжевый, желтый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал.
	III	Демантоид, шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родонит, лунный камень, красный турмалин.
	IV	Хризолит, циркон, кунцит, лунный камень, солнечный камень, желтый, зеленый и розовый берилл, пироп, альмандин, бирюза, аметист, хризопраз, цитрин.
Ювелирно-поделочные камни	I	Лазурит, жадеит, нефрит, малахит, янтарь, чароит, бесцветный и дымчатый горный хрусталь.
	II	Агат, амазонит, гематит-кравик, родонит, иризирующий обсидиан, непрозрачные иризирующие полевые шпаты, родингит (жад).
Поделочные камни	I	Яшма, мраморный оникс, обсидиан, гагат, окаменелое дерево, листовит, рисунчатый кремль, графический пегматит, авантюриновый кварцит, флюорит, селенит, агальматолит, цветной мрамор.

на камнесамоцветное сырье, ранжирование месторождений цветных камней по размерам ресурсов, разработку легенды.

При районировании территории России анализировались закономерности размещения цветнокаменной минерализации регионального и локального уровней (геотектоническое положение, тектонический режим структур, структурно-формационные комплексы салического, фемического, салическо-фемического типов). Именно эти составляющие характеризуют в основном геоструктурные единицы, на которых базируется выделение мегапровинций, провинций, областей, районов, зон, площадей и узлов концентрации полезных ископаемых (рис. 1, табл. 2). При составлении карты за основу минерагенического районирования была принята таксонометрическая последовательность, предложенная Е.П. Шаталовым [4]. Дополнительно для площади крупнее провинции привлечен таксон — мегапровинция.

Мегапровинции отвечают крупным мегаблокам земной коры и соответствуют в основном платформам и сложно построенным складчато-орогенным областям. В ранге провинций и областей выделены геоструктурные единицы, характеризующиеся особым сочетанием структурно-формационных комплексов. При этом провинцией является структурно-формационная единица с разнообразной и широко развитой камнесамоцветной минерализацией. Область — это обособленная в геологическом плане территория, в которой отмечаются немногочисленные небольшие проявления и минералогические находки цветных камней. В пределах мегапровинций (платформ) провинциями, как правило, являются щиты и их склоны, наиболее богатые по плотности и набору цветных камней. Это объясняется длительным геолого-структурным развитием щитов, интенсивным проявлением метаморфизма, магматизма, активными гидротермально-метасоматическими процессами.

Всем щитам присуще также проявление нескольких типов структурно-формационных комплексов архея, раннего протерозоя и протоорогенных магматических комплексов с

широким развитием пегматитов. Важным моментом в образовании цветных камней на щитах является рифтогенез и тектоно-магматическая активизация.

Мегапровинциям с платформенным чехлом свойственны терригенные, терригенно-карбонатные, осадочно-вулканогенные и трапповые формации. Здесь фиксируется специфический набор самоцветов, связанных в основном с карбонатным осадконакоплением, трапповым и кимберлитовым магматизмом, а также гидротермальными и экзогенными процессами.

Мегапровинции со складчато-орогенными структурами являются наиболее продуктивными на камнесамоцветное сырье. Как правило, они включают сложно построенные складчатые системы, объединяющие геологические структуры различного возраста и фациальной принадлежности. Наряду со складчатыми образованиями здесь часто присутствуют выступы кристаллического фундамента, так называемые срединные массивы, тектонические окна — выведенные на поверхность более древние комплексы. Широко представлены магматические, вулканогенные, осадочно-вулканогенные, офиолитовые комплексы.

Кроме того, на карте показаны трюги погребенных авлакогенов, преимущественно в пределах платформ, глубинные трансрегиональные и крупные региональные разломы.

При районировании территории на локальном уровне выделены в качестве основных единиц районы, зоны, узлы, реже — площади. Для районов и зон учитывался характер, специфика и расположение камнесамоцветной минерализации относительно структурно-формационных комплексов, магматических построек. При этом районы имеют изометричные очертания, зоны представляют собой узкие полосы, вытянутые вдоль тектонических нарушений, структурных блоков и др. Границы отдельных районов и зон на ряде участков совпадают с разломами, границами комплексов пород или структур.

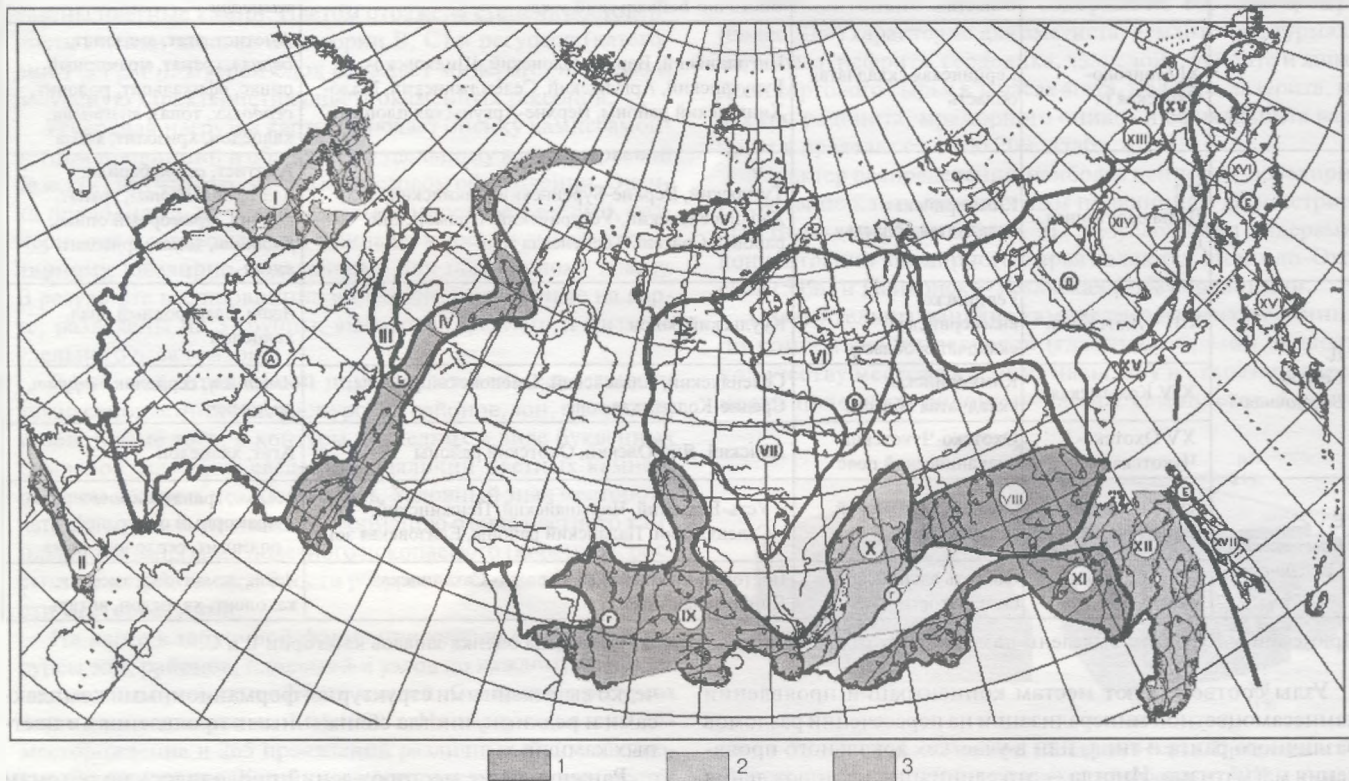


Рис. 1. Схема минерагенического районирования территории России на камнесамоцветное сырье. Удельный вес камнесамоцветных провинций и областей в сырьевой базе РФ: 1 — высокий; 2 — средний, 3 — низкий

Таблица 2
Минералогическое районирование территории России на цветные камни

Мега-провинции	Провинции (п.), области (о.)	Структурная основа	Район, зона, площадь, узел	Цветные камни
А. <i>Восточно-Европейская</i>		Русская платформа	Калининградский район	<i>Янтарь</i>
	I Карело-Кольская п.	Восточная часть Балтийского щита и его обрамление	Печенгский, Куолярвинский, Кейвский, Воронья-Понойский, Сортавальский районы, Западно-Беломорская, Имандра-Пырьегубская, Терская, Южно-Кольская зоны	<i>Аметист, амазонит, иризирующий полевой шпат, берилл, турмалин, хризолит, яшма</i>
	II Северо-Кавказская п.	Области альпийской складчатости	Лабинский, Джегут-Тазакольский районы, Нижне-Самурский узел	<i>Жалейт, гагат, змеевик, мраморный оникс, халцедон, яшма</i>
Б. <i>Тимано-Пайхойско-Уральская</i>	III Тиманская о.		Канинско-Индиговский район	<i>Агат</i>
	IV Пайхойско-Уральская п.	Каледоно-герцинский складчатый пояс	Ходатинско-Войкаро-Сыньинский, Шабровско-Нижне-Тагильский, Мурзинско-Учалинский районы, Орско-Магнитогорская зона, Сабыровско-Нуралинская, Куликовско-Шевченковская площади, Хасаваркинский, Северо-Сосьвинский, Саткинский узлы	<i>Аметист, агат, берилл, демантоид, жадеит, змеевик, корунд, малахит, нефрит, офикальцит, родонит, топаз, хризопраз, яшма</i>
	V Таймырская о.	Каледонская складчатая зона	Северо-Таймырский район	<i>Агат, гранат</i>
В. <i>Восточно-Сибирская</i>	VI Оленекско-Анабарская п.	Анабарский и Олекминский щиты и их обрамление	Маймеча-Котуйский район, Хатангская зона	<i>Агат, мраморный оникс, офикальцит, хризолит, янтарь</i>
	VII Тунгусская о.	Область траппов	Тунгусско-Вилюйский, Катанго-Ангарский районы	<i>Аметист, агат, мраморный оникс</i>
	VIII Алдано-Становая п.	Алданский щит, протерозойская складчатая зона Станового хребта	Олекминский, Алданский, Учур-Маймаканский, Верхне-Зейский районы, Маймаканская площадь, Мурунский, Средне-Алданский, Средне-Нюкженский узлы	<i>Аметист, амазонит, гранат, корунд, мраморный оникс, турмалин, хризолит, хромдиопсид, чароит</i>
Г. <i>Южно-Сибирская</i>	IX Енисейско-Алтае-Саянская п.	Байкальская каледоно-герцинская складчатая область	Алатауско-Кузнецкий, Алейский, Центрально-Енисейский, Верхне-Бирюсинский, Боруцкий, Сенгиленский, Восточно-Саянский, Джилинско-Белининский районы, Западно-Енисейская зона, Красноярская, Верхне-Енисейская площади, Верхне-Чулымский, Слюдянский узлы	<i>Агат, амазонит, гагат, гранат, жадеит, змеевик, лазурит, мраморный оникс, нефрит, офикальцит, родонит, хризолит, яшма</i>
	X Забайкальская п.	Байкальская складчатая область	Северо-Байкальский район, Витимская площадь, Восточно-Байкальский узел	<i>Берилл, нефрит, родонит, халцедон</i>
	XI Монголо-Охотская п.	Герцинская складчатая область	Ингодинский, Верхне-Олонский, Шилковско-Буруканский, Аргуньский, Селемджинский, Мало-Хинганский районы, Верхне-Аргуньская площадь	<i>Аметист, агат, амазонит, берилл, гранат, мраморный оникс, офикальцит, родонит, сердолик, топаз, турмалин, халцедон, хризолит, яшма</i>
	XII Дальневосточная п.	Киммерийская складчатая область	Тугурский, Верхне-Буреинский, Бикинский, Дальнереченский, Уссурийский, Приморский районы, Совгань-Тернейская зона	<i>Аметист, агат, берилл, благородный опал, гранат, корунд, мраморный оникс, родонит, топаз, хризолит, яшма</i>
Д. <i>Северо-Восточная</i>	XIII Чукотская о.	Герцинско-киммерийская складчатая область	Куульский район	<i>Агат, благородный опал, халцедон</i>
	XIV Колымская о.	Киммерийская складчатая область	Селеняхский, Алазейский, Омолонский районы, Средне-Колымская зона	<i>Аметист, сердолик, нефрит, родингит</i>
	XV Охотско-Чукотская о.	Охотско-Чукотский вулканический пояс	Аянский, Яно-Олский, Охотский районы	<i>Агат, халцедон</i>
Е. <i>Камчатско-Сахалинская</i>	XVI Корякско-Камчатская п.	Область альпийской складчатости	Усть-Бельский, Чирынайский, Пенжинский, Селеняхский, Паланский районы, Елизовская зона	<i>Агат, гранат, демантоид, мраморный оникс, нефрит, родингит, сердолик, яшма</i>
	XVII Сахалинская о.	Область альпийской складчатости	Восточно-Сахалинская, Западно-Сахалинская, Прибрежная зоны	<i>Агат, демантоид, змеевик, кахолонг, халцедон, янтарь</i>

Примечание: Курсивом выделены названия цветных камней, для которых проведена оценка запасов категории В и С.

Узлы соответствуют местам концентрации проявлений камнесамоцветной минерализации на пересечении разломов различного ранга и типа, или в участках локального проявления магматизма. Иногда — это единичные месторождения или группы сближенных проявлений, как правило, одного полезного ископаемого. Площадями названы территории с

четко выраженными структурно-формационными комплексами и редкими, иногда сближенными проявлениями цветных камней.

Ранжирование месторождений проводилось по объемам запасов сырья или кристаллосырья категорий В, С. При этом учитывались утвержденные ЦКЗ балансовые, а также пред-

Таблица 3
Размерность месторождений цветных камней

Ранг	Запасы		
	Ювелирные камни, кг	Ювелирно-поделочные камни, т	Поделочные камни, тыс. т
Уникальные	> 30 000	> 50 000	
Крупные	> 10 000	> 7500	> 25 000
Средние	> 1000	> 1000	> 5000
Мелкие	< 1000	< 1000	< 5000

варительно оцененные (авторские) запасы данного вида сырья. Ранжированию подвергались все промышленные месторождения. Месторождения с оцененными запасами лишь сортового сырья ранжировались методом аналогии с известными объектами однотипного сырья и аналогичного геолого-промышленного типа. Непромышленные месторождения ранжированию не подвергались.

При выборе интервалов оценки размерности месторождений в каждой группе цветных камней (ювелирные, ювелирно-поделочные и поделочные) авторы руководствовались граничными значениями запасов, которые сопоставлялись с запасами и годовой добычей аналогичных месторождений мира. В результате по ценности сырья и размерам запасов среди месторождений цветных камней выделены уникальные, крупные, средние и мелкие (табл. 3).

Изложенные выше принципы определяют основу методики составления Сводной ресурсной карты цветных камней РФ.

Содержание карты. Карта явилась продуктом синтеза многочисленных фактических материалов (рис. 2, 4–5-я стр. вкладки). Легенда к карте состоит из двух блоков. Первый включает структурно-формационную характеристику камнесамоцветных комплексов и построен в виде таблицы-матрицы. В ее горизонтальных рядах отражено минерагеническое деление территории России. В вертикальных колонках показаны цветные камни. Цветом отражена степень достоверности оценки запасов (категории В, С) и ресурсов (категории Р₁, Р₂, Р₃). Второй блок отражает минерагеническую и ресурсную характеристику цветнокаменных таксонов.

Ресурсная нагрузка карты включает оценку камнесамоцветных провинций и областей по удельному весу в сырьевой базе России, что отражено в их цветовом оформлении. Оценка проводилась по степени насыщенности объектами, размерности месторождений, принадлежности камней к ювелирному, ювелирно-поделочному или поделочному классу. В результате все провинции и области, выделенные на карте, разделены на 3 группы: высокого, среднего и низкого удельного веса (см. рис. 1).

Различной штриховкой показана степень освоенности камнесамоцветных таксонов уровня районов, зон, площадей, узлов. Кроме того, в контуры последних в виде буквенных символов заложены сведения о наличии цветных камней, ресурсы которых не оценивались. Условный знак месторождения и проявления несет информацию о виде цветного камня, форме залегания полезного ископаемого (коренное, россыпное и пр.), масштабности ресурсов и степени освоенности месторождений.

На карте в табличной форме приводятся суммарные ресурсы зон, районов, площадей и узлов по каждому из имеющихся в их пределах цветных камней. Сведения о ресурсах даны по состоянию на 1.01.1999 г. На карту вынесено 141 месторождение и 265 проявлений различных видов цветнокаменного сырья. Карта сопровождается кадастром месторождений и проявлений, содержащим паспорта объектов, с их разносторонней геологической и экономической харак-

теристикой, данными о ресурсах. Электронная версия карты разработана в системе Arc View GIS 3.2. Подготовка ее включала два этапа: создание растровой подложки и оцифровку векторной информации. Растровая подложка создавалась с помощью цветного сканера MUSTEK 1200 SP. Оцифровка выполнялась с использованием полуавтоматического векторизатора Easy Trace 5.2.

Таким образом, представляемая ресурсная карта является первой Сводной ресурсной картой цветных камней РФ, составленной по единой методике, оригинальной как в плане минерагенического районирования, так и в плане полноты ресурсных сведений, в ней содержащихся.

Краткий анализ минерально-сырьевой базы цветных камней России. Минерально-сырьевая база (МСБ) камнесамоцветного сырья России на 01.01.2002 г. складывается из 141 месторождения и 265 проявлений [2]. Группа ювелирных камней представлена 32 месторождениями и 106 проявлениями, ювелирно-поделочных — соответственно 62 и 116, поделочных — 47 и 51. Из них 27 месторождений разрабатывается, 4 — находятся в стадии подготовки к освоению, 59 — составляют госрезерв, 6 — находятся в стадии разведки и 45 — законсервировано. Из общего количества месторождения Государственным балансом полезных ископаемых (вып. 2002 г.) учтены только 90. Такие камни, как хромдиопсид, топаз, благородные корунд и опал, сподумен, хризопраз представлены единичными объектами, к наиболее распространенным следует отнести агат, нефрит и яшму.

Сравнение запасов самоцветного сырья по классу камней показало, что из общего их объема ювелирные камни составляют 9%, ювелирно-поделочные — 29%, наибольший процент (62%) приходится на поделочные. Анализ распределения запасов цветных камней по месторождениям разной масштабности показывает, что 78–90% запасов принадлежит ограниченному числу крупных и уникальных месторождений. При значительном общем количестве мелких месторождений их ресурсы составляют только первые проценты. Относительно высокое содержание сортового сырья (более 20%) характерно для аметиста, демантоида, турмалина, топаза, нефрита, сердолика, халцедона, чароита и яшмы. Доля сортового сырья в запасах агата, жадеита, лазурита, малахита, родонита, мраморного оникса и офикальцита варьирует в пределах от 10 до 20%. (табл. 4).

Характер распределения наиболее ценного — ювелирного сырья по камнесамоцветным провинциям демонстрируется блок-диаграммой (рис. 3). Безусловными лидерами в концентрации ювелирного сырья являются Монголо-Охотская (50%) и Пайхойско-Уральская (21%) провинции.

Сравнительный анализ камнесамоцветных провинций по концентрации ресурсов (главным образом запасов), количеству месторождений, масштабу и степени освоенности полевных, видовому набору самоцветов с учетом

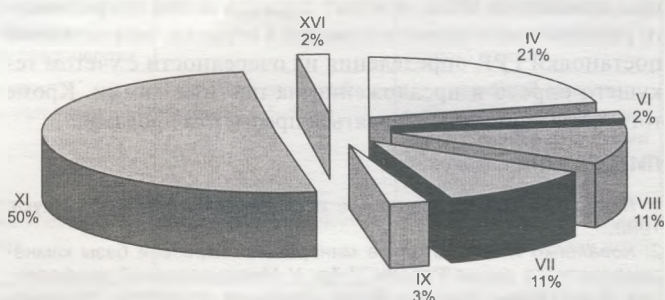


Рис. 3. Доля провинций в запасах ювелирного сырья. Провинция: IV — Пайхойско-Уральская, VI — Оленекско-Анабарская, VIII — Алдано-Становая, IX — Енисейско-Алтае-Саянская, XI — Монголо-Охотская, XVI — Корякско-Камчатская; область: VII — Тунгусская

Таблица 4

Удельный вес разномасштабных месторождений в суммарных (балансовых, утвержденных, авторских) запасах цветных камней

Масштаб месторождения	Класс камней		
	Ювелирные	Ювелирно-поделочные	Поделочные
Уникальные	(1) $\frac{38475,7 \text{ кг}}{27 \%}$	(2) $\frac{234311 \text{ т}}{53 \%}$	
Крупные	(4) $\frac{81818,8 \text{ кг}}{58 \%}$	(7) $\frac{113646 \text{ т}}{25 \%}$	(7) $\frac{847919 \text{ т}}{90 \%}$
Средние	(6) $\frac{18148,1 \text{ кг}}{13 \%}$	(12) $\frac{86632 \text{ т}}{19 \%}$	(9) $\frac{88137 \text{ т}}{9 \%}$
Мелкие	(10) $\frac{1997,5 \text{ кг}}{2 \%}$	(42) $\frac{11933 \text{ т}}{3 \%}$	(20) $\frac{1232 \text{ т}}{1 \%}$

Примечание. В числителе показаны запасы сырья (кристалло-сырья), в знаменателе — в процентном выражении удельный вес запасов, в скобках — количество месторождений.

дефицитности позволил разделить провинции МБС РФ на три группы с удельным весом:

высоким — Пайхойско-Уральская, Алдано-Становая, Енисейско-Алтае-Саянская и Монголо-Охотская;

средним — Карело-Кольская, Северо-Кавказская, Забайкальская, Дальневосточная;

низким — Оленекско-Анабарская, Корякско-Камчатская. Таким же удельным весом характеризуются все области: Тиманская, Таймырская, Тунгусская, Чукотская, Колымская, Охотско-Чукотская, Сахалинская.

Значение карты и некоторые выводы

1. Россия обладает значительной минерально-сырьевой базой цветнокаменного сырья. Перспективы ее расширения связаны, главным образом, со слабо изученными территориями Восточно-Сибирской, Южно-Сибирской, Северо-Восточной, Камчатско-Сахалинской мегапровинций.

2. Имеющаяся сырьевая база используется в весьма ограниченном объеме. Из 141 месторождения разрабатывается только 28. Большая же их часть законсервирована.

3. Даже незначительно возросшие в последние годы объемы поисковых работ в Карело-Кольском и, главным образом, Восточно- и Южно-Сибирском регионах привели к открытию новых проявлений ограночного граната, хризолита, берилла, ювелирно-поделочного агата, родонита, сподумена и других камней, а соответственно — к приросту прогнозных ресурсов этих камней кат. P₂ и P₃.

Сводная ресурсная карта цветных камней России является первым опытом составления карт подобного содержания. Она требует постоянного обновления, учитывающего текущие изменения МСБ, и может служить целям оперативно реагирования на состояние дел в отрасли, эффективной постановки ГРР, определения их очередности с учетом текущего спроса и предложения на цветные камни. Кроме того, сама карта может являться предметом продажи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Киевленко Е.Я. Драгоценные и цветные камни. — М.: Наука, 1980.
2. Коваленко И.В. Состояние минерально-сырьевой базы камне-самоцветного сырья России. / Тр. V Международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение». Т. 2. — Александров: ВНИИСИМС, 2001. — С.458–468.
3. Орлов В.П. Геологическое прогнозирование. — М.: Недра, 1991.
4. Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенетических исследованиях. — СПб., 1991.

А.А. Смирнов, Т.В. Соболева

ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЙ ЧАРОИТ — ОДИН ИЗ УНИКАЛЬНЕЙШИХ САМОЦВЕТОВ РОССИИ

Месторождение чароита «Сиреневый камень» находится в бассейне р. Чара в пределах двух административных регионов — Олекминского района Респ. Саха и Бодайбинского — Иркутской обл. Термин «чароит» применяется для названия минерала чароита и чароитовой породы (чароитита) с содержанием этого минерала от 30 до 100 %, используемых в качестве ювелирно-поделочного камня. В составе чароитовой породы установлено до 10 породообразующих минералов (кварц, эгирин, микроклин, тинаксит, пектолит, арфведсонит и др.) и до 20 — аксессуарных. Важнейшей особенностью чароита является отсутствие у него монокристалльных образований. Его выделения представляют псевдокристаллы или агрегаты субмикронно-нитевидных волокон толщиной 30–40 нм и длиной до 1–2 см. Они образуют тонкоигльчатые, волокнистые, пластинчатые, розетковидные и шестоватые макровыделения.

В связи с этим многочисленные исследования не привели к однозначному определению параметров элементарной ячейки и кристаллохимической формулы чароита. Имеется большое количество вариантов этих параметров и, в т.ч., около десяти формул. В последнее время предложена полисоматическая, наиболее обоснованная модель кристаллической структуры чароита [3], составленная из модулей (блоков) парагенетических минералов: франкаменита, майзерита и апофиллита. На основании уравнения: Франкаменит + Майзерит + Апофиллит = Чароит, выводится следующая формула: $K_{14}Na_6Ca_{38}(Ca, M^{3+})_4(Si_{72}O_{188})F_{14}(OH)_4 \cdot 18H_2O$, где M^{3+} — Y, REE, Fe. Параметры элементарной ячейки (Å): a = 19,6 (2); b = 32,08 (4); c = 7,22 (2).

Минерал чароит и его месторождение, открытое в 1976 г., остается пока единственной находкой в мире. В процессе разведки и опытно-методической обработки чароититы в течение многих лет использовались как рядовое поделочное сырье. Лишь в последние годы чароит начинает получать достойную оценку как изысканный и неповторимый по красоте самоцвет, но его популяризация требует дальнейших усилий. Даже относительно постоянные потребители этого камня не представляют себе, насколько многообразны чароититы по декоративным характеристикам и возможностям использования в изделиях различного назначения.

Чароит, по мнению большинства исследователей, является гидротермально-метасоматическим образованием и связывается с Маломурунским щелочным массивом, входящим в состав Мурунского ультракалийевого комплекса мезозойского возраста. Маломурунский массив залегает на контакте архейских гранито-гнейсов и платформенных отложений верхнепротерозойского и нижнекембрийского возраста.

Чароитовая минерализация развивается в южном экзоконтакте массива на площади ~ 5 км² и приурочена к фени-тизированным алевролитам и кварцевым песчаникам, аподоломитовым метасоматитам кумахулахской и сеньской свит верхнего протерозоя и апосиенитовым метасоматитам. Чароититы образуются в зонах протяженностью до 100–150 м и шириной в первые десятки метров. В их пределах чароитовые породы образуют небольшие тела в виде линз, пластовые залежи, маломощных жил с переживаниями и раздуваниями. Размеры таких тел по простиранию изменяются от нескольких десятков сантиметров и до 10–20 м, мощность — от первых сантиметров до 1 м, реже 2–4 м. Промышленная мине-

рализация связана с метасоматическим замещением эгирин-ортоклазовых фенитов. Гидротермальные прожилки имеют меньшую распространенность и в промышленном отношении играют небольшую роль.

На месторождении в течение 15 лет сотрудниками ВНИИСИМСа (А.А. Смирнов, Е.В. Бухтиярова, Т.В. Соболева, Е.И. Мамаева и др.) проводились научно-исследовательские работы по изучению вещественного состава и условиям образования чароитов, разработке критериев оценки качества и методики минералого-технологического картирования чароитов и др. Большая роль в постановке, организации и научном руководстве этих работ принадлежала начальнику отдела науки Мингео РСФСР В.В. Менчинскому и главному геологу экспедиции «Востоккварцсамоцветы» Г.П. Пацкевичу.

Чароиты образуют сотни декоративных разновидностей, которые обусловлены чрезвычайно широким разнообразием окрасок, структурно-текстурных показателей (рисунков) и минерального состава. Основную роль для формирования этого многообразия чароитов играют состав и структура вмещающих пород, степень их замещения, метасоматический или гидротермальный характер их образования, процессы перекристаллизации и пострудная пластическая или разрывная деформация.

Оценка качества этого самоцвета является чрезвычайно сложной и, прежде всего, при выделении сортовых разновидностей для промышленного использования. Поэтому первоочередной проблемой для оценки декоративности явилась задача объединения в большие группы всего разнообразия чароитов, которое дало бы возможность выработать усредненные декоративные показатели. Основой для этого явилась впервые разработанная для камнесамоцветного сырья классификация природных (геологических) типов и разновидностей чароитовых пород [7].

Для разделения чароитов на типы были использованы следующие параметры (табл. 1–8):

морфологические типы агрегатов чароита;

структурно-текстурные характеристики чароитов;

петрогенные особенности чароитов;

пространственное обособление разновидностей чароитов, обеспечивающее селективное их извлечение из недр, как сырья.

В дальнейшем было проведено инструментальное изучение окрасок, рисунков и серебристого (шелковистого и перламутрового) отливов [1, 2]. Эти исследования позволили оценить чароит как уникальный самоцвет. В соответствии с международными стандартами отнесение самоцвета к драгоценному или уникальному камню* (Никольская Л.В. и др., 1976) для чароита можно выделить следующие критерии: красоту (великолепие), редкость, спрос, размеры и др.; по оптическим свойствам: цвет, блеск, необычные оптические свойства (интенсивный шелковистый и пер-

ламутровый отлив, дихроизм, рис. 9, 2-я стр. вкл.). Разумеется, эти параметры проявляются лишь в части декоративных разновидностей чароитов. Большое количество чароитов имеют невысокие геммологические показатели, но в любом варианте они по красоте и разнообразию рисунков являются среди поделочных камней также уникальным камнем. Редкость чароита не требует каких-либо комментариев, он является единственной находкой в мире.

В отношении спроса чароит пока находится в последних рядах среди ювелирных и поделочных камней, и это не удивительно. Чароит открыт совсем недавно. Его уникальные декоративные свойства вначале привлекли внимание лишь специалистов, впоследствии популярность росла и у потребителя. В настоящее время чароит пользуется устойчивым спросом в России. Но до сих пор ювелирный, а также поделочный чароит не известен значительной части населения у нас в стране и за рубежом, как скажем, алмазы, аметист, агаты, сердолик, с которыми человек знаком тысячелетия. Чароит как ювелирный и поделочный камень по размерам блоков превосходит многие самоцветы. Его можно использовать для изготовления крупногабаритных ваз, столешниц и т.п.

Окраски чароита в его высоко декоративных разновидностях представлены насыщенными ($P_c = 0,05-0,06$ о.е.) сиреневыми, фиолетовыми и реже коричневыми цветами. Они обусловлены электронно-дырочными центрами, создаваемыми Mn^{4+} и Fe^{3+} [2]; (Никольская Л.В. и др., 1976). Кроме того, существуют десятки смешанных окрасок с невысокой насыщенностью и различными оттенками за счет тонкодисперсных реликтовых и наложенных минеральных примесей: апофиллита (коричневые, кремовые, розовые), кальцита (белые, желтые), эгирина (серые) и др. Снижение насыщенности окрасок может происходить также за счет пострудных пластических деформаций, которые нарушают параллельную упаковку волокон в агрегатах чароита и снижают их оптическую однородность.

Таблица 1
Классификация природных типов и разновидностей чароитов

Природный тип	Основные разновидности	Морфологический тип агрегатов (размеры)	Характеристика рисунка
Сливной (рис. 2)	Массивная Полосчатая Пятнистая	Тонкоигольчатый (соты и десятки доли мм)	Чаще отсутствует либо создается выделениями других минералов – «солнца» эгирина, тинаксита
Волокнистый (рис. 3)	Спутанно-волоконная Полосчато-волоконная Чешуйчато-волоконная Волокнисто-зернистая Спутанно-игольчатая	Волокнистый (от первых мм до 1–3 см)	Создается разновеликими разноориентированными волокнами или пучками волокон чароита
Плойчатый (рис. 4)	Волнистая Гофрированная	Волокнистый (от первых мм до 1–5 см)	Образован микроскладками чароита
Паркетовидный (рис. 5)	Мелко-лейстовая Крупно-лейстовая Гиганто-лейстовая Волокнисто-пластинчатая	Пластинчатый (от 0,2 до 10–12 см)	Красивый мозаичный рисунок за счет закономерного срастания лейст (пластинок) чароита
Розетковидный (рис. 6)	Сферолитовая Метельчато-лучистая	Радиально-лучистый (диаметр 0,5–5 см)	Оригинальный «звездчатый» рисунок, образованный радиально-лучистыми сростками или сегментами сферолитов чароита
Параллельно-шестоватый (рис. 7)	Параллельно-волоконная Сноповидная	Длиннопризматический (от 1 до 10 см)	Ориентированный, полосчатый с интенсивной игрой света
Очковый (рис. 8)	Мелко-очковая Крупно-очковая Очково-пойчатая	Волокнистый, пластинчатый, тонкоигольчатый (от первых мм и до 3–4 см)	Образован овоидами микроклина, кварца, радиально-лучистыми сростками эгирина, тинаксита

Примечание. Рис. 2–8 см. на 1–2 стр. вкладки.

* Минералогическая энциклопедия. — Л.: Недра, 1985.

Таблица 2
Сливной природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Массивная	Метасоматическое замещение м/з эгирин-ортоклазовых фенитов гидротермальное выполнение трещин	Сотые и десятки мм	Фибробластовая, войлочная, гранофибробластовая	Массивная, атакситовая	Микроклин, рихтерит, пектолит Микроклин, эгирин, кварц	Новый, Якутский, Подснежник
Полосчатая	То же	То же	Фибробластовая, макросвилеватая	Полосчатая, сланцевая	Эгирин, микроклин	Новый
Пятнистая	Метасоматическое замещение м/з эгирин-ортоклазовых, кварц-ортоклазовых фенитов	- « -	Фиброгранобластовая	Массивная, атакситовая	Микроклин, эгирин, кварц	Новый, Северный

Таблица 3
Волокнистый природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Спутанно-волоконистая	Метасоматическое замещение с/з-к/з эгирин-ортоклазовых фенитов	От первых мм до 1 см	Спутанно-волоконистая, гранонематобластовая	Массивная до сланцеватой	Микроклин, эгирин, кварц, пектолит	Северный, Заложник, Приречный, Гольцовый
Полосчато-волоконистая	То же	От первых мм до 1-5 см	Нематогранобластовая, гранонематобластовая	Сланцеватая, атакситовая	Микроклин, эгирин, кварц, апофиллит	Северный, Приречный, Якутский
Спутанно-игольчатая	Гидротермальное выполнение трещин	1-5 мм	Фибробластовая, гранофибробластовая	Массивная	Микроклин, эгирин, кварц, пектолит	Подснежник, Заложник
Волокнисто-зернистая	Метасоматическое замещение сиенитов	первые мм	Нематогранобластовая	Массивная, атакситовая	Эгирин, микроклин, титанит, кальцит	Восточный, нижний фланг

Таблица 4
Площатый природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Волнистая	Гидротермально-метасоматическое выполнение в зонах брекчирования	От первых мм до 1-3 см	Нематобластовая	Площатая	Микроклин, эгирин, кварц, франкаменит	Старый, Магистральный, Грозовой, Восточный, Приречный и др.
Гофрированная	Пострудная пликвативная дислокация волокнистых чароитов	То же	Кластолепидобластовая	То же	Микроклин, кварц, калиевый батисит	То же

Таблица 5
Паркетовидный природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Мелко-лейстовая	Метасоматическое замещение к/з кварца и микроклина	До 0,5 см	Лепидобластовая	Массивная	Кварц, микроклин	Северный, Заложник, Приречный, Гольцовый
Крупно-лейстовая	Метасоматическое замещение гигантозернистого кварца и микроклина	0,5-3 см	Лепидобластовая, гранолепидобластовая	Массивная, сланцеватая	Кварц, микроклин, федорит	Северный, Приречный, Якутский
Гиганто-лейстовая	Гидротермальное выполнение трещин	От 3 до 10-12 см	Лепидобластовая	Массивная	Микроклин, кальцит, пектолит	Подснежник, Заложник
Волокнисто-пластинчатая	Перекристаллизация крупноволокнистых чароитов	1-2 см	Нематобластовая, лепидобластовая	Массивная	Кварц, микроклин, эгирин	Новый, Огневой, Якутский
	Гидротермальное выполнение трещин	До 3 см	Лепидобластовая	Массивная	Рихтерит, микроклин, кальцит, пектолит	Якутский

Таблица 6
Розетковидный природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Сферолитовая	Гидротермально-метасоматическое выполнение трещин	Диаметр 0,5–5 см	Сферолитовая, метельчато-лучистая	Агакситовая, эвтакситовая	Тинаксит, эгирин, пектолит, токкоит	Ажимовский, Новый, Северный
Метельчато-лучистая	Перекристаллизация волокнистых чароититов	Диаметр до 1 см	То же	То же	Эгирин, тинаксит	Огневой, Подснежник, Приречный, Новый

Таблица 7
Параллельно-шестоватый природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Параллельно-волокнистая	Гидротермально-метасоматическое выполнение трещин	До 10 см	Параллельно-шестоватая	Полосчатая	Кальцит, пектолит, кварц, эгирин	Коренной
Сноповидная	То же	От 1 до 5–10 см	Сноповидная	Шестоватая	Эгирин, пектолит, кальцит, тинаксит	Северный, Заказник, Заложник, Приречный

Таблица 8
Очковый природный тип

Разновидности	Петрогенные особенности формирования	Размеры агрегатов	Структура	Текстура	Основные сопутствующие минералы	Основные участки распространения
Мелко-очковая	Метасоматическое замещение с/з, к/з кварц-ортоклазовых фенитов	Овоиды до 0,5 x 0,5 см	Порфирино-нематобластовая	Очковая, свилеватая	Микроклин, эгирин, кварц, пектолит, тинаксит	Новый, Старый, Огневой, Якутский, Заказник, Коренной, Заложник
Крупно-очковая	Образование розеток эгирина, тинаксита, пектолита, вдоль ослабленных зон	Овоиды более 0,5 x 0,5 см	Порфирино-лелидобластовая	То же	То же	То же
Очково-плойчатая	Пострудная дислокация волокнистых чароититов	Овоиды от 1,5 x 2 см	Порфирино-нематобластовая	Очково-плойчатая	Микроклин, эгирин, кварц	Старый, Грозовой, Восточный, Подснежник

В цветовой гамме поделочного чароита принимают также участие многочисленные сопутствующие минералы: черные — эгирин, рихтерит-арфведсонит; белые — федорит; салатные — микроклин; голубые — пектолит; медово-желтые — тинаксит, титанит; коричневые — токкоит; зеленые — франкаменит. Такое многообразие окрасок не отмечается ни для одного известного самоцвета.

Минерал чароит в целом при полировке легко принимает однородный зеркальный блеск, качество которого в целом оценивается высшей категорией — отличная (170–200 отн. ед.) [4]. Однако качество и однородность полировки снижается в агрегатах чароита с мелкодисперсными примесными минералами и в сливных природных разновидностях (хорошая — 140–170 отн. ед.). Сопутствующие породообразующие минералы нарушают однородность полировки. Обычно такие породы приобретают неоднородную, пятнистую полировку, так как все они по сравнению с чароитом имеют более низкие значения полируемости. Серебристый отлив является одним из важнейших декоративных показателей чароита, интенсивность которого может достигать 20–30 % и превосходит отлив в жемчуге примерно в два раза.

Оптические эффекты, называемые в описательной минералогии шелковистым и перламутровым отливом, встречаются у многих минералов, среди которых наиболее известны кварц (тигровый глаз), родусит (соколиный глаз) и чароит. Кроме прикладного аспекта, определяющего декоративную значимость чароита, эти эффекты указывают на уникальные условия кристаллизации минеральных агрегатов. Нефелометрические исследования [1] позволили выявить природу отливов чароита и дать им количественную оценку. Отлив проявляется в относительно крупных агрегатах (не менее 0,5 см) с параллельной упаковкой волокон и относительно прозрачных, с минимальным содержанием мелкодисперсных примесей. При движении света сквозь эту среду он многократно преломляется и отражается, отраженные лучи фокусируются в некоторой плоскости. Чем прозрачнее агрегат и глубже проникают лучи в слоистую среду, тем сильнее проявляется отлив. Термин шелковистый отлив предложено употреблять в том случае, когда на нефелометрической кривой имеется хорошо различимый максимум и появляется «бегущая» световая полоска. Перламутровый блеск характеризуется изотропной и относительно гладкой индикатрисой светорассеяния без резких максимумов.

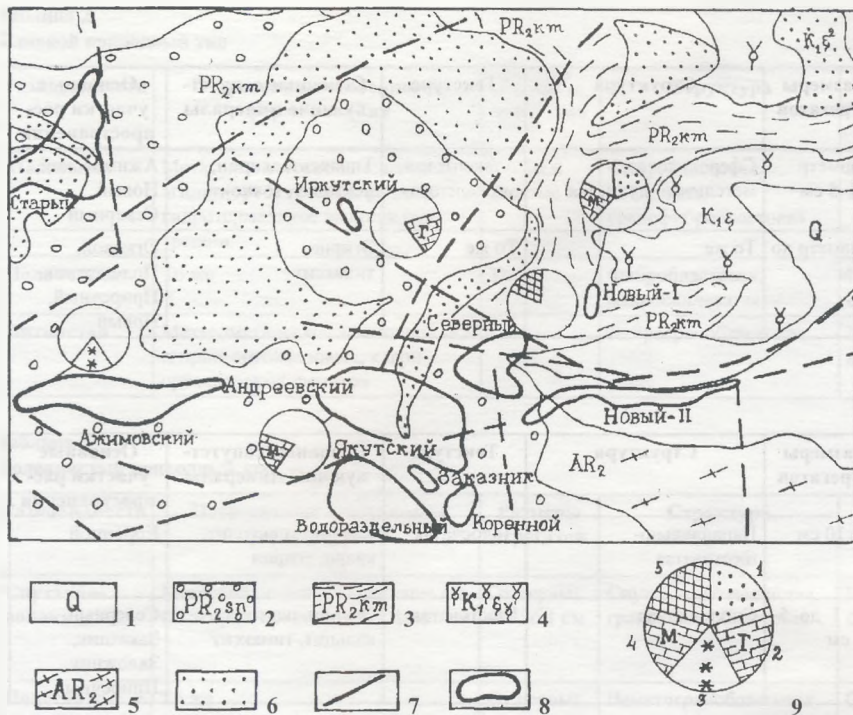


Рис. 1. Схема размещения ювелирного чароита на месторождении «Сиреневый камень»: 1 — Четвертичная система: рыхлые отложения нерасчлененные: глыбы, валуны, щебень, галечники, пески, суглинки; 2 — сеньская свита: песчаники кварцитовидные с прослоями гравелитов и конгломератов; 3 — кумахулахская свита: песчаники полимиктовые, алевро-песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями мергелей, доломиты; 4 — Алданский щелочной комплекс нижнемелового возраста (сиениты, сиенит-порфиры); 5 — Ханинский комплекс позднего архея (гранито-гнейсы); 6 — фениты (апощелачивающие и апогнейсовые) и апощелочные метасоматиты; 7 — тектонические нарушения (разломы); 8 — участки проявления чароитовой минерализации; 9 — природные типы чароитов: 1 — сливной метасоматический, 2 — паркетовидный гидротермальный, 3 — розетковидный, 4 — паркетовидный метасоматический, 5 — волокнистый

С помощью несложных геометрических построений можно вычислить кривизну поверхности различных изделий из чароита, которая обусловила бы максимальное проявление «бегущей» полоски: L — линейные размеры изделия, R — радиус кривизны, соотношение между ними: $R = 2L/\sin\varphi$.

Количество рисунков в чароититах, определяемое их структурно-текстурными показателями, а также цветовой гаммой всех минералов, трудно оценить из-за бесчисленного многообразия. Выделяются как первичные структурные и текстурные элементы, так и вторичные (перекристаллизация, пострудная деформация и др.). Среди них можно назвать лишь следующие: войлочная, фибро-, немато-, лепидобластовые, фиброграно-, нематограно-, лепидогранобластовые, радиально-лучистые, однородно-, пятнисто-массивные, очковые, паркетовидные, плейчатые, гофрированные, такситовые. Образующий этими структурными элементами рисунок дополнительно усложняется и изменяется степенью концентрации чароитовой, темноцветной и лейкократовой компоненты, зернистостью, симметричностью рисунка и его контрастностью, сложностью и охватом рисунка, полихромностью чароита и разнообразными окрасками минералов.

Инструментальное (текстуromетрическое) изучение параметров рисунка чароитов позволило дать им количественную оценку. Выявленные геммологические показатели чароита позволили дать оценку его качества, по которым было предложено выделить два сорта ювелирного и три — поделочного камня [2].

Ювелирный чароит по своим геммологическим показателям мог бы стать в один ряд с самыми лучшими драгоцен-

ными камнями. Содержание ювелирного чароита в общем количестве добытого сырья и подсчитанных запасов неизвестно. Ранее все сырье объединялось в один вид — ювелирно-поделочный и лишь в 1990 г. новыми ТУ был выделен ювелирный сорт. В последующие годы работы на месторождении постепенно сворачивались, и каких-либо достоверных сведений по качеству чароита не приводилось. По результатам анализа распространенности природных типов и разновидностей чароитов на месторождении его количество не превышает 10–15 % от общей массы чароита-сырца (рис. 1). Этот вывод основывается на том, что ювелирный чароит представлен определенными природными разновидностями, а именно: мелко-лейстовой и волокнисто-пластинчатой — паркетовидной, мелко-сферолитовой и мелко-метельчатой — розетковидной, мелковолокнистой — волокнистой, массивной — сливного типов.

Основными геммологическими параметрами для выделения сортов чароита явились: содержание чароита, цветовые характеристики, отлив, структурно-текстурные особенности, количество и видовой состав сопутствующих минералов. Каждый из параметров по их геммологической значимости разделен на три или четыре группы, и их различные сочетания («формула» качества) позволяют определить сортность чароита [6].

Уникальность месторождения «Сиреневый камень» не ограничивается наличием ювелирно-поделочного чароита. Месторождение или Мурунское чароитоносное

поле (МЧП) является крупнейшим потенциальным источником коллекционного сырья. По ценности и масштабам распространенности коллекционного материала данный регион предлагается ранжировать как новый минералогический объект России Национального значения [5].

Коллекционный материал в МЧП представлен кристаллами и их агрегатами в горной породе. Коллекционное сырье предложено разделить на три группы: уникальное — (1–4 находки в мире); редкое и рядовое. Более чем из 200 известных в пределах МЧП минералов для промышленной обработки выделено 50. К уникальным — относятся чароит и чароититы, токкоит, франкаменит, тинаксит, федорит, агреллит, дианит, таусонит; к редким — майзерит, лоренценит, лабунцовит, калиевый батисит; к рядовым — эгирин, пектолит, клиногумит, рихтерит.

Все минералы обладают высокой декоративностью: крупными размерами индивидов, оригинальными формами выделений (в т.ч. сферолиты), насыщенными окрасками, а чароититы — красивыми пейзажными рисунками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухтиярова Е.В., Смирнов А.А., Индунный В.В., Таран М.Н. Природа шелковистого и перламутрового отливов чароита // Минер. журн. — 1992. — Т. 14, № 2. — С. 95–99.
2. Геммологическое изучение цветowych и текстурных характеристик чароита месторождения «Сиреневый камень» / В.В. Индунный, М.Н. Таран, С.И. Игнатов и др. — Киев: ИГФМ АН УССР, 1991. (Препринт)
3. Никишова Л.В., Рождественская И.В., Поликанова Г.С. Модель кристаллической структуры чароита — представителя полисоматической серии щелочных кальциевых силикатов // ДАН. — 2003. — Т. 389. — № 3. — С. 390–393.

4. Оценка полируемости и декоративности природных облицовочных камней при поисках и разведке месторождений Методические рекомендации. № 18. — М.: ВИМС, 1982.
5. *Соболева Т.В., Смирнов А.А.* Мурунское чароитоносное поле — новый национальный объект коллекционных минералов России / Матер. 2 Межд. симп. «Минеральное разнообразие — исследование и сохранение». — София, 2002.
6. *Соболева Т.В., Смирнов А.А., Соболева А.А.* Оценка качества ювелирно-поделочного чароита и его ювелирных разновидностей / Минералогия, геммология искусство. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. — С. 69–70.
7. *Smirnov A.A., Bukhtiyarova E.V., Mamaeva E.I., Soboleva T.V.* Native types varieties of charoitites of the deposit «Syrenyevy Kamen» / 30 th IJC Beijing, China, 4–14 August 1996, abstracts. — V. 2. — P. 50

© И.В. Коваленко, В.С. Коваленко, 2004

И.В. Коваленко, В.С. Коваленко

ЖАДЕИТОВЫЕ САМОЦВЕТЫ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

Жадеитовый самоцвет, особенно ценный в странах Юго-Восточной Азии и Китае, привлекает внимание разнообразной, преимущественно зеленой всех оттенков, окраской, прозрачностью или просвечиваемостью в тонких пластинках, высокой прочностью и восприимчивостью к зеркальной полировке. Закрепившееся в литературе и на рынках сбыта название «жадеит», строго говоря, не совсем правильно. Камень встречается в виде плотных, очень вязких, скрыто-среднезернистых масс, лейстовидных, сноповидных и радиально-лучистых агрегатов, представляющих собой горную породу, сложенную в различных количественных соотношениях щелочными моноклинными пироксенами жадеитового ряда, с большими или меньшими содержаниями широкого спектра примесных, аксессуарных и вторичных минералов. Самоцветами являются именно жадеиты, которые на 70 % и более сложены пироксенами, характеризующиеся крайней изменчивостью декоративных свойств даже в относительно мелких образцах или изделиях. Цвет камня преимущественно белый, светло-серый с различными оттенками зеленого, зеленый, изумрудно-зеленый, реже голубой, фиолетовый, темно-серый, синевато-серый, желтый, бурый, красный, синий. Ярко-зеленая изумрудная окраска обусловлена примесями хрома, тускло-зеленая — железа. По сей день это единственный камень, формальная цена которого определяется оценкой экспертами каждого конкретного образца, а не назначается фирмами.

Месторождения жадеитов редки. Источником высококачественного сырья являются месторождения Северной Мьянмы (Бирмы). Мелкие жадеитовые месторождения невысокого качества находятся в США, Японии, Гватемале, на ове Целебес и в Китае. Практически единственным поставщиком сырья на мировой рынок является Мьянма, где сосредоточены основные запасы высококачественного жадеита. Их эксплуатация ведется несколько сотен лет. В частности, на традиционном аукционе в Мьянме в 1992 г. было продано 282 лота жадеита общей стоимостью 7237937 долл. США, а на аукционе в 1993 г. образец жадеита империяла массой 285 карат был продан за 233 999 долл. США. На мировые рынки из России и Казахстана поступает преимущественно высококачественное жадеитовое сырье. Среднегодовой оборот жадеита в сырье на мировом рынке ориентировочно составляет: империял — 50–100 кг, коммерциал — 10–20 т, утилити — 150–200 т, в то время как спрос в 2 раза превышает предложение.

Месторождения жадеитов относятся к контактово-метасоматическому генетическому классу [1,3], при этом само-

цвет образуется по жильным предварительно альбитизированным гранитоитоидам (плагиогранитам и др.), реже по лейкогабброидам. Давление и температура образования минералов жадеита по данным термобарометрического изучения ГЖВ с углекислотой оцениваются в 4–5 кбар и 490–550 °С, а замещающих его зеленых пироксенов в 1.5 кбар и 320–365 °С. Эти данные согласуются и с присутствующими на месторождениях минеральными ассоциациями. По Н.Л. Добрецову, жадеитизация эклогитов происходила при температуре 600 °С и давлениях от 10 кбар и выше [2,3]

Наиболее крупные месторождения жадеита с высокосортным (ювелирным) сырьем формируются в ультрамафитах, приурочены к поясам глаукофан-сланцевого или эклогит-глаукофан-сланцевого метаморфизма и залегают исключительно в зонах серпентинитового меланжа и имеют сходное геологическое строение. К ним относятся все месторождения Бирмы (коренные и россыпные). Их можно отнести в разряд уникальных по масштабам минерализации и содержанию ювелирного жадеита (империяла). С бирманскими месторождениями сравнимо Итмурундинское (Казахстан). Российские месторождения Пусьерка и Борусское по запасам и наличию высокосортного жадеита можно отнести к средним, а Лёвокечпельское — к мелким, содержащим лишь ювелирно-поделочное и поделочное сырье. Последнее сопоставимо с месторождениями типа Клер-Крик и Лич-Лейк (США).

Особенности геологического строения месторождений России и Казахстана довольно полно отражены в публикациях [1,3,4,6] и поэтому в данной статье рассмотрены кратко, в основном, на примере месторождений Итмурунды (Казахстан). Месторождения жадеитов представляют собой совокупность линзо-будино-жилообразных тел, залегающих в зонах смятия и дробления эндо-, реже экзоконтактов ультрамафитовых массивов. Месторождение Итмурунды, находящееся в Северном Прибалхашье, приурочено к одноименному офиолитовому поясу или зоне [1,4]. По степени сохранности разреза офиолиты отнесены к серпентинитовому меланжу, а по положению в структуре — это узкая шовная зона или сутура протяженностью около 50 км при ширине от нескольких сот метров до 6 км. Геолого-структурное положение зоны иллюстрируется схематической картой (рис. 1), из которой следует, что это сложно построенное покровно-складчатое образование. Офиолиты представлены в основном ультрамафитами дунит-перидотитового состава. Характерно блоково-полосчатое переслаивание отложений итмурундинской свиты с ультрамафитами, что объясняется неоднократными близгоризонтальными перемещениями пород офиолитового комплекса.

Северная пограничная часть офиолитовой зоны представляет собой полимиктовый меланж. Здесь в серпентинитовом будинированном и рассланцованном материале, выполняющем роль «цемента», наблюдаются в виде включений крупные блоки ультрамафитов, пород итмурундинской свиты (диабазовых порфиритов, спилитов, кремнистых пород, яшм), гранитоидов, гранатовых горнблендитов, гранат-эпидот-мусковитовых и глаукофановых сланцев.

Центральные и южные блоки ультрамафитов с фрагментами первичных структур, заключенные в серпентинитовую рассланцованную массу, трактуются как мономиктовый серпентинитовый меланж. Северная пластина от центральной отделена полосой вулкаников, присутствие которых наблюдается и в южной части офиолитовой зоны.

Помимо продольной отмечается поперечная зональность в строении комплекса. Трансформными разломами он расчленен на отдельные крупные блоки, различающиеся по соотношению пород, глубине залегания, характеру вскрытых интрузивов, тектонической переработке, наличию жадеитовой

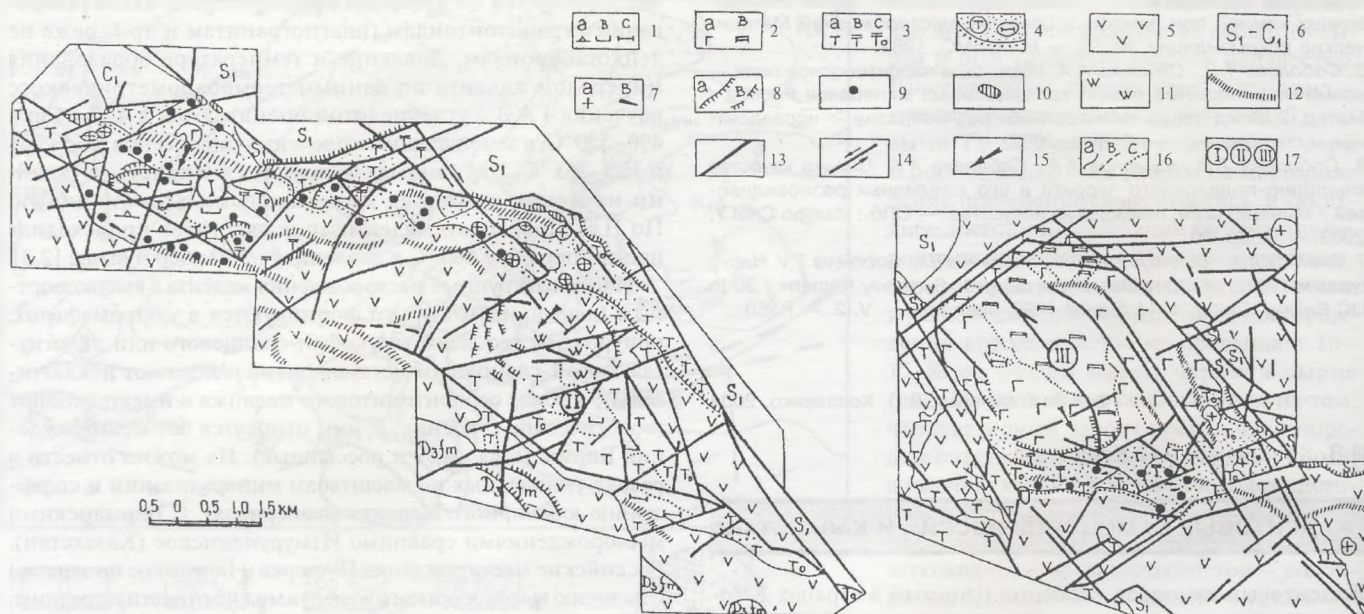


Рис. 1. Геолого-структурная схематическая карта Итмуундинской офиолитовой жадеитоносной зоны: 1 — а — ультрамафиты нерасчлененные, в — дуниты, аподунитовые серпентиниты, с — перидотиты нерасчлененные, апоперидотитовые серпентиниты; 2 — а — габбро, в — пироксениты нерасчлененные, апопироксенитовые серпентиниты; 3 — а — серпентиниты нерасчлененные, в — микроантигоритовые; 4 — полимиктовый меланж; 5 — спилиты, диабазовые порфириды, кремнистые породы (итмуундинская свита, O_2); 6 — нерасчлененные вулканогенно-осадочные отложения пород (S_1-C_1); 7 — а — плагиограниты, в — альбитовые тела, дайки и жилы; 8 — надвиги: а — фронтальные зоны крупных пластин, чешуй, в — предполагаемые; 9 — жадеититы; 10 — листвениты; 11 — реликты силифицированной коры выветривания по ультрамафитам; 12 — зоны тектонитов, мелонитов и интенсивной трещиноватости; 13 — разрывные нарушения; 14 — сброс горизонтального смещения; 15 — направление крупномасштабного сдвига; 16 — геологические границы: а — достоверные, в — отдешифрованные, с — фациальные; 17 — массивы ультрамафитов: I — Кентерлай, II — Итмуунды, III — Архарсы

минерализации. В пределах месторождения выявлено более 100 тел жадеитов и альбит-жадеитовых пород размером от первых метров в диаметре до 40×30 м. Форма тел изометричная, плито-, жило- и будинообразная, падение крутое до вертикального. В рельефе тела жадеитов представляют собой невысокие горки, в большинстве своем вытягивающиеся цепочкой, образуя мелкие гряды (зоны). Протяженность зон от сотен метров до 2 км, ширина колеблется от 10 до 60 м. На глубину промышленная зона месторождения прослежена более чем на 100 м.

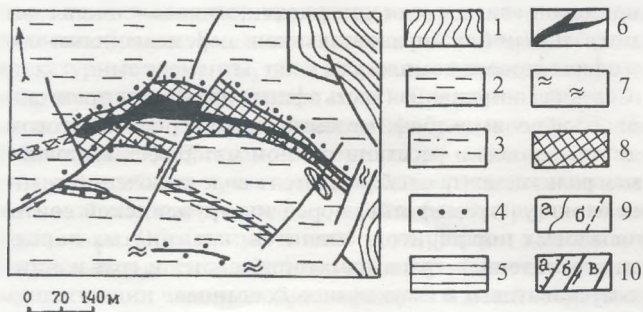


Рис. 2. Схематическое геологическое строение жадеитоносной зоны № 5–8 (по материалам Г.Д. Аерова, А.Ф. Свириденко, И.В. Коваленко): 1 — яшмоидные породы, диабазовые порфириды итмуундинской свиты; 2 — серпентиниты микроантигоритовые с реликтами дунитовых и гарцбургитовых слабосерпентинизированных пород; 3 — серпентиниты сложного состава; 4 — серпентиниты перекристаллизованные; 5 — серпентиниты хлоритизированные и актинолитизированные; 6 — альбит-жадеитовое тело; 7 — кварц-альбит-амфиболовые жилы; 8 — зона тектонитов; 9 — границы между породами: а — отчетливые, б — неясные; 10 — тектонические нарушения: а — надвиги, б — сдвиги, в — прочие

Все жадеитовые тела залегают в зонах милонитизации антигоритовых серпентинитов, сочетающихся с жесткими блоками ультрамафитов (рис. 2). Промышленная зона месторождения представляет собой крупное дайкообразное тело (длина — 350 м, мощность до 50 м), которое многократными тектоническими подвижками подроблено на отдельные гигантские будины величиной до 30×50 м. К востоку жадеититы выклиниваются, а западная часть зоны срезается разломом. Жадеититы и жадеит-альбитовые тела оконтуриваются зоной рыхлого материала серпентин-актинолит-хлорит-гидрофлогопитового состава с глыбами и будинами серпентинитов — милонитов и актинолититов. Гидрофлогопит-актинолитовая и актинолитовая метасоматические оторочки вокруг жадеитовых тел сохраняются фрагментарно. Сами жадеититы будинированы, участками раздроблены до мелкой щебенки (рис. 3). Именно в местах интенсивного дробления встречаются мелкие обломки, будинки с высокосортными зелеными разновидностями жадеита.

В результате комплексного изучения вещественного состава и геммологических свойств жадеитов России, Казахстана и частично Мьянмы установлено, что основными составляющими жадеитового камня разрабатываемых месторождений являются минералы группы пироксенов: жадеит, омфацил и хлормеланит [5]. Кроме того, в нем в разных соотношениях встречаются альбит, анальцим, амфибол, натролит, флогопит, скаполит, хлорит, рудные минералы. Исследованиями мономинеральных фракций жадеитовых пород установлен следующий ряд минеральных видов пироксенов жадеитовой группы: жадеит — хлормеланитовый жадеит — жадеитовый хлормеланит — хлормеланит — хлормеланитовый омфацил — омфацил [5]. При этом следует заметить, что иногда употребляемый [2] термин «жадеит — диопсид» соответствует хлормеланитовым разновидностям пироксенов данного ряда. В этом ряду от жадеита к омфацилу увеличивается содержание эггириновой (акмитовой) и особенно диопсидовой составляющих

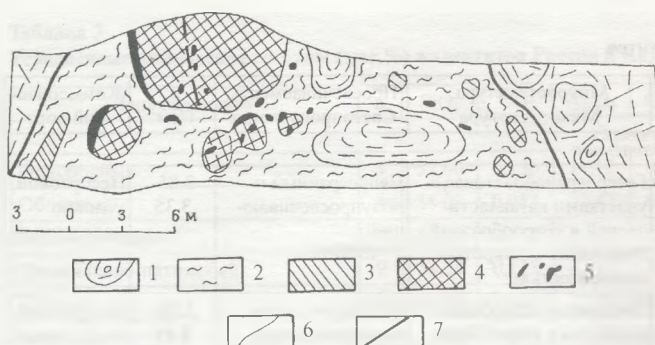
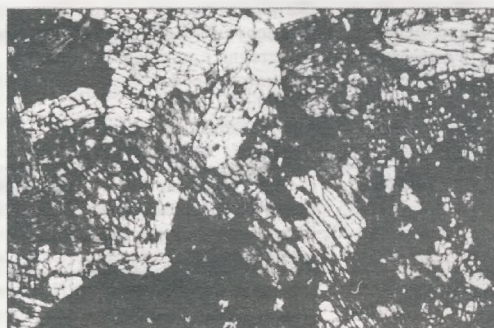


Рис. 3. Внутреннее строение жадеитовой зоны № 5-8 месторождения Итмурунды: 1 — серпентиниты милонитизированные; 2 — рыхлый глиноподобный материал флогопит-хлорит-актинолитового состава; 3 — актинолиты; 4 — жадеиты, альбит-жадеитовые породы; 5 — выделения зеленых пироксенов; 6 — границы между породами; 7 — тектонические нарушения

в твердых растворах моноклинных пироксенов, что сказывается на кристаллохимических и рентгенографических характеристиках минеральных видов (Свириденко А.Ф. и др., 1979). Несмотря на определенные диагностические трудности, многолетний опыт изучения жадеитовых пород позволяет довольно точно идентифицировать в шлифах собственно жадеит, хлормеланит и омфациит по морфологии зерен, характеру их агрегатов, оптическим свойствам и цвету (рис. 4, табл. 1).

Для точных определений остальных минеральных видов названного ряда их петрографические исследования необходимо сочетать с данными рентгенофазового и химического анализов. Декоративные свойства жадеитов зависят, главным образом, от минерального состава породы. В частности, серые разных оттенков, в большинстве своем несортовые жадеититы сложены преимущественно жадеитом. Темно-серые, почти черные содержат примеси графита, магнетита, молибденита. Зеленые цвета обусловлены появлением в них хлормеланитовых и омфациитовых разновидностей пироксенов. Светло-яблочно-ярко-травяно-зеленые оттенки связаны с преобладанием в породах хлормеланитовых разновидностей пироксенов. А тускло темно-зеленая окраска характерна для жадеитов с преобладанием омфациитов. Сочно-зеленым или изумрудно-зеленым цветом обладают жадеититы, сложенные омфациитовыми хлормеланитами.

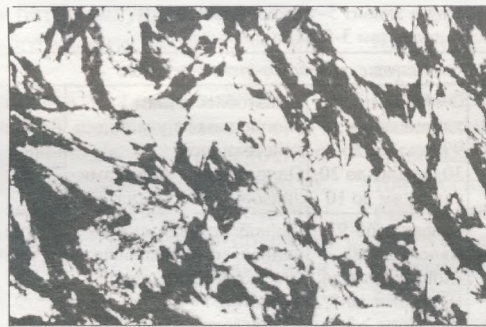
Текстурный рисунок или однородность жадеитов тоже зависят от состава, формы и размеров выделений слагающих пироксенов.



1



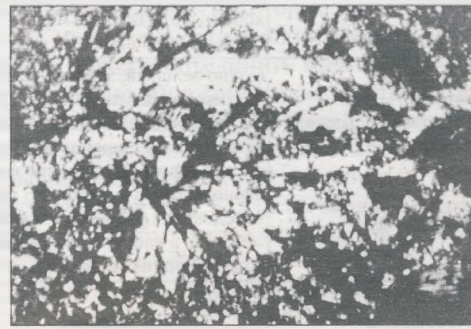
3



5



2



4

Рис. 4. Структуры жадеитов (прозрачные шлифы, увел. 40): 1 — несортовой светло-серый жадеитит, гранобластовая структура, ник. +; 2 — подделочный темно-зеленый омфациитовый жадеитит, сноповидная структура, ник. +; 3 — подделочный темно-зеленый омфациитовый жадеитит, сфероидальная структура, ник. П; 4 — ювелирно-подделочный сочно-зеленый хлормеланитовый жадеитит, метельчато-лучистая структура, ник. +; 5 — ювелирный омфациитовый хлормеланит, мелколистоватая структура, ник. +

Таблица 1
Характеристика породообразующих пироксенов жадеитовых пород

Диагностические свойства пироксенов	Жадеит	Хлормеланит	Омфациит
Цвет	Светло-серый, серый, белый	Травяно-сочно-, яблочно- и изумрудно-зеленый	Темно-тускло-зеленый, синевато-темно-зеленый
Форма зерен	Таблички, пластинки, неправильные зерна	Мелкие чешуйки, пластинки, лейсты, волокна	Удлиненные с расщепленными концами кристаллы и веретенообразные зерна
Микроструктура агрегатов	Гетерогранобластовая, катакlastическая	Тонкокристаллическая, лейстовидная, метельчато-лучистая, волокнистая	Сноповидная метельчато-призматическая или метельчато-, центрически-лучистая
Рентгенографические данные			
d_{221} (нм)	0,2921	0,2931	0,2982
d_{310} (нм)	0,2817	0,2843	0,2899
Оптические константы			
Ng	1,667-1,671	1,674-1,694	1,694-1,704
Np	1,652-1,654	1,654-1,676	1,670-1,679
+2V	62-69°	71-78°	66°

Таблица 2

Геммологические характеристики природно-технологических типов жадеитов

Тип, месторождение	Цвет; зернистость	Минеральный состав, %	Микроструктура. Микротекстура	Прозрачность. Светопротекание	ρ , г/см ³	Коммерческий сорт
<i>Серые разных оттенков</i>						
Однородный Борусс, Левый Кечпель, Пусьерка	Светло-серый до белого, светло-зеленовато-серый до бледно-зеленовато-серого; средне-мелкозернистый и крупно-среднезернистый	Жадеит 70-99,5, натролит 1-15, анальцит 1-20	Гетерогранобластовая с участками катакластической и веерообразной. Массивная с микротрещиноватостью	Непрозрачный и полупрозрачный. T=40-52%	2.85-3.35	Несортной, условно поделочный
Облачный Итмурунды	Серый различных оттенков; тонко-мелкозернистый и среднезернистый	Жадеит 90-99, омфацил до 5, хлормеланит до 10, альбит до 5	Тонко-мелкогранобластовая редко с веерообразными участками. Однородная, пятнисто-прожилковая	Непрозрачный и полупрозрачный. T=52%	2.98-3.49	Несортной, поделочный
Мраморовидный Борусс, Пусьерка, Итмурунды	Серый различных оттенков до белого, с пятнами, линзовидными прожилками темно-серого, зеленовато-темно-серого с синим оттенком до черного, голубовато-светло-зеленого цвета; от скрыто-среднезернистого, преобладает мелко-зернистый	Жадеит 50-99, омфацил до 45, анальцит до 30, альбит до 10	Гетерогранобластовая, нематогранобластовая с участками лучисто-призматической. Слабовыраженная полосчатая и мозаично-блоковая	Непрозрачный и полупрозрачный	2.82-3.52	Несортной, условно поделочный
Прожилково-пятнистый (слаборисунчатый) Левый Кечпель, Пусьерка, Итмурунды	Светло-серый, бледно-зеленовато-серый с прожилками и пятнами зеленого разных оттенков и темно-серого; гетеро (средне-мелко-тонко-)зернистый и мелковкрапленный	Жадеит 40-95, омфацил до 55, анальцит до 15, натролит до 15, альбит до 7	Среднегранобластовая в сочетании с лейстовидной, сноповидной, веерообразной. Пятнистая с участками однородной	Непрозрачный и полупрозрачный. T=39-49%	2.96-3.28	Поделочный с участками ювелирно-поделочного
<i>Пестроокрашенные</i>						
Брекчиевидный (брекчиевидно-пятнистый, брекчиевидно-прожилковый) Борусс, Левый Кечпель, Итмурунды	Светло-серый до белого, светло-зеленовато-серый с пятнами, линзовидными прожилками зеленого разных оттенков и густоты; разнозернистый, неоднородный.	Жадеит 25-80, хлормеланит до 60, омфацил до 35, анальцит до 15, натролит 5-7, альбит 3-5, флогопит до 3	Катакластическая, гломеробластовая в сочетании с метельчатолучистой. Брекчиевидно-пятнистая, очково-прожилковая, зонально-очковая	Непрозрачный и полупрозрачный. T=31-48%	2.65-3.32	Поделочный с участками ювелирно-поделочного
Однородно-пятнистый Борусс	Серовато-светло-зеленый в сочетании с пятнами зеленого и сочно-зеленого, равномерно пятнистый; крупнозернистый	Жадеит 50-87, омфацил 10-25, анальцит до 20, альбит до 5	Гетерогранобластовая, решетчатая-прожилковая. Равномерно-пятнистая, реже линейно-пятнистая	Полупрозрачный и полупрозрачный. T=52-74%	3.11-3.22	Условно поделочный и ювелирно-поделочный
Рябчиковый Борусс, Итмурунды	Светло-серый, светло-зеленый и зеленовато-серый с равномерной вкрапленностью сочно-травяно (до изумрудного)-яблочно-зеленого и коричневатого-бурого; мелко-среднекрупный	Жадеит 5-65, омфацил 20-90, хлормеланит до 45, анальцит 7-20, альбит до 5	Гранобластовая в сочетании с лучисто-метельчатой, листоватой; центрическая. Равномерно-пятнистая и концентрически зональная	Непрозрачный и полупрозрачный. T=38-42%	3.14-3.30	Ювелирно-поделочный
Пейзажный Борусс, Левый Кечпель, Пусьерка, Итмурунды	Сочно-зеленый, зеленый разных оттенков и насыщенности с пятнами, линзовидными выделениями и ветвящимися прожилками белого, светло-серого, изумрудно-зеленого, черного, бурого и желтого цветов; чередование узорчатых полос зеленого и светло-серого; мелко-тонко-скрытозернистый	Жадеит 5-65, омфацил 15-99, хлормеланит 30-99, анальцит до 20, альбит до 7, натролит 2-3, кальцит 4-6	Гранобластовая с участками центрической, веерообразной; сноповая, нематобластовая. Линзовидно-полосчатая, лучисто-пятнистая, линзовидно-вкрапленная	Непрозрачный и полупрозрачный. T=29-58%	3.13-3.32	Ювелирно-поделочный
<i>Сочно-зеленые (яблочно-травяно-изумрудно-зеленые)</i>						
Ювелирный Борусс, Пусьерка, Итмурунды	Травяно-зеленый, густо-травяно- и сочно-зеленый, яблочно- и изумрудно-зеленый; скрытозернистый	Хлормеланит 45-77, омфацил 15-45, альбит 5-7, анальцит 3-5	Тонкогранобластовая, лейстовидная, фибробластовая. Однородная	Прозрачный. T=41-63%	3.11-3.40	Ювелирный
<i>Темно-тускло-зеленые, синевато-темно-зеленые</i>						
Сливной (мелковкрапленный) Борусс, Итмурунды	Темно-зеленый, тускло-зеленый и темно-серый; мелкозернистый	Омфацил до 95, хлормеланит до 99, жадеит до 30, альбит до 20, анальцит до 10	Нематобластовая, сноповидная с участками лейстовидной. Однородная с участками линзовидно-полосчатой	Непрозрачный и полупрозрачный. T=25-58%	3.13-3.24	Несортной, поделочный, редко - ювелирно-поделочный
Сетчатобрекчиевидный Итмурунды, Левый Кечпель	Тускло-темно-зеленый, серо-зеленый с участками серого; мелко-среднезернистый	Омфацил 65-97, жадеит до 60, хлормеланит до 10, альбит до 8, анальцит 2-3	Гранобластовая, сноповидная, сферидальная с участками метельчатолучистой. Катакластическая	Непрозрачный. T=29-42%	3.00-3.26	Поделочный

Примечание. ρ — плотность породы.

Таблица 3
Усредненные химические составы (мас.%) жадеитов России и Казахстана

Тип жадеита	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.
<i>Серые всех оттенков</i>														
Однородный	5	57,60	0,130	21,12	0,006	1,15	0,36	0,016	2,89	2,69	12,02	0,39	0,032	1,19
Облачный	4	58,06	0,085	22,42	0,028	0,65	0,39	0,028	1,65	1,97	12,73	0,32	0,006	1,28
Мраморовидный	13	57,90	0,144	21,83	0,009	1,03	0,55	0,022	2,22	2,47	12,11	0,25	0,012	1,09
Прожилково-пятнистый	9	58,29	0,118	22,11	0,008	1,06	0,66	0,021	2,14	2,62	11,74	0,34	0,007	0,66
Среднее	31	57,99	0,130	22,32	0,011	1,01	0,53	0,021	2,23	2,49	12,07	0,31	0,013	1,01
<i>Пестроокрашенные</i>														
Брекчиевидный	8	56,79	0,16	19,44	0,100	1,26	0,79	0,011	3,60	4,73	11,41	0,30	0,021	1,07
Однородно-пятнистый	1	57,55	0,19	20,37	0,038	1,37	1,12	0,040	2,44	3,20	12,58	0,06	0,004	0,43
Рябчиковый	4	56,18	0,14	17,04	0,105	1,63	0,83	0,050	5,19	6,77	9,89	0,22	0,002	1,06
Пейзажный	12	55,69	0,23	16,30	0,199	1,79	0,97	0,050	6,23	7,48	9,73	0,21	0,017	1,04
Среднее	25	56,19	0,19	17,59	0,145	1,56	0,89	0,030	5,07	6,31	10,40	0,23	0,015	1,03
<i>Сочно-зеленые (яблочно-, травяно-, изумрудно-зеленые)</i>														
Ювелирный	5	56,96	0,13	18,35	0,460	1,43	0,25	0,040	5,36	5,17	10,23	0,37	0,010	0,80
<i>Темно-тускло-зеленые, синевато-темно-зеленые</i>														
Сливной (мелковкрапленный)	6	55,21	0,29	12,94	0,090	1,81	1,48	0,070	7,21	10,76	8,69	0,23	0,015	0,84
Сетчато-брекчиевидный	6	55,48	0,15	12,39	0,098	1,91	1,51	0,070	7,79	11,65	7,57	0,11	0,010	0,93
Среднее	12	55,35	0,22	12,66	0,094	1,86	1,50	0,070	7,50	11,21	8,13	0,17	0,013	0,89

Примечание: n — количество анализов.

Монопироксеновые породы обычно характеризуются однородным строением и отсутствием четко выраженного рисунка. В полипироксеновых разновидностях, как правило, наблюдаются текстурные неоднородности, вплоть до образования звездчатых, пейзажных рисунчатых пород, что объясняется разноокрашенностью пироксенов, их различной морфологией и величиной выделений.

Помимо цвета, тона, текстурного рисунка, размеров однородных участков, декоративность жадеитов составляет и такое свойство как прозрачность или просвечиваемость. Наибольшей просвечиваемостью обладают монопироксеновые по составу и однородные по структуре тонко-скрытокристаллические жадеиты.

В основной своей массе тела жадеитов сложены серым всех оттенков и белым несортным сырьем. Сортовой камень составляет лишь первые проценты от общего объема тел и окрашен большей частью в зеленые цвета разной тональности и насыщенности, реже в голубовато-серый, бледно-лиловый, бирюзовый, желтый, оранжевый, бурый и прочие цвета. В понятие качество жадеита вкладываются следующие характеристики: цвет и тон, прозрачность или просвечиваемость, текстурный рисунок и размер однородных участков. В настоящее время не существует общепринятой системы оценки качества жадеита. На внешнем рынке выделяют три сорта жадеита:

империял — изумрудно-зеленая, просвечивающая до прозрачной скрытозернистая разновидность;

коммерциал — прожилки и пятна полупрозрачного изумрудно-зеленого, сочно-зеленого жадеита на фоне зеленого непрозрачного;

утилити — ярко-зеленая непрозрачная разновидность.

Этим сортам в СНГ с некоторой долей условности соответствует ювелирный, ювелирно-поделочный и поделочный жадеит (рис. 5—7, 6-я стр. вкладки). Как видно на рис. 6, ювелирный жадеит представлен темно-зелеными просвечивающими бусинками в бусах и браслете. Ювелирно-поделочным жадеитом сложены все зеленые непросвечивающие и пестроокрашенные изделия и образцы. К ювелирно-поделочным жадеитам отнесены и облагороженные зеленые образцы (верхний ряд, рис. 7). Несортные и условно-поделоч-

ные жадеиты представлены серыми бусами и полуфабрикатами нижнего ряда (см. рис. 7).

Цветовое разнообразие окраски и неоднородности строения затрудняют, а порой и делают невозможной визуальное определение сортности. Поэтому наряду с визуальными целесообразно внедрять в практику количественные параметры оценки камня. Для количественной оценки цвета и тона самоцвета рекомендуется использование параметров λ_c (длина волны преобладающего тона), P_c (насыщенность цвета), Y и Z (координаты цветности).

Комплексное изучение вещественного состава и декоративных свойств жадеитового камня разрабатываемых месторождений России и Казахстана выявило их принципиальную схожесть и позволило несмотря на некоторые типоморфные различия выстроить общий геммологический ряд разноокрашенных жадеитовых пород и объединить многообразие их разновидностей (примерно 40) в сопоставимые природные типы: однородный, облачный, мраморовидный, прожилково-пятнистый (слаборисунчатый), брекчиевидный, однородно-пятнистый, рябчиковый, пейзажный, ювелирный, сливной, сетчато-брекчиевидный (рис. 8, 3-я стр. вкладки). Краткая характеристика природных типов жадеитов и их химический состав отражены в табл. 2 и 3.

Выделенные типы отличаются друг от друга количественными и пространственными размещениями в телах жадеитов и на площадях месторождений, окрасками, особенностями структуры агрегатов, текстурными рисунками, минеральными и химическими составами. Основные геммологические характеристики природных типов жадеитов России и Казахстана также приведены в табл. 2. Проведенные исследования выявили особенности минерального состава и агрегатного строения выделенных природно-технологических типов жадеитов России и Казахстана (рис. 8, 3-я стр. вкладки). В свою очередь, выделенные типы жадеитовых пород естественным образом объединяются в группы жадеитов, близких по декоративным свойствам и содержаниям породообразующих пироксенов. Как видно из табл. 2, все многообразие жадеитов может быть представлено четырьмя группами: серые всех оттенков, пестроокрашенные, сочно-зеленые «ювелирные» и тус-

кло-зеленые. Минеральные составы этих групп характеризуются вполне определенным набором породообразующих пироксенов. В целом серые жадеититы преимущественно жадеитовые, сочно-зеленые сложены омфацитовыми хлор-меланитами, тускло- и темно-зеленые — омфацитами, а в пестроокрашенных породах представлены всевозможные сочетания пироксенов жадеитового ряда.

Это подтверждается и данными химических анализов природных типов жадеититов. Дополнительные геохимические особенности жадеитоносных регионов устанавливаются по результатам химико-спектральных анализов природных типов жадеититов. Минимальные суммарные содержания примесных элементов фиксируются в серых жадеититах всех месторождений, а максимальные — в пейзажных и сочно-зеленых породах, в которых особенно заметно возрастают содержания хрома и никеля. В целом характер распределения примесных элементов и их количества увязываются с минеральным и химическим составами жадеититов [5].

Исследованные образцы жадеититов Мьянмы (Бирмы) по геммологическим характеристикам вполне сопоставимы с выделенными природными типами жадеититов СНГ. Но при этом практически нацело сложенные жадеитом бирманские образцы в отличие от серых всех оттенков жадеититов России и Казахстана обладают широкой гаммой светлых окрасок. Это свидетельствует об иной природе окрашивания пород, связанной, скорее всего, с образованием кор выветривания. Для изученных бирманских образцов характерно большее развитие минералов кор выветривания (гиббсита, сепиолита, халцедона) и незначительная по сравнению с российскими и казахстанскими жадеититами цеолитизация. Относительно высокая просвечиваемость изученных бирманских образцов обусловлена их однородным тонко-микророзернистым, либо тонко-спутанно-волокнутистым строением. В жадеититах России и Казахстана такое строение пород встречается редко и только в очень мелких участках [5].

С целью выявления закономерностей пространственного распространения природно-технологических типов жадеититов на Промышленном участке месторождения Итмурунды [4], а также на промышленном рудном теле № 78 Бурского месторождения проведено детальное минералогическое картирование. В результате был установлен целый ряд особенностей в строении промышленной зоны и тела жадеитита. Так, фоновой разновидностью на месторождении Итмурунды является мраморовидный жадеитит, полностью слагающий мелкие тела и иногда — до 80–90 % объема крупных. Породами прожилково-пятнистого и сетчато-брекчиевидного типов в отдельных случаях сложено до 30–40 % поверхности крупных тел. В резко подчиненном количестве встречаются брекчиевидно-пятнистый (15–20 %), пейзажный (5–10 %), рябчиковый (3–5 %). Облачный, однородный и ювелирный образуют редкие мелкие выделения. На Бурском месторождении наиболее распространенной разновидностью является однородный средне-крупнозернистый жадеитит бледно-зеленовато-серого и грязно-зеленовато-серого цвета. Им сложено до 60–80 % объема крупных тел и до 90–100 % — мелких. Следующими по значимости являются мраморовидный и брекчиевидно-прожилковый типы, суммарно слагающие до 20–30 % объема тел № 78 и № 80. До 10–15 % поверхности тела № 78 занимает однородно-пятнистый жадеитит. В резко подчиненном количестве встречаются рябчиковый и пейзажный типы жадеитовых пород. Ювелирный жадеит образует мелкие вкрапления, корочки, тонкие прожилки в пейзажном, брекчиевидно-прожилковом, рябчиковом, реже — однородно-пятнистом жадеитите. Для каждого природного типа характерна своя морфология выделений. Так, для мраморовидного типичны линей-

ные зоны выделений, разности с сочно-зеленым пироксеном тяготеют к разломам и периферической части тел. Рябчиковый тип жадеитовой породы дает выделения неправильной формы и слагает мелкие будины. Брекчиевидно-прожилковый жадеитит концентрируется вдоль трещин и явно тяготеет к периферической части тел, образуя вместе с пейзажным типом подобие контактной оторочки. Кроме того, пейзажный совместно с мраморовидным типом слагает линейные зоны.

Понятие «технологический тип» применительно к цветным камням, помимо общепринятых характеристик камня: сортность, способы обработки самоцветов, возможность селективной добычи, способ обогащения, включает также возможность вовлечения его в технологический процесс облагораживания. Систематизация природного жадеитового сырья по возможности и способу его облагораживания позволяет выделить следующие технологические виды:

серые разных оттенков мелко-среднезернистые жадеититы (однородный, мраморовидный природные типы). Облагораживание производится путем прокрашивания в зеленый цвет;

зеленовато-серые и серовато-светло-зеленые жадеититы (слаборисунчатые, прожилково-пятнистый, однородно-пятнистый природные типы). Облагораживание — способом усиления зеленой окраски и контрастности текстурного рисунка;

густо темно-зеленые, синевато-темно-зеленые до черных, серо-темно-зеленые до черных жадеититы (мраморовидный, пейзажный природные типы). Облагораживание — путем ослабления окраски, иногда с последующим окрашиванием в зеленый цвет;

серые разных оттенков мономинеральные жадеитовые по составу породы. Облагораживание — способом двойного фазового превращения — получение просвечивающих спеклов, прокрашивание их в зеленый цвет.

При облагораживании жадеита возможно улучшение декоративных свойств и перевод низкосортного и несортного жадеитового сырья в ювелирно-поделочный жадеит высокого качества (см. рис. 7, 6-я стр. вкладки): заготовки из несортного жадеитита представлены в нижнем ряду (с месторождений: кубики — Бурсское, круглые кабошоны — Левый Кечпель, овальные справа — Пусьерка); в верхнем ряду показаны результаты их облагораживания.

Комплексные исследования жадеититов России и Казахстана, выделение природно-технологических типов пород позволили выявить некоторые возможности и способы улучшения декоративных свойств низкосортного и несортного сырья, что весьма актуально при небольших (до 8–12%) запасах сортового камня на изученных месторождениях.

Всестороннее изучение месторождений, включая разномасштабное картирование (крупномасштабное картирование жадеитоносных районов, минералогическое картирование жадеитовых тел промышленных участков месторождений), изучение состава всего комплекса как вмещающих, так и жадеитовых пород позволило выявить закономерности их формирования и разработать комплекс поисково-оценочных признаков на разных стадиях ведения геологоразведочных работ. Комплексное изучение вещественного состава и геммологических свойств жадеититов России и Казахстана позволило систематизировать все многообразие жадеитовых пород по геммолого-технологическим особенностям, определить возможности облагораживания несортного и низкосортного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аеров Г.Д., Свириденко А.Ф., Коваленко И.В. Жадеит. — М.: Недра, 1992.
2. Добрецов Н.Л., Пономарева Л.Г. О пироксенах эцлогитовой фации жадеитовых пород и глаукофановых сланцев / Материалы

по генетической и экспериментальной минералогии. — Т. 2. — Вып. 30. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. — С. 56–96.
3. Кивленко Е.Я. Геология самоцветов. — М.: ТО «Земля», Экост, 2001.

4. Коваленко И.В., Костелова Т.Г., Артемьева И.А. Геологическая характеристика месторождений ювелирно-поделочного жадеита Прибалхашья и Полярного Урала / Синтез минералов и методы их исследований. Геология месторождений пьезооптического и камнесамоцветного сырья. — Т. XV / Тр. ВНИИСИМС. — Александров, 1998.

5. Коваленко И.В., Коваленко В.С. Минеральный состав и геммология жадеитов / Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение. — Т. 2. / Тр. V Международ. конф. — Александров: ВНИИСИМС, 2001.

6. Кузнецов Е.В., Кузнецова Н.А., Цюцкий С.С. Особенности жадеитовой минерализации месторождения Пусьерка (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1986. — № 8. — С. 22–28.

© Коллектив авторов, 2004

А.А. Марьин, Г.И. Крылова, С.Н. Ивичева, И.Б. Махина, Е.М. Кожбахтеев, А.А. Реу, О.В. Репина

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННОГО КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ

Задача облагораживания — это улучшение декоративности или потребительского качества природного сырья, которое в исходном состоянии далеко не всегда отвечает требованиям ювелирной промышленности. На мировом и внутреннем рынке в настоящее время, как насущная неизбежность, используется значительное количество облагороженных или модифицированных цветных камней [1, 3, 4, 9, 11–13 и др.]. При этом расширяется как их объем, так и видовой ассортимент. Столь явные успехи обусловлены широким применением ряда современных научно-технических достижений, позволяющих проводить целенаправленное изменение свойств разных минералов, а также системным подходом к изучению их типоморфных свойств в зависимости от генезиса и даже от географического положения [4, 9, 10, 12]. Вовлечение в оборот несортовых отходов сырья, безусловно, существенно может повышать рентабельность геологоразведочных работ, поэтому научно-исследовательские работы (НИР) по облагораживанию камнесамоцветного сырья в перспективе предполагают получение существенных экономических дивидендов.

Облагораживание камня подразумевает как улучшение колориметрических параметров, так и таких свойств, как прозрачность, прочность, полируемость и др. с минимумом признаков обработки. Особенно результативными являются такие методы воздействия, когда изменения происходят без добавления дополнительных компонентов: путем разных видов отжига или облучения. Однако широко распространены и методы внедрения в структуру минералов определенных ионов-хромофоров методом термодиффузии, а также прокрашивания с последующим закреплением эффектов без нарушения морфологических достоинств каменного материала. Подбор разновидностей сырья, нуждающегося в коррекции его свойств, выявление технологических приемов и режимов обработки для достижения устойчивых результатов облагораживания должны осуществляться на основе всестороннего минералого-геохимического изучения и определения геммологических критериев качества.

Только превентивные исследования по изучению опорных типоморфных характеристик позволяют быстрее разработать специальные методы облагораживания и технологические схемы для каждой конкретной разновидности сырья.

В России имеется много собственных сырьевых запасов потенциально ювелирных и ювелирно-поделочных камней [2, 6], да и ввозимая из-за рубежа продукция в значительной мере нуждается в улучшении ювелирного качества. Все это стимулирует развитие работ по модифицированию свойств широкого круга минералов. ВНИИСИМС имеет свою многолетнюю практику по многим направлениям облагораживания самоцветов. Достаточно результативными следует признать работы по агатам и халцедонам, благородному опалу и бирюзе, жадеиту, родониту, чароитам, кристаллам кварца и кварцевым друзам. Определенные успехи были достигнуты в облагораживании ограночных камней — корундов, бериллов, топазов и др.

Все методы и режимы обработки природных самоцветов базируются на данных о природе окраски и дефектности исходного материала. На примере корундов, кварцевых друз и чароита в данной статье иллюстрируются разнообразие задач и приемов облагораживания, призванных переводить некондиционное сырье в сортовое с положительным экономическим эффектом.

Корунды.

Ювелирные разновидности корундов — рубин и сапфир, в том числе облагороженные, имеют широкий спрос, высокие цены и очевидную непреходящую популярность в будущем. За рубежом облагораживанием разных типов корундов занимаются уже не менее 60–70 лет. Доказана высокая перспективность соответствующих исследований, так как они дают высокий экономический эффект, особенно по сапфирам [1, 11, 12 и др.]. В настоящее время во многих странах идет поиск и отработка наиболее рациональных способов облагораживания или модифицирования природных корундов. Особенно продвинутыми в деле облагораживания корундов являются страны Юго-Восточной Азии и США. В связи со сложившимися реалиями на рынке камней доля исходно высококачественного природного материала сокращается год от года. Она компенсируется сырьем, модифицированным в результате применения высокотемпературной обработки, так что в объеме поставок, например, из Юго-Восточной Азии, его оказывается иногда порядка 95%.

Россия обладает определенными запасами корундового сырья [1, 2, 6 и др.], большая часть которого также требует облагораживания. Но при этом необходимо понимать, что проблема не может быть решена путем приобретения готовых патентов или методик по облагораживанию. Разнообразие типоморфных особенностей сырья предусматривает сугубо специфические подходы к их модифицированию. Они определяются генетическим типом минералов-самоцветов, их минералого-геохимическими и первичными геммологическими особенностями. Необходимым условием являются также данные о наличии значительных запасов, так как последнее будет решающим фактором прикладной значимости НИР в аспекте их экономической целесообразности.

У корундов выделяется до 200 цветовых оттенков, охватывающих весь спектр цветовой гаммы. Это обусловлено сложными вариациями примесных компонентов и дефектности, определяющих окраску. Главной целью облагораживания является достижение чистых насыщенных тонов рубинового (малиново- или розово-красных), сапфирового (сине-васильковых), реже оранжевых оттенков (типа парпаджа), а также достижение максимальной прозрачности у ограночного сырья, а по непрозрачным разновидностям, используемым как кабошонный материал, — усиление яркости цветов или создание эффектов астеризма.

Общая методика НИР по облагораживанию корундов обосновывалась с учетом разнообразия характеристик каче-

ства у природных разновидностей. В России есть корунды магматического, метаморфогенного и гидротермально-метасоматического генезиса, находящиеся как в коренном залегании, так и в виде корундоносных россыпей [2, 6, 7]. Различия условий образования корундов обуславливают большие вариации типоморфных свойств и окрасок. Вопросы природы окрасок в общих чертах изучены достаточно основательно [3, 6, 11–13 и др.]. Можно констатировать, что главную роль играют такие элементы хромофоры, как Ti, Fe, Cr, V, Mn, Co, Ni, присутствующие в сочетании их разных количеств, валентности и позиций в структуре корундов. Определенную группу представляет сырье с большим количеством кислородных вакансий. Связь с генезисом отражается тем, что в корундах, формировавшихся в относительно более восстановительных условиях структурные дефекты бывают за счет ионизированных примесных центров и электронов проводимости. Напротив, у разновидностей, кристаллизовавшихся в окислительных средах, широко развиты катионные вакансии и электронные дырки. Поэтому цветовую гамму определяют не только валовое содержание и валентности элементов-примесей (ЭП), но и системы энергетических уровней. При экспериментах по модифицированию природных корундов наблюдаются: а) переходы ЭП в новое валентные состояния; б) изменение позиций ЭП в кристаллической решетке или создание спаренных групп ионов, таких как $Fe^{2+} - Fe^{3+}$, $Fe^{2+} - Ti^{4+}$ и др.; в) растворение инородных фаз и распределение их компонентов в структуре корундов, но для эффекта астеризма, напротив, создание фаз и кристаллизация их по оптическим осям кристаллов. Таким образом, варьируя температурными, атмосферными условиями и продолжительностью экспериментов осуществляются глубокие физико-химические изменения свойств и создаются новые ювелирные характеристики качества.

Опыт наших НИР показал, что успешность экспериментов по модифицированию корундов нельзя гарантировать без изучения функциональных зависимостей между параметрами качества сырья. Они изучались на образцах из порядка 50 объектов СНГ, по коллекциям музеев, на привозимом зарубежном сырье и по литературным источникам. Природные корундоносные образования были расклассифицированы на 7 типов (19 подтипов). Из них как наиболее перспективными для облагораживания выделено 3 подтипа. Это сапфиры из щелочных базальтоидов (базанитов) и щелочных лампрофиров, а также рубины, связанные с телами слюдитов и плагиоклазитов в мраморах. Еще 6 подтипов выделены как потенциально перспективные, включая ассортимент сырья россыпей, доступных к отработке. Прочие 10 подтипов содержат так называемые технические или «серые» типы корундов, практически не подлежащие облагораживанию, т.е. по сути, они лишь коллекционное сырье.

На основании работ с сырьем из двадцати корундоносных объектов был разработан рабочий вариант геммолого-технологической классификации для ведущих типов корундов с рекомендациями на наиболее оптимальные способы облагораживания с определенными условиями отжига, термодиффузии или способов комбинированного воздействия.

Выделены три группы среди рубинов (Р6-I-III) и четыре — по сапфирам (С-I-IV), а также рассмотрены возможности улучшения качества у широко встречающихся непрозрачных, технических (Т) или «серых» корундов. Типизация проведена с учетом содержания элементов-хромофоров. На основе литературных и собственных данных сделан ряд заключений следующего характера.

Группа ярко окрашенных рубинов — Р6-I имеет содержания Cr > 0,1–1,5 % и до 0,2 % V. При облагораживании

необходимо достижение прозрачности, удаление буро-коричневых, фиолетовых и др. надцветов, иногда — осветления. Рекомендуются отжиги в разных атмосферах с вариациями ТР-условий экспериментов. Для бледно-окрашенных рубинов группы Р6-II (Cr = 0,02–0,1 %, Fe ≤ 0,2 %) — кроме отжигов необходима термодиффузия, в редких случаях с дополнительным γ -облучением. Группа Р6-III, по сути переходная между Р6 и С, с непрозрачным сырьем содержит много Fe, нередко с инородными минеральными фазами. Она рекомендована на специальные режимы отжига и диффузии для создания астерисков, а улучшать окраски можно механо-химической обработкой путем введения особых красителей.

Группы сапфирового сырья — С-I, II, III, IV выделены на основе соотношений в нем Ti, Fe и кислородных вакансий. Методы их модифицирования различаются по многим параметрам [7, 8], результаты нередко оказываются весьма успешными, особенно с достижением чистых синих цветов.

Из группы технических (Т) корундов ограночного сырья не получено. Но в случае отсутствия у соответствующих разновидностей двойникового строения целесообразно применение термодиффузии с титаном для получения астеризма и использования таких образцов для кабошонирования.

Научно-исследовательские работы, проведенные во ВНИИСИМСе на уральском сырье, показали весьма оптимистические результаты по улучшению в 20–50 раз выхода кондиционных сортов [7, 8]. Однако отсутствие финансирования не позволило довести работы до методического завершения. Отставание задельных работ будет иметь следствием то, что ресурсы потенциально ювелирного качества российских корундов могут оказаться невостребованными. Тем самым снижается оборот рынка цветных камней и рентабельность геологоразведочных и добычных работ.

Кварцевые и аметистовые друзы и шетки.

Значимость методов облагораживания природных кварцевых и аметистовых друз и шеток связана со спросом на них среди коллекционеров и с развитием современных дизайнерских проектов [4].

В процессе отработки хрусталеносных гнезд (погребов) и минерализованных трещин периодически добываются разнообразные друзовые сростки из кристаллов кварца. Большинство из них теряет товарную ценность в процессе добычи из-за всевозможных механических повреждений. Кроме того, бывают экземпляры и с исходно недостаточной декоративностью. Такое сырье беспощадно идет в отвалы и не учитывается, но именно оно может стать основным объектом облагораживания.

При отработке методов облагораживания природных кварцевых и аметистовых друз использовался материал с месторождений Астафьевское (Южный Урал), Желанное и Додо (Полярный Урал), Кедон и Мыс Корабль (Кольский п-ов), а также гранулированный кварц Кыштымского месторождения. Последний — в качестве подложек для доращивания друз. Несортовые с аметистовым оттенком друзы представляли собой очень слабо окрашенные сростки короткостолбчатых кристаллов.

Для устранения механических дефектов у друз и шеток были использованы методики гидротермального выращивания кристаллов кварца и аметиста. Эксперименты проводились как в содовых, так и во фторидных растворах, а также при их комбинациях. Доращивание кварцевых друз и шеток с обколотыми головками бесцветным кварцем было достигнуто в заводских затравочных циклах. Предварительно было лишь необходимо спиливание обколотых частей кристаллов из этих друз по пинакоиду. С целью повышения декоративности образцов было применено композиционное совме-

ние пластин и обломков гранулированного кварца, фрагментов друз неинтересных форм и природных кристаллов с различными способами крепления.

Получение аметистовых друз из поврежденного природного материала было осуществлено в две стадии: 1 — регенерации поврежденных головок в железосодержащих фторидных растворах затравочных циклов и 2 — дорастивания полученных в 1 стадию друз уже в калиевых железосодержащих растворах.

Эксперименты проводились в 350-литровом автоклаве с использованием стального плавающего вкладыша, футерованного медью. Короткостолбчатые кристаллы кварца плотно укладывались головками вверх в специально изготовленную медную тарелку таким образом, чтобы они соприкасались гранями гексагональной призмы. Термобарические параметры опытов в растворе фторида аммония: $T_n = 300\text{--}330\text{ }^\circ\text{C}$, $P \sim 200\text{ кг/см}^2$. Вводилась добавка железа в виде гематита в среднюю часть корзины с шихтой. Продолжительность одного из опытов составляла до 50 суток. В результате проведенного эксперимента были получены кристаллы и друзы, близкие по размерам и формам к исходным, но после гамма-облучения (1×10^6 рад) они окрашивались в интенсивный аметистовый цвет в основном за счет тонкого нароста на гранях основных ромбоэдров весьма плотно окрашенного аметиста. Подобными же методиками можно устранять дефекты и у отдельных экземпляров монокристаллов кварца, а также осуществлять вариации с их цветовой гаммой (цитриновой, празеолитовой, перунитовой и др.).

Другим направлением облагораживания является выращивание кварцевых и аметистовых щеток на подложках из гранулированного кварца. Запасы гранулированного кварца в России несравнимо большие, чем запасы кварцевых и аметистовых друз и щеток, что предопределяет существенный экономический эффект при их использовании. Наши эксперименты выполнялись на образцах кварца с месторождения «Хрустальная». Они оказались особенно удобны тем, что в них хорошо проявлены кварцевые зерна при различных размерах и неориентированном (хаотическом) расположении их в обломках породы. Дорастивание подложки произвольной формы из гранулированного кварца осуществлялось в обычных затравочных и аметистовых циклах. В итоге это позволило получить оригинальные, разнообразные по форме и размерам бесцветные и аметистовые агрегаты. Все щетки при дорастивании их в автоклавах приобретают весьма декоративный вид аметистовых или белых «ежиков» (1-я стр. обложки). Они могут быть использованы как сувениры или в качестве коллекционного материала.

Щетки и друзы из кристаллов кварца имеются на многих объектах хрусталоносных, пьезокварцевых и с жильным кварцем. Крайне не рационально, что до сих пор совершенно не учитывались возможности улучшения свойств коллекционного и ювелирно-поделочного сырья за счет технологий облагораживания. Эксперименты на друзах доказывают возможность повышения рентабельности геологоразведочных работ путем вовлечения в стабильный бизнес отходов ряда кварцедобывающих предприятий. При этом особый интерес связан с крупными друзами горного хрусталя, поскольку из них можно получать уникальные композиции для интерьеров и музейных экспозиций, имеющих повышенный спрос в настоящее время.

Чароит.

С момента открытия чароита и начала промышленного освоения месторождения «Сиреневый камень» этот редчайший минерал в течение многих лет использовался как рядовое поделочное сырье. Однако в настоящее время неповторимая красота и уникальность чароита получили достойную

оценку, так как «сиреневый камень» не имеет аналогов. Сортовые запасы чароитового сырья на месторождении, по данным на 1998 г. [2], составляют только порядка 30 % чароита-сырца, где большая часть относится лишь к поделочным разностям II сорта. Согласно действующей сертификации определяющими свойствами являются цветовые и технологические характеристики камня. Поэтому улучшение колориметрических и прочностных характеристик некондиционного материала явилось первостепенной задачей.

На основе изучения геммологических и технологических свойств чароитов, их морфологической классификации были выявлены некондиционные, подлежащие облагораживанию разности [5]. Эксперименты проводились по улучшению декоративных свойств путем обработки красящими и укрепляющими веществами. Использовались разные методы улучшения цветовых показателей камня, один из которых — окрашивание химическими реагентами, которое зависит от сорбционных свойств камня, его пористости и трещиноватости. При этом роль выбранного красящего вещества сводилась не только к простому пропитыванию, но и к осуществлению химических реакций во внутрипоровом пространстве камня. Изучалась возможность использования неорганических хромофоров и синтетических красящих веществ, среди которых были выделены оптимальные, с применением которых удалось получить наилучшие результаты (6-я стр. вкладки). Окраска оказалась близка к лучшим природным разностям. Разработанная методика окрашивания позволила добиться ее устойчивости, что подтверждено испытаниями на коррозионную стойкость. Глубина прокрашивания была от первых мм — для массивных разностей, до проникновения окраски по всей толщине — до 5 см и более для волокнистых и плейчатых образцов.

Низкими технологическими показателями согласно минералогическому-генетическому изучению чароитита чаще всего наделены плейчатые, крупноволокнистые и розетковидные разности. Помимо повышенной эффективной пористости такие чароититы имеют и низкие значения микротвердости даже в мономинеральных участках и предела прочности при разрушении. Методы упрочнения основывались на использовании высоко- и низкоконцентрированных дисперсных систем, неорганических клеев в виде жидких стекол и золь кремневой кислоты, для которых характерны процессы отвердевания при одновременном проявлении адгезионных свойств. Для более эффективного подбора цементирующих веществ учитывались исходные структурные параметры породы, особенности минерального состава и ее открытая пористость. В качестве укрепляющих растворов для чароитита использовались два типа неорганического клея: растворимые «жидкие» стекла и золи кремневой кислоты, полученные гидролизом тетраэтоксисилана. Схема упрочнения пористых образцов заключалась в последовательной, иногда — неоднократной обработке камня кремнеорганической пропиткой с последующей термообработкой, а также возможным применением модификаторов и отвердителей [5]. Полученные данные позволили заключить, что применение калиевых жидких стекол и золь кремневой кислоты с использованием модификаторов и отвердителей позволяет улучшить технологические качества некондиционного чароитита. Последнее подтверждается увеличением микротвердости чароита, предела прочности обработанных образцов и снижением эффективной пористости.

Разработанные (на примере 200 опытов) методики облагораживания были опробованы на представительных некондиционных разностях ряда участков месторождения. В результате было установлено, что применение методики изменения цветности дает улучшение цветовых показателей у

95 % несортного камня, а предложенные способы упрочнения, по результатам более 100 опытов, повышают технологические свойства в 50 % случаев.

Исходя из положительных результатов облагораживания определенных видов чароитов, можно подойти к дифференцированному уточнению их ресурсов и более рентабельному их использованию.

Приведенная краткая информация по итогам применения разных методов облагораживания природного сырья ювелирного, ювелирно-поделочного и декоративно-коллекционного назначения имела целью дать представление о возможностях процессов модифицирования на некондиционном каменном материале. Заметим, что по принятым соглашениям между геммологами действует правило: если стандартными геммологическими приемами и методами облагороженные драгоценные камни неотличимы от природных, то цены их на камнесамоцветных рынках приравниваются к природным. Наличие же признаков облагораживания снижает стоимость на 20–25 %. В связи с этим становится очевидной высокая экономическая отдача от облагораживания прежде всего ювелирного сырья, в частности, таких дорогостоящих камней как корунды, бериллы, демантоиды и др. Но и менее дорогие ювелирные (хризолиты, хромдиопсиды и др.) и поделочные камни часто за счет больших объемов использования могут принести немалые дивиденды. Однако следует понимать, что для уверенного управления процессами модифицирования разнообразных природных образований нужны как теоретические разработки, так и широкие экспериментальные исследования. Стоимость их немалая, так как использование установок высокотемпературного или высокобарического оборудования, автоклавов для доращивания крупных друз оказывается материально- и энергозатратным. Но все же опыт зарубежных стран, ряда российских НИИ [10–13 и др.], да и наш собственный по успешному облагораживанию некондиционного камнесамоцветного сырья показывает рентабельность соответствующих производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов В.В. Цветные камни / Геммологический словарь. — СПб., 2001.
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ / Цветные камни. — М., 1998.
3. Дубровинская Е.Р., Литвинов Л.А., Пищик В.В. Монокристаллы корунда. — Киев: Наукова Думка, 1994.
4. Ивичева С.Н., Крылова Г.И., Марьин А.А. Развитие облагораживания камнесамоцветного сырья — путь комплексного подхода к использованию природных ресурсов / Минералогия, геммология, искусство / Тез. докл. — СПб., 2003. — С. 29–30.
5. Ивичева С.Н., Яхонтова Л.К., Соболева Т.В. Минералогические предпосылки и методы облагораживания чароита / Синтез минералов и методы их исследования / Тр. ВНИИСИМС. — Т. XV. — Александров, 1998. — С. 206–217.
6. Киевленко Е.Я. Условия образования, закономерности размещения и геолого-промышленная классификация месторождений камнесамоцветного сырья / ТОО «ГеоСам», кн. 1–3. — М., 1999.
7. Крылова Г.И. Классификация природных корундов в связи с особенностями технологий их облагораживания / Тез. докл. II междунар. конф. «Реальная структура и свойства ацентричных кристаллов». — Александров, 1995. — С. 89–90.
8. Крылова Г.И., Репина О.В., Мунчаев А.И. Возможности изменения свойств природных корундов / Матер. НКРК / Тез. докл. — М.: ИК РАН, 2000. — С. 436.
9. Путолова Л.С. Самоцветы и цветные камни. — М.: Недра, 1991.
10. Chikagata A. Japanese syntenic stones by various methods: [Vortr.] Z/ Dtsch. gemmol. Ges. — 1992. — 41. — № 4. — P. 145–146.
11. Hag I.G. Corundum. — London, 1994.
12. Nassau K. Heat treating Ruby and Sapphire: technical aspects // Gems & Gemology. — 1981. — 17. — № 3. — P. 121–131.
13. Suwa Y. The beauty grade of gemstones: [Vortr.] Z/ Dtsch. gemmol. Ges. — 1992. — 41. — № 4. — P. 188–190.

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ РОССИИ

Среди полезных ископаемых цветные камни (ювелирные и ювелирно-поделочные) занимают особое место как незаменимое минеральное сырье для производства ювелирных и художественных изделий. На протяжении всей истории развития человечества самоцветы (лаконичное и тождественное название цветных камней, уже давно полюбившееся россиянам) были тесно связаны с судьбами людей легендами и мифами, культовыми обрядами, научными открытиями и войнами. Они всегда олицетворяли власть, богатство, коварство, любовь, добро и зло. Многие изделия с камнями-самоцветами являются бесценными художественными произведениями, а порой — национальной гордостью или исторической реликвией. Большая потребность в цветных камнях и их высокая стоимость, особенно ювелирных, обусловили то, что они являются в настоящее время важным объектом международной торговли, а для некоторых стран экспорт цветными камнями стал главным источником валютных поступлений.

Цены на самоцветы всегда испытывали тенденцию к росту — только за последние 20 лет произошло общее увеличение стоимости по разным камням от 2–3 до 10–20 раз. Уникальность некоторых камней, определяемая их красотой (декоративностью), редкостью и исторической значимостью, предопределяет их весьма высокую, а порой даже баснословную стоимость. Об уровне цен на ограненные ювелирные камни высшего качества можно судить по торгам на крупнейшей международной минералогической ярмарке в Туссоне (США, 1999): александрит, жадеит-«империал», изумруд, рубин и сапфир (синий) — от 10 000 до 50 000 дол./кар.; аквамарин, демантоид, опал благородный, топаз-«империал», турмалин, шпинель — от 500 до 6000. Все эти камни в последние годы пользовались на мировом рынке устойчивым спросом, и торговля именно ими является в настоящее время наиболее прибыльной и предпочтительной, а значит и развитие МСБ этих минералов, при наличии потенциальных возможностей недр, должно быть в нашей стране приоритетным.

Любовь к самоцветам, коллекционирование минеральных уникалов, камнерезное, гранильное и ювелирное дело издавна процветали в России. Правда, в изготовленных до XVII в. ювелирных изделиях использовались, главным образом, камни, привезенные из Византии и стран Востока. Только в середине XVII в. началась добыча русского цветного камня. В 1635 г. на Урале был обнаружен малахит, позднее, около Мурзинки (1668) — аметисты, а по рекам Восточной Сибири — месторождения агатов, сердоликов, халцедонов и яшм.

Петр I уделял большое внимание развитию горного дела, в т.ч. поискам и добыче драгоценных камней. При нем были открыты месторождения горного хрусталя, раухтопаза, аметистов и бериллов. В 1700 г. издается Указ об утверждении в России Приказа рудокопных дел, положивший начало становлению государственной горно-геологической службы страны. Им же в 1714 г. была основана Кунсткамера, из которой впоследствии выделился минеральный кабинет Академии наук, преобразованный позднее в Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, и располагающий одной из крупнейших в мире коллекцией минералов.

С 1831 по 1839 г. на Урале были выявлены почти все ныне известные месторождения изумрудов и александрита. А пе-

риод с 1810 по 1860 г. был очень удачным на открытия месторождений топазов, демантоидов, цирконов, турмалинов, рубинов, сапфиров, хризолитов, алмазов, родонита, лазурита и других камней, что послужило надежной базой для создания камнеобрабатывающего и ювелирного дела в России, высокий уровень развития которых быстро получил всемирное признание.

С 1965 г. на Мингео СССР, а затем на его правопреемников — Росгеолком и МПР России были возложены функции геологии и разведки цветных камней (за исключением алмазов и янтаря) и коллекционного материала с организацией добычных работ, созданием камнеобрабатывающих предприятий и реализацией сырья и готовых изделий. В течение последующих 30 лет была создана сильная школа геологов-камнесамоцветчиков, усилиями которых значительно расширены промышленные перспективы Урала, а также открыты новые месторождения — благородного опала в Приморье, жадеита в Западном Саяне и на Полярном Урале, нефрита в Восточном Саяне и Прибайкалье, турмалина в Забайкалье, хромдиопсида и чароита в Респ. Саха.

С началом «перестройки» в стране финансирование геологоразведочных работ на цветные камни из средств федерального бюджета начало резко сокращаться, а с 2002 г. оно было полностью прекращено. И только на Полярном Урале, причем за счет средств Ямало-Ненецкого А.О. и инвесторов, продолжаются работы на демантоид, жадеит и корунд.

Государственным балансом запасов РФ на 1 января 2003 г. учитываются 92 месторождения цветных камней по 23 видам, в т.ч. по 9 видам ювелирных камней (аметист, берилл, благородные корунд и опал, демантоид, турмалин, хризолит и хромдиопсид) — 18 месторождений и по 10 ювелирно-поделочным камням — 52 месторождения. В 2001 г. производилась добыча жадеита (234,8 т), нефрита (471,4 т), турмалина (73,8 кг), хромдиопсида (1038,6 кг), чароита (98,8 т) и янтаря (297,3 т). Необходимо отметить, что до 1995 г. эпизодически добывались также амазонит, аквамарин, изумруд, лазурит, родонит и хризолит. В настоящее время на балансе организаций МПР России числится 7 месторождений (изумруд, лазурит, нефрит(2), сердолик, хризолит и чароит), из которых добывается только чароит.

Далее рассмотрим состояние МСБ важнейших для России в экономическом отношении видов камнесамоцветного сырья (по состоянию на 01.01.2003), а также возможные пути ее расширения и развития.

Изумруд. Все месторождения с разведанными запасами изумруда сосредоточены в пределах Малышевского изумрудноносного района в Свердловской обл.: Малышевское (самое крупное, около 90 % запасов страны), им. Крупской, Свердловское, Первомайское, Черемшанское и Шаг. Из них первые четыре в разные периоды времени эксплуатировались, богатые гнезда выбраны, а оставшиеся запасы нерентабельны для возобновления добычных работ. Все прогнозные ресурсы, а значит и дальнейшие перспективы по приросту запасов изумруда связаны только с Уральской изумрудноносной провинцией. Но, несмотря на потенциальные возможности Урала в отношении этого «валютного» камня, в 2002 г. МПР России приняло решение о досрочном прекращении поисково-оценочных работ на Красноболотном проявлении изумруда и александрита. А годом раньше на Глинском проявлении изумруда, весьма перспективном на выявление промышленных скоплений александрита, все работы также были досрочно завершены. К этому следует добавить, что по причине хозяйственно-правовой неразберихи и тяжелойшей финансовой проблемы у ЗАО «Зелен-Камень» на Малышевском месторождении практически нет шансов на возобновление добычи изумруда, александрита и берилла.

Корунд благородный. Оцененные запасы (кат. C_2) рубина и сапфира для огранки сосредоточены в Свердловской обл. на трех находящихся в резерве месторождениях: Вербаный Лог (5310 и 15 930 кар. соответственно), Положиха (2150 и 43 350) и Корнилов Лог (1420 и 2720). В общей массе сырья преобладает I сорт. Все объекты по масштабам запасов относятся к мелким. Перспективы наращивания сырьевой базы рубина связаны в основном с Кучинским участком в Челябинской обл. (P_1 — 384 тыс. кар.), а сапфира — с участком Незаметный в Приморском крае (P_1+P_2 — 20 400 тыс. кар.), где он эпизодически добывается старателями попутно с промывкой золота. Рубиновая минерализация гипербазитового массива Рай-Из на Полярном Урале имеет очень ограниченные возможности для использования в огранке, но представляет собой великолепный коллекционный материал.

Демантоид. Промышленные скопления этого минерала находятся на Урале (месторождения Полдневское и Бобровское в Свердловской обл.) и Камчатке (Чечатваямское). Оцененные запасы сортового сырья по ним составляют 194, 54,4 и 262 кг соответственно. Прогнозные ресурсы также находятся в Свердловской обл. — в районе уже известных месторождений (477 кг) и в пределах Чечатваямского месторождения (100 кг). Последнее труднодоступно для освоения, поэтому предпочтение отдается Уральской провинции. Полдневское месторождение уже подготавливается к освоению. Имеются проявления ювелирных демантоидов в пределах массивов Сьум-Кеу и Рай-Из на Приполярном Урале. Уральский демантоид считается лучшим в мире.

Берилл (аквамарин). Все балансовые запасы берилла сконцентрированы на двух месторождениях — разрабатываемом Шерловогорском в Читинской обл. и находящемся в резерве Супруновском в Иркутской обл. с запасами сортового кристаллосырья соответственно 282,6 и 23,4 кг при выходе сортового берилла из сырья 12,4 и 1,1 %. Около 90 % прогнозных ресурсов сортового берилла сосредоточено в Читинской обл. в районе Шерловогорского месторождения (8870 кг) и Соктуйского проявления (4725 кг). По имеющейся информации большие перспективы имеет широко известное Тигирецкое месторождение, расположенное в Алтайском крае.

Янтарь. В Калининградской обл. сосредоточено 166 тыс. т (около 95 % мировых запасов) янтаря. Добыча сырья в последние годы составляет 300–500 т при проектной производительности ГУП «Калининградский янтарный комбинат» 1685 т. В связи с высокой обеспеченностью предприятия разведанными запасами проведение геологоразведочных работ на янтарь нецелесообразно.

Турмалин. Все балансовые запасы турмалина сосредоточены на Малханском месторождении в Читинской обл. и составляют 9749 кг турмалина-сырца, в т.ч. 5678 сортового. Все прогнозные ресурсы также связаны с Малханским пегматитовым полем (около 9,6 т). АО «Турмалхан» ежегодно добывает от 70 до 150 кг сырья, что ниже его проектных показателей в 2–3 раза.

Аметист. Сырьевая база аметиста характеризуется наличием пяти разведанных месторождений: Хасаварка (Респ. Коми), Ватиха (Свердловская обл.), Капаевское (Иркутская обл.), Обман (Респ. Саха) и Кедон (Магаданская обл.). Балансовые запасы кат. C_1+C_2 составляют 46 377 кг кристаллосырья для огранки. Уральские объекты являются наиболее крупными и имеют лучшие показатели содержания сортового сырья (Ватиха — 13,4, Хасаварка — 5,9 %). Аметист месторождения Ватиха является наиболее конкурентоспособным в силу своего оригинального красно-фиолетового цвета, за что он и пользуется в мире большой популярностью. Почти все прогнозные ресурсы аметиста также связаны с Уралом.

Хромдиопсид. Единственное в России и мире Инаглинское месторождение хромдиопсида находится на юге Респ. Саха. Разведанные запасы кристаллосырья составляют 26 787 кг, выход ограночного сырья — 2,7 %, в т.ч. I сорта — 0,27 %. Прогнозные ресурсы сортового хромдиопсида невелики — всего 3313 кг по кат. Р₁ и приурочены в основном к месторождению Инагли (2437 кг) и проявлению Чад в Хабаровском крае (876 кг). Учитывая ограниченные запасы и хрупкость минерала, новые хозяева месторождения (ОАО «Инагли») осуществляют добычу камня с применением шадящих методов в умеренных количествах от 1100 до 1400 кг в год.

Хризолит. В России известно два месторождения хризолита — разрабатываемое Токское в Амурской обл. и резервное Кугдинское в Красноярском крае с запасами сырья соответственно 4479 и 23054 кг. Выход сортового сырья по ним составляет 4,5 и 0,8 %. Прогнозные ресурсы хризолита незначительны и связаны в основном с его проявлениями в Красноярском крае (2546 кг), Респ. Саха (600) и Приморском крае (1571). С учетом последних открытий хризолита в Пакистане и Китае проведение геологоразведочных работ на этот минерал становится нецелесообразным.

Чароит. Уникальное, единственное в мире месторождение чароита — Сиреневый камень расположено на границе Иркутской обл. и Респ. Саха. Суммарные запасы чароита-сырца составляют 161 146 т. Средний выход сортового чароита из сырца по отдельным участкам месторождения варьирует от 30 до 42 %. Добыча с 1997 г. осуществляется только в Респ. Саха (ГПП «Востоккварцсамоцветы») и колеблется от 15 до 99 т сырья в год. Считается, что перспективы открытия новых месторождений чароита в стране практически отсутствуют, а возможности прироста запасов на месторождении Сиреневый камень связаны только с оценкой его на глубину.

Жадеит. Известны два месторождения с ювелирным жадеитом — Бурсуское, расположенное на границе Красноярского края (участок Кашкарак) и Респ. Хакасия (участок Сохатиный), и Пусьерка в Тюменской области. Запасы жадеита-сырца и ювелирного по ним соответственно составляют (т/кг): 25 057/0, 31 194/337 и 675/0,3. С 1998 г. добыча жадеита осуществляется только на участке Сохатиный и составляет 233–313 т в год. Прогнозные ресурсы сортового жадеита равны 2719 кг и сосредоточены в основном на Урале, в Красноярском крае и Респ. Хакасия.

Анализ состояния МСБ цветных камней показывает, что Россия обладает значительной, но пока еще недостаточно изученной и слабо освоенной базой разведанных запасов камнесамоцветного сырья и, тем не менее, несмотря на утраченные за последнее десятилетие позиции, могла бы составить достойную конкуренцию лидерам мирового рынка. Для осуществления этой стратегической задачи необходимо:

сформировать экономически эффективную налоговую и инвестиционную политику, что позволит снизить уровень экономического риска предпринимателей и инвесторов, а также обеспечит необходимый уровень защиты государственных интересов в отрасли (при нынешней законодательной базе работать легально невозможно);

усовершенствовать систему лицензирования в плане упрощения процедуры оформления лицензионных соглашений и повышения ответственности недропользователей за рациональное использование, сохранность недр и охрану окружающей среды;

значительно увеличить объем государственной поддержки геологоразведочных работ (ревизионных, поисковых и поисково-оценочных) на цветные камни, уделяя при этом особое внимание ювелирным камням, пользующимся повышенным спросом на внутреннем и мировом рынках и сырь-

евая база которых в России еще развита слабо либо совсем отсутствует;

учитывая уникальность некоторых чисто русских самоцветов (демантоид, хромдиопсид, чароит), их незначительные запасы, и в целях поддержания цены на достаточно высоком уровне, целесообразно ввести квотирование на добычу и экспорт этих камней.

К сожалению, МСБ цветных камней страны имеет ряд серьезных недостатков:

из группы камней повышенного спроса полностью отсутствуют разведанные месторождения александрита, бирюзы, шпинели, топаза, хризопраза и циркона;

месторождения аквамарина, аметиста, благородных корунда и опала, лазурита, граната (демантоид) и турмалина являются мелкими по запасам или имеют сырье невысокого качества;

размещение отдельных месторождений в удаленных и труднодоступных районах (турмалин, хризолит, чароит);

сложные горнотехнические условия отработки (изумруд, хромдиопсид);

многие месторождения представлены единичными объемами, содержащими все или подавляющую часть промышленных запасов страны (аквамарин, изумруд, опал, турмалин, хромдиопсид, чароит);

практически нет рентабельных к отработке запасов.

Учитывая благоприятную мировую конъюнктуру на ювелирные и ювелирно-поделочные камни, а также фактическое состояние их МСБ и прогнозных ресурсов, для России могут считаться приоритетными: изумруд, александрит, благородные корунд и опал, демантоид, жадеит (ювелирный), хромдиопсид, чароит и янтарь. Огромная территория России с ее уникальным ресурсным потенциалом и разнообразием геологического строения, неравномерная и еще слабая изученность ее отдельных частей являются надежной предпосылкой для открытия новых месторождений, рентабельных к отработке в современных экономических условиях. Вместе с тем, как показала практика последнего десятилетия, государственная система ведения геологоразведочных работ на камнесамоцветное сырье в рыночных условиях оказалась нежизнеспособной и уже полностью изжила себя. Стало очевидным, что это направление деятельности (от поисков до разведки с попутной добычей и переработкой цветных камней) следует предоставить, как это уже давно делается во всем мире, старательским артелям, фирмам и компаниям.

© Е.А. Ляшенко, 2004

Е.А. Ляшенко (МПР РФ)

СИБИРСКИЕ САМОЦВЕТЫ

Хромдиопсид и чароит — исключительно российские самоцветы, крупные месторождения которых были открыты почти одновременно во второй половине XX в. в Южной Якутии (Респ. Саха). Обладая превосходными ювелирными и декоративными качествами, они быстро завоевали широкую популярность и уже в течение трех десятилетий пользуются стабильно высоким спросом на международных ярмарках цветного камня.

Хромдиопсид — редкая ювелирная разновидность хромсодержащего диопсида ($\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$), напоминающая по цвету изумруд, почему за ним и закрепилось название «сибирский изумруд». Для него характерен зеленый цвет различной густоты и оттенков от травяно-зеленого до изумрудно-зеле-

ного, реже он бывает бурым, желтовато- и буровато-зеленым. По цветовым характеристикам хромдиопсид хорошего качества в огранке не уступает зеленому турмалину и даже цавориту. Сортовое сырье отличается высокой прозрачностью и повышенной трещиноватостью, поэтому бездефектные ограненные кристаллы массой свыше 3 карат являются большой редкостью.

Хромдиопсид встречается в Финляндии (Оутокумпу), ЮАР (Кимберли), Мьянме, Кении и ряде других стран, но все находки имеют практически лишь минералогическое значение, поэтому широкой известностью камень не пользовался. В связи с этим стало сенсацией открытие А.М. Корчагиным в 1968 г. в южной части Якутии уникального по запасам и качеству сырья Инаглинского месторождения хромдиопсида.

Месторождение находится в 30 км к западу от г. Алдан в пределах одноименного массива ультраосновных щелочных пород и связано с хромдиопсид-флогопит-вермикулитовыми метасоматитами, локализующимися в зоне разломов дунитов на контакте со щелочными пегматитами. Зона развития метасоматитов прослежена с поверхности на 550 м и на глубину до 50 м. Мощность зоны колеблется от 5 до 115 м. Ювелирный хромдиопсид концентрируется в телах почти мономинеральных (90 %) хромдиопсидовых пород с крупно-гигантозернистой структурой, где представлен кристаллами размером от нескольких миллиметров до 3–5 см в поперечнике и 6–10 см (в единичных случаях до 50) в длину.

Вследствие высокой популярности инаглинского хромдиопсида на мировом рынке цветного камня с 1974 по 1996 г. происходило наращивание объемов его добычи, постепенное в начале и интенсивное в конце этого периода, когда была достигнута рекордная производительность — 7,4 т. Именно в эту печальную перестроечную действительность, при отсутствии какого-либо контроля и регулирования со стороны государства, произошел резкий рост объемов экспортных поставок камня, причем по демпинговым ценам. В последующие три года добыча не осуществлялась, а в 2000 и 2001 гг. стабилизировалась на уровне 1 т. Всего за 28 лет разработки месторождения было добыто около 35 т самоцвета. На начало 2003 г. разведанные запасы хромдиопсида в кристаллосырье составляют 28 т, в т. ч. пригодного для огранки 780 и изготовления кабошонов — 640 кг.

Неоправданно высокие темпы роста объемов добычи и экспорта хромдиопсида в середине 90-х годов прошлого века привели к падению цен на минералогических ярмарках в Тусоне и Мюнхене на ограненные камни высшего качества с 200 дол/кар. в 1992 г. до 5–15 в 2000 г. Одновременно с этим произошло десятикратное снижение цен на кристаллосырье в кусках массой 1–6 кар. с 2–10 до 0,1–1,2 дол/кар. Коллекционные образцы размером до 5 см сейчас стоят 20–40, а длиной 12 см — 300 долл.

С переходом месторождения в 1998 г. в пользование ЗАО «Инагли» добыча хромдиопсида ведется малыми объемами с применением шадящих методов. Решением Президента Респ. Саха в 1999 г. на территории, включающей данное месторождение, создана особо охраняемая зона, что позволило резко сократить поток нелегального вывоза сырья за пределы Республики и улучшить позиции российского самоцвета на международном рынке цветных камней. Так, на ярмарке в Тусоне в 2003 г. ограненные вставки продавались уже по цене от 40 до 140 дол/кар.

Думается, что с появлением у месторождения новых хозяев, сибирский самоцвет своим сочным цветом и яркой игрой будет еще долго восхищать глаз ценителей прекрасного, сверкая среди россыпи чудесных российских самоцветов, принося радость и удачу каждому обладателю сибирского камня.

Чароит представляет собой сложный силикат К, Na, Ca, Ba, Mn, содержащий воду и фтор, это минерал, обладающий яркой фиолетово-сиреневой окраской разных тонов с шелковистым блеском и перламутровым отливом и разнообразным рисунком. Следует сразу оговориться, что термин «чароит» обычно применяется в качестве коммерческого названия чароитсодержащей горной породы, которую правильнее называть чароитом.

Впервые «сиреневые глыбы» неизвестной горной породы были обнаружены В.Г. Дитмаром в 1949 г. при проведении на юге Якутии поисковых работ на уран. В конце 50-х годов геологи Сосновской экспедиции вновь обращают внимание на сиреневый камень. В 1974 г. В.П. Рогова посылает приоритетную заявку на открытие минерала «чароит» и в 1978 г. он утверждается комиссией по новым минералам. По утверждению М.Д. Евдокимова, вопреки всеобщему убеждению минерал назван не по реке Чара, вблизи которой его нашли, а по впечатлению (очарованию), которое он произвел на первооткрывателей.

С 1973 г. на месторождении, названном Сиреневый камень, начинаются специализированные геологоразведочные работы силами сразу двух экспедиций — «Байкалкварцсамоцветы» и «Востоккварцсамоцветы». Параллельно с разведкой месторождения с 1991 г. была начата опытно-промышленная разработка, хотя сам камень и слава о нем уже давно распространились по всему свету как о прекрасном материале для производства вставок в ювелирные изделия, а также эффектных ваз, часов, кубков, шкатулок, подсвечников, шаров и прочих камнерезных изделий.

Месторождение располагается на границе Иркутской обл. и Респ. Саха. Пространственно и генетически оно связано с Мурунским вулкано-плутоническим комплексом и приурочено к Маломурунскому массиву щелочных сиенитов. Чароитоносное поле занимает площадь около 15 км² и состоит из 30 пространственно разобщенных коренных и россыпных проявлений чароитовой минерализации. Значительная часть последних в настоящее время уже отработана, а три самых перспективных участка разведаны и подготовлены для промышленного освоения.

Коренные чароититы образуют небольшие тела линзовидной формы, пласты и прожилки сложной конфигурации. Размеры тел по длине редко превышают первые десятки метров (максимум 80×80 м) при мощности от нескольких сантиметров до 8 м. Отдельными скважинами чароитовая минерализация прослежена до глубины 100 м. Размеры глыб в россыпях колеблются в широких пределах — масса некоторых из них достигала 120 т. Глыбы и коренные выходы чароититов покрыты сверху белой войлокоподобной массой чароит-асбеста, что первоначально мешало геологам рассмотреть под ней камень необыкновенной красоты.

Чароититы являются полиминеральной горной породой метасоматического происхождения, характеризующейся крайней изменчивостью минерального состава, структурно-текстурных и цветовых характеристик. В их составе установлены следующие основные минералы, находящиеся в различных количествах и сочетаниях: чароит (до 95 %), кварц, микрочлин, эгирин, мизерит, канасит, пектолит, тинаксит, фелорит, апофиллит и рихтерит. Для чароита типична широкая палитра красок — сиреневая, фиолетовая и коричневая с многочисленными оттенками розового, малинового, кремового, серого и других тонов, причем каждый из оттенков может иметь разную насыщенность. По данным Л.В. Никольской и А.Б. Борисова сиреневая окраска минерала определяется присутствием ионов Mn³⁺ и Mn²⁺, а коричневая — Fe³⁺.

Одной из особенностей камня является многообразие структурно-текстурного рисунка, обусловленного различными

сочетаниями форм и размеров выделений чароита с сопутствующими минералами. Для представления всего разнообразия чароитовых пород наиболее удобна классификация, предложенная ВНИИСИМСом, в соответствии с которой выделяются 7 структурно-текстурных типов камня: массивный, волокнистый, плейчатый, паркетовидный, розетковидный, очковый и параллельно-шестоватый. Очень интересно следующее наблюдение. Под микроскопом обнаруживается, что различные формы выделений чароита представляют собой псевдокристаллы или агрегаты тончайших волосовидных индивидов, размеры которых изменяются от сотых долей миллиметра до 10 и даже 30 см в длину.

Еще одна характерная особенность самоцвета, повышающая его художественную и ювелирную ценность, — интенсивный блеск с серебристым перламутровым отливом, который почти в два раза выше, чем у жемчуга, и наиболее отчетливо выражен в крупнокристаллических индивидах.

Согласно техническим требованиям, ювелирному чароиту соответствуют массивный, волокнистый и розетковидный природные типы с яркой сиреневой и фиолетовой окраской и содержащие не более 5 % посторонних минералов, а к ювелирно-поделочному сырью относятся все вышеперечисленные природные типы чароитов всех цветов и оттенков и содержащие чароита не менее 30 % объема породы.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых России на 1 января 2002 г. учитывается 161 тыс. т чароитасырца, в т.ч. сортового — 62 тыс. т. Запасы сосредоточены в Респ. Саха (участки Якутский и Новый) и Иркутской обл. (участок Старый) в соотношении 2:1. Результаты обработки валовых проб показывают, что качественные показатели балансовых запасов якутской части месторождения выглядят лучше (выход сортового чароита 42,6 % и 30,2 % соответственно). За период с 1991 по 2001 г. было добыто 980 т чароитового сырья. В начале 90-х годов добыча велась интенсивными темпами (1991—1995 гг. — 712 т), в 1996—1998 гг. произошел резкий спад (до 1,5 т в 1997), после чего она начала постепенно повышаться и достигла в 2001 г. 99 т. Следует отметить, что с 1997 г. добычу сырья осуществляет только «Востоккварцсамоцветы». Ресурсный потенциал чароита ограничен Мурунским чароитоносным полем. Прирост запасов минерала возможен как за счет доизучения ранее выявленных участков, так и обнаружения новых проявлений. Но целесообразно ли это делать в ближайшем будущем? Расчеты показывают, что при разумных объемах добычи недропользователи обеспечены разведанным сырьем на очень длительный срок.

В первые годы с начала эксплуатации месторождения чароит пользовался высоким спросом, а изделия из него имели высокую стоимость (сырье высшего сорта — 200—300 дол./кг, вазы высотой 20,5 см, сорт «экстра» — 850 долл., кружки (12,5 см) — 350 долл.) и хорошую реализуемость. Но в середине 90-х годов в результате практически бесконтрольного экспорта камня партиями в десятки тонн в виде сырья, полуфабрикатов или примитивных изделий произошло обесценивание уникального российского самоцвета. Дошло до того, что за рубежом его начали использовать в качестве облицовочного камня для украшения интерьеров зданий. В 2001 г. МПР России повысило требования к документам, представляемым заявителями для оформления экспортных лицензий, и ситуация с вывозом цветного камня за границу изменилась. Так, в 2002 г. была предотвращена попытка вывоза из страны 10 т чароита под видом несортных блоков по смехотворно низкой цене — 1,3 дол./кг, хотя в то же время на московских ярмарках такая «несортица» реализовывалась в 10—20 раз дороже.

Излагаемый материал будет неполным, если не обратить внимание уважаемого читателя на следующее. Только узко-

му кругу специалистов известно, что Маломурунский массив может явиться источником получения отличного коллекционного материала. По данным ВНИИСИМС в горных породах Мурунской чароитоносной полосы известно свыше 200 минералов, из которых в 1978—1994 годах было впервые открыто 13, в т.ч. 7 из них являются единственными находками в мире (чароит, дианит, мурунскит, токкоит, олекминскит, одинцовит, франкаменит) и еще 3 пока не утверждены, а 20 минералов относятся к уникальным (2—4 находки в мире).

Единичные образцы этих минералов появились на международных минералогических ярмарках в начале 90-х годов прошлого века и сразу были высоко оценены любителями камня. Несомненно, благодаря своей уникальности, минералы чароитового парагенезиса могут обогатить и украсить экспозиции любого музея мира и частной коллекции. В связи с этим представляется, что сбор и подготовка тематических коллекций минералов могут и должны стать дополнительной статьей дохода при добыче чароита или иметь самостоятельный статус на резервных участках. А проведение научно-исследовательских работ на данной площади позволит расширить минеральную базу редкого коллекционного сырья и выявить новые минеральные виды.

Хочется верить, что хромдиопсид и чароит, как и другие российские самоцветы, ждет большое будущее, ведь должны же мы когда-нибудь научиться рационально использовать свои уникальные природные объекты, которые должны считаться национальным достоянием страны.

© А.В. Турашева, 2004

А.В. Турашева

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРИОРИТЕТНЫХ ВИДОВ КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ РОССИИ

Геолого-экономический анализ МСБ полезного ископаемого представляет собой систему последовательных обобщений и расчетов от количественной оценки прогнозных ресурсов к ТЭО кондиций освоения месторождений, далее — к установлению МСБ страны и ее регионов по данному виду минерального сырья, на состоянии которой основываются планы развития геологоразведочных и добычных работ, и, в конечном итоге, определяется минерально-сырьевой потенциал и благосостояние государства. Каждый этап ГРР, сопровождаемый соответствующими технико-экономическими расчетами, приближает к истинному знанию промышленной значимости оцениваемого объекта.

Геолого-экономический анализ МСБ цветных камней специфичен, проводится с учетом высокой ценности сырья, неустойчивого качества полезного компонента и непостоянной конъюнктуры потребления. Отличительными чертами драгоценных камней являются их редкость и уникальность, что подчас позволяет рентабельно разрабатывать месторождения даже при высокой себестоимости их добычи и обогащения, поскольку цена камня в ювелирном изделии (конечной продукции) повышается в несколько раз. Важно учитывать, что истинную ценность запасов ожидаемых месторождений составляют камни высокого качества; их наличие — и в достаточном для эффективной разработки количестве — должно оцениваться в первую очередь.

Анализ МСБ страны, имеющий основной задачей ранжирование объектов приоритетных (драгоценных) видов камнесамоцветного сырья по их промышленной значимости,

производился в соответствии с «Методикой геолого-экономической оценки (переоценки) запасов месторождений твердых полезных ископаемых по укрупненным технико-экономическим показателям» (ВИЭМС, 1997, 2002) и «Методикой геолого-экономической оценки месторождений камнесамоцветного сырья» (М.Ф. Ярмак, А.В. Турашева, ВНИИСИМС, 1999, 2002).

В работе использован реестр объектов цветных камней согласно базе данных 2001 г., составленной совместными усилиями ВНИИСИМС (И.В. Коваленко, Т.Г. Костелова, Л.Н. Шуляева), ГПК «Кварцсамоцветы» (К.К. Атабаев) и ЦНИИГеолнеруд (В.С. Полянин, Т.А. Полянина). Компьютерная версия расчета технико-экономических показателей в системе «Access» разработана И.С. Тигетовой (ВНИИСИМС)*.

Оценка велась с использованием рекомендованных ВИЭМС среднестатистических общероссийских индексов-дефляторов (корректирующихся из года в год). По ним и произведено ранжирование объектов, так как это дает рассчитанный с единых исходных позиций материал. Он опирается на сформированную в течение нескольких десятилетий базу технико-экономических показателей, определявшихся по СУСНам, другим нормативным документам, в т.ч. с учетом районного коэффициента. Отсутствие каких-либо современных данных (ни один объект не эксплуатируется) не оставляет другого пути.

Ранжирование производилось по следующим геолого- и технико-экономическим параметрам: 1. Наличие высших сортов камня. 2. Цена за 1ед. ограненных вставок, дол/кар. 3. Запасы всех видов (включая ресурсы условной кат. С₂) — ограночное+кабошонное+ коллекционное, в т.ч. балансовые, из них ограночного сырья. 4. Обеспеченность запасами месторождения / то же с прогнозными ресурсами. 5 а). Потенциальная ценность недр, млн. долл. б). Потенциальная извлекаемая ценность всех полезных компонентов, млн. долл. 6. Степень изученности. 7. Способ отработки, глубина, м. 8. Освоенность района (по эффективности местоположения) — районный коэффициент. 9. По экономической эффективности освоения а) в сырьевом варианте, б) в ограненных и кабошонных вставках (по исходным ТЭП с индексом-дефлятором). 10. Наличие перспективных не оцененных ресурсов в провинции. 11. Особые условия: нахождение в заповедной зоне, недоступность (консервация). Бальность оценок измерялась количеством объектов, в данном случае — провинций. Сумма мест определяла и рейтинг оцениваемых провинций с их основными месторождениями.

Геолого-экономический анализ проводился для цветных камней согласно их конъюнктуре на мировом рынке (Тусон, 2000): в ведущей, т.н. «большой тройке» — сапфир, рубин, изумруд (Вестник Геммологии № 2, 2001). Минерально-сырьевой потенциал (МСП) включал запасы (С₁+С₂) и прогнозны ресурсы всех категорий (Р₁+Р₂+Р₃), причем последние — не в чистом суммарном виде, а приведенными к запасам кат. С₂ через коэффициенты подтверждения (перевода ресурсов), выводимые статистически на основании результатов ГРР за многие годы на определенный вид сырья. Для месторождений ограночного сырья с крайне неравномерным распределением полезного компонента коэффициенты перевода — для Р₁=0,8; Р₂=0,4×0,8 и Р₃=0,1×0,4×0,8.

Данный обзор представляет сумму накопленных и доступных знаний о предмете к настоящему переходному моменту, чаще по фоновым материалам и публикациям последних лет. В частности, основой систематизированных сведений

* Автор выражает им благодарность, а также глубокую признательность за совместную работу М.Ф. Ярмаку, многие годы возглавлявшему геолого-экономические исследования во ВНИИСИМС.

служили Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ. Цветные камни. Изумруд (1987—2001); Протокол... апробации прогнозных ресурсов цветных камней РФ по состоянию на 01.01.1998 (2003); «Материалы по конъюнктуре цветных камней» (Ярмак М.Ф., Турашева А.В., 2000; и др.).

Анализ следует предварить общим выводом: проведенные расчеты показали безусловную неэффективность разработки всех месторождений в сырьевом варианте. Поэтому во всех случаях и для всех объектов рассматривалась конечная товарная продукция в виде огранки, кабошонов и коллекционного материала.

Благородный корунд (рубин и сапфир). При написании раздела использовались отчеты А.Ф. Жигулы (1989), А.Ю. Кисина (1986, 1988), Ю.Б. Коврижных (1993), А.Б. Сыркина (1986, 1989), Н.В. Трушина (1989).

Рубин и сапфир — ценнейшие из цветнокаменного семейства, с неизменным рейтингом на мировом рынке (1—2 место), относятся к драгоценным камням I порядка. Цены на рубины и сапфиры высшего качества в изделиях достигают 50 000 и 22 500 дол/кар. соответственно; на камни коммерческого плана — 250 и 100 (в дол/кар.). Диапазон цен на разности рядового качества имеет тенденцию к снижению и составляет для рубинов 6—95, сапфиров 4—50 дол/кар. Разноцветный сапфир по усредненным данным за 40 лет в 10—12 раз дешевле драгоценного синего.

На фоне мировых запасов благородного корунда, размещающихся в Мьянме (рубин), Австралии, Мадагаскаре (сапфир), Таиланде, Шри-Ланке, Камбодже, Пакистане и др. [3], Россия не славилась благородными корундами, хотя некоторые уральские источники (Положиха, Корнилов Лог) имеют вековую известность. Годовая добыча сырья из австралийских россыпей сапфира колеблется от 23 до 70 млн. кар. (т.е. до 14 т в год) [4]. Добыча по нашей стране никогда не отслеживалась, велась спорадически старательским способом, за исключением периодов ГРР, но и эта информация противоречива. Можно лишь сказать, что в общей сложности объемы добычи не превышали нескольких килограммов. В настоящее время на территории РФ нет ни одного действующего месторождения, несмотря на широкое развитие корундоносных объектов — 77, размещающихся в 17 административных округах и в 8 цветнокаменных провинциях. В их числе: 3 — месторождения с балансовыми запасами рубина и сапфира, 1 — с запасами коллекционного сапфира, 6 — проявлений с утвержденными прогнозными ресурсами, 6 — с авторскими ресурсами и 61 — без оцененных ресурсов.

География большинства проявлений приходится на районы, приравненные к Крайнему Северу: Кольский п-ов, Чукотка, Магадан, Ямало-Ненецкий НО, Красноярский край; подчас с высокогорным или тундровым труднопроходимым рельефом, где единственным способом передвижения служит авиа или вездеходный транспорт, что не способствует их эффективно освоению. Наиболее доступны месторождения Свердловской, Челябинской областей и Приморского края. Большинство объектов россыпного характера, и разработка возможна открытым способом до глубины 1—16 м.

В Государственном балансе РФ числится 3 месторождения ограночного рубина и сапфира — *Положиха, Корнилов Лог, Вербанный Лог* (Средний Урал). Все — Госрезерв. К ним примыкает россыпь *Черемшанка*, оцененная категорией Р₁. Среди проявлений с прогнозными ресурсами важнейшими являются *Кучинское с Кочкарской площадью* на Южном Урале (рубин) и *Незаметное с Участком Дальним* в Приморском крае (сапфир). Великолепным коллекционным рубином характеризуется проявление *Макар-Рузь* на Полярном Урале. Первоочередным объектом к проведению поисковых работ на рубин называлась также *Верхнезейская зона* в Амурской

области. Резервное законсервированное месторождение с запасами коллекционного сапфира *Хит-Остров* расположено в Карелии. По геологическому описанию чрезвычайно интересным является *Суворовское проявление* в Красноярском крае, где добывались «рубины чистой воды». Согласно общероссийской классификации по размерности — все объекты мелкие, за исключением крупного проявления сапфира Незаметное (Дальний Восток).

Ресурсным потенциалом благородного корунда характеризуются 6 провинций — Уральская, Сихоте-Алинская, Алдано-Становая, Карело-Кольская, Южно-Сибирская, Северо-Восточная.

Балансовые запасы с учетом ресурсов, приведенных к условной категории. С₂, могут быть увеличены по сапфировому сырью за счет проявления Незаметное (по разным оценкам прогнозных ресурсов, * отмечены откорректированные авторские цифры) — в 215*–400 раз, по рубиновому — за счет Кучинского участка — в 38 раз. Соотношение ресурсов рубина к сапфиру составляют 4–7*% к 96–93*%, их потенциальной извлекаемой ценности в недрах 73*–57 к 27*–43% (рис. 1 а, б).

Суммарные ресурсы благородного корунда оцениваются от 1055* до 1805 кг. Для сравнения: разведанные запасы только «кашмирских рубинов» (Пакистан) — 30 млн. т [1]. Распределение ресурсов благородного корунда по провинциям РФ представлено на рис. 1 в: Уральская — 4–7, Сихоте-Алинская — 96–93, Алдано-Становая — 0,1%.

Рейтинг месторождений по качеству благородного корунда, рассчитанный согласно установленной в периоды ГРП сортности и цен по прејскурантам 1999–2000 гг., выглядит следующим образом: *Положиха, Кучинское, Корнилов Лог, Черемшанка, Вербаный Лог, Незаметное, Хит-Остров*. Оценка велась путем сопоставления характеристик ТУ 41-07-027–87 с показателями прејскурантов на рубин (Таиланд) от «ЮвЭксО», № 7, 2000 и сапфир (Таиланд) от «ЮвЭксО», № 3, 2000, как наиболее близких отечественным образцам благородного корунда. Из общего числа запасов лучшими сортами (*интенсивный цветовой фон II размерной категории*) располагает Положиха — 25,3% рубина, 8,5% — сапфира, Корнилов Лог — 6,2 и 10% соответственно, и Кучинское — 2% рубина; главным дефектом являются мелкие размеры камня. Как видим, лучшие образцы российских месторождений — в основном коммерческого и рядового качества — падают в цене. Наличие ювелирных высокосорт-

ных рубинов и сапфиров подтверждается единичными находками (и в 2000!), но содержание их мало прогнозируемо. Таким образом, российские месторождения не способны создать конкуренцию на мировом рынке в силу ограниченности запасов, в т.ч. высококачественного камня.

Суммарная потенциальная извлекаемая ценность благородного корунда РФ по разным оценкам колеблется от — 7,7* до 12 млн. долл. или при курсе 31,6 дол./руб. — 243*–380 млн. руб., в т.ч. на долю Уральской провинции с Положихой и Кучинским приходится — 63–82*%, Сихоте-Алинской с Незаметным — 18*–37% (см. рис. 1 г). Для сравнения: только в 1997 г. экспорт австралийских сапфиров произведен на сумму в 8 млн. долл. [4].

Ниже последовательно, согласно ранжированию провинций, приводятся краткие результаты геолого-экономического анализа:

Уральская провинция (сумма мест — 33). Несомненно приоритет Уральской провинции (Челябинская и Свердловская области) по причине, прежде всего, ее эксклюзивной в стране рубиновой специализации. Места в таблице о рангах распределились следующим образом: *Кучинский участок, Положиха, Корнилов Лог, Вербаный Лог и Черемшанка*. Первые два объекта могут быть освоены с нормативной рентабельностью и суммарной дисконтированной прибылью 4,4–8,65 млн. руб. в соотношении: Кучинское — 83–92%, Положиха — 8–17% (см. рис. 1 д).

Сихоте-Алинская провинция (сумма мест — 60). Крупнейшим в провинции (и в России) является комплексное циркон-сапфиро-золотоносное проявление *Незаметное* с ресурсами (в пересчете к условно приведенным запасам кат. С₂) по разным оценкам от 976,6* до 1795,2 кг (4880*–8976 тыс. кар.). Потенциальная ценность их составляет 1,4*–4,465 млн. долл. (39,5*–126 млн. руб.).

Добыча цветных камней на проявлении Незаметное нерентабельна, попутное же их извлечение при отработке золота повышает эффективность добычных работ. Высокие (5-кратные) потери при промывке (особенно в размерности сапфира и циркона), поскольку используются взаимоисключающие технологии добычи самоцветов и золота, заставляют подумать о приоритетах и о возможностях применения поначалу шадящих технологий для извлечения цветных камней.

Карело-Кольская провинция (сумма мест — 70). Перспективность провинции связана с запасами коллекционного сапфира законсервированного месторождения *Хит-Остров*, не рентабельного, по расчетам, в самостоятельной разработке, а также с 7 проявлениями сапфира в Хибинских горах — *Ущелье Ферсмана, Ущелье Рисчорра, Лопарский перевал, Цирконовая перемычка, Кукисвумчоррское, Свинцовый ручей, Вуонием-Йок*. Близость первого к слюдяным и кварцевым объектам (Малиновая Варакка, Чула и др.) может повысить эффективность работ при попутной добыче сапфира.

Алдано-Становая провинция (сумма мест — 84). В провинции расположен один из перспективных объектов для постановки ГРП на рубин — *Верхнезейская зона* с утвержденными прогнозными ресурсами кат. P₃ 150 тыс.

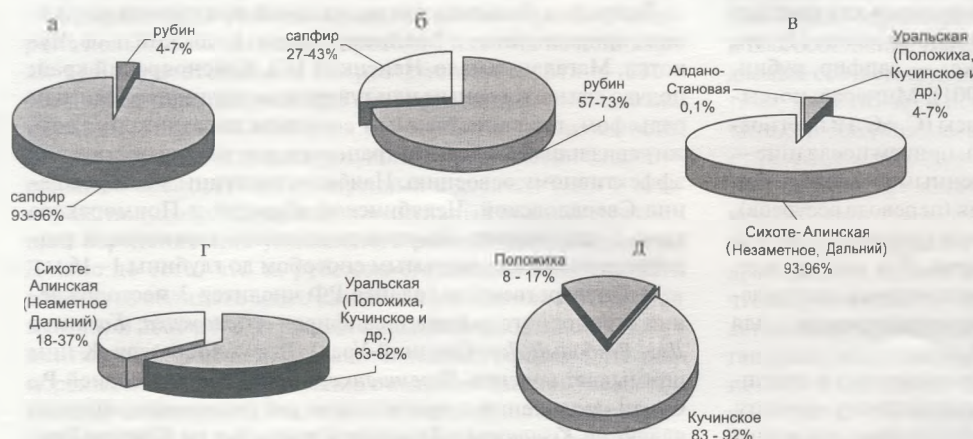


Рис. 1. Показатели минерально-сырьевого потенциала благородного корунда (рубина и сапфира) России. Соотношение ресурсов (а) и потенциальной извлекаемой ценности (б) рубина и сапфира в России; распределение ресурсов (в) и потенциальной извлекаемой ценности (г) благородного корунда по камнесамоцветным провинциям России; распределение ЧДП (чистой дисконтированной прибыли) при освоении ресурсов (д) благородного корунда Урала

кар. (0,05 % от общих прогнозных ресурсов). По предварительным расчетам эффективность работ возможна при достаточных объемах производства и средневзвешенной цене камня не менее 65 дол/кар. (на лучших отечественных месторождениях, по нашим оценкам, она составляет 58–60 дол/кар.). Кроме того, нужно учесть затраты на проведение поисковых работ. Недостаточно и геологическое обоснование: объект относится к перспективной минерогенетической формации, однако ювелирного камня не встречено, корунд трещиноватый, слабых розовых оттенков. Рекомендуется к третьей очереди освоения.

Южно-Сибирская провинция (сумма мест — 85). Провинцию можно отнести к «потенциально рубиновой», поскольку из 17 проявлений 7 в Прибайкальской зоне — перспективных и неясных перспектив, и, кроме того, одно — *Суворовское* — на Енисейском крыже, может рассматриваться как возможный источник ювелирного корунда. В аллювиальной россыпи попутно с золотом здесь добывались *рубины чистой воды*.

Северо-Восточная, Камчатско-Сахалинская, Ханкайско-Бурейская провинции насчитывают в сумме 10 проявлений и в ранжировании не участвовали, в связи с отсутствием перспектив или недостатка информации. Возможные практические шаги по освоению МСБ благородного корунда, по результатам анализа, сводятся к следующему:

промышленная отработка запасов месторождения *Положиха* с наиболее качественными рубинами и сапфирами, что позволяет, при равенстве аргументов с другими россыпями — *Корнилов Лог, Вербаный Лог и Черемшанка* — в отличие от них, провести достаточно рентабельную отработку запасов в течение года. Кроме того, доказана возможность облагораживания (отжига) некондиционного корунда месторождения с получением сортового сапфира (выход 50 %, данные Г.И. Крыловой, 1991, ВНИИСИМС), что позволит увеличить запасы примерно вдвое и отработать их эффективно при цене за единицу продукции не менее 50 дол/кар. (вместо рассчитанной средней по качеству — 42,8 дол/кар.). В отношении других среднеуральских россыпей важно помнить весьма условный характер разделения площадей, и дополнительные сведения по сортности сырья могут существенно, даже радикально изменить картину эффективности работ, особенно с таким непредсказуемым видом сырья, каким являются драгоценные камни;

проведение ревизионных работ с опытной эксплуатацией на проявлении *Кучинское*, являющееся, согласно анализу исходной фондовой информации, основой ценности провинции (см. рис. 1 д), и поисковых работ на прилегающей *Кочкарской площади*;

поисково-оценочные работы с большеобъемным опробованием и поиском технологических решений для извлечения и эффективной отработки цветных камней на проявлении *Незаметное*, а также поисковые работы на участке *Дальнем*;

увеличение запасов за счет принятого во всем мире способа облагораживания (отжига) некондиционного корунда — перспективное дело, требующее доработки промышленной технологии. Для справки: из общего количества сапфиров, поступающих из Юго-Восточной Азии и Австралии, до 90–95 % проходят стадию термоотжига. Интересно, что облагороженный сапфир имеет достаточно высокий рейтинг на мировом рынке — 11 место;

отечественные месторождения могут найти сбыт лишь в своей стране и только в виде конечной продукции (ограниченных вставок, кабошонов), а также коллекционных кристаллов. Однако широкий покупатель, привыкший за десятилетия к синтетическому рубину, только обретает вкус к природному благородному корунду, и тут важна реклама российского камня и изделий из него;

среди объектов коллекционного рубина важнейшим является проявление *Макар-Пузь* на Полярном Урале, сапфира — *Хит-Остров* в Карелии.

Изумруд и александрит. Данный раздел базируется на материалах за период 1993–2003: М.П. Попова, В.И. Жернакова, А.В. Самсонова, Ф.Ф. Золотухина, К.К. Атабаева, А.И. Рудакова, В.Н. Попова, Г.А. Бабенкова и других исследователей Уральской изумрудоносной п.

Изумруд и александрит — драгоценные разновидности берилла и хризоберилла с высоким рейтингом: 3–4-е место — на мировом рынке и 1-е (вслед за бриллиантами) — на отечественном. Цена на изумруды высшего качества (в ювелирных изделиях) возросла в период 1960–2000 гг. с 25 000 до 30 000 дол/кар., александриты с 1200 до 30 000. Напротив, цены на камни среднего коммерческого, тем более низкого качества снизились в 3–15 раз; например, на коммерческие изумруды с 900 до 55 дол/кар. (рис. 2). Основные мировые запасы непревзойденного по качеству изумруда размещаются в Колумбии, в меньшей степени — в Замбии, Зимбабве, Пакистане и Бразилии, а также — в Индии, Афганистане, Мозамбике, США, Танзании. [3]. Последние три года бразильские александриты (месторождение Хематита), хотя и уступающие уральским по качеству, по причине крайней редкости последних, заняли свою устойчивую нишу в мире [1].

При среднегодовой добыче черного изумрудного сырья в 1983–1988 гг. — 2000 кг — Россия (Уральские копи) являлась третьим производителем высококачественных изумрудов в мире после Колумбии и Бразилии; в начале 90-х годов объемы снизились до 700 кг. На Уральских Изумрудных копиях за период с 1831 по 1922 г. было добыто не менее 20 т изумрудов, около 3 т александрита и 3 т фенакита (данные А.Е. Ферсмана), с 1831 по 1986 г. — 2378 тыс. кар. ограненных камней и почти 50 т. изумрудной зелени (систематизация Ф.Ф. Золотухина). Всего в пересчете на черновое изумрудное сырье по неполным оценкам добыто 203,4 т.

В РФ по состоянию на 1.08.2001 выявлено 44 изумрудоносных объекта: 6 — месторождений, учитываемых балансом, 16 — проявлений с утвержденными прогнозными ресурсами, 22 — без оцененных ресурсов, размещающихся в 5 административных округах (Свердловская, Челябинская, Оренбургская области, Красноярский и Алтайский края) и в 2 цветнокаменных провинциях (Уральской — 42, Южно-Сибирской — 2).

Преобладающее большинство объектов (39) приходится на знаменитую Уральскую изумрудоносную полосу (УИП), известную с 1830 г., в т.ч. — 9 из них — с прогнозными ресурсами александрита и 3 — фенакита. На территории Южно-Сибирской провинции — 2 объекта, оба — перспективных, коренного залегания, без оцененных ресурсов: *Баргинское* — в Красноярском крае и *Тигирецкое* — в Алтайском. Последние ГРП проводились здесь в 60-е годы. В ГосБалансе РФ «Изумруд» числится 6 месторождений — *Мальшевское, им. Крупской, Свердловское, Первомайское, Черемшанское, Шаг*. Четыре первых лицензированы, однако к настоящему времени все объекты (с 1996) законсервированы, и добыча изумрудов не ведется в течение 7 лет из-за экономических и хозяйственно-правовых проблем.

Согласно общероссийской классификации по размерности — все объекты изумруда и александрита мелкие, за исключением крупного месторождения — Мальшевского и средних — Свердловского и Черемшанского. Балансовые запасы по России в сумме никогда не учитывались, поскольку оценивались по разным техническим условиям. Первая попытка количественной оценки запасов изумрудов в недрах месторождений Изумрудных копей принадлежит академику А.Е. Ферсману (1920, 1923, 1925). По его приблизительным

подсчетам запасы изумрудов на Изумрудных коях до глубины 50 м составляли не менее 10 млн. кар. ограночного сырья. И эти цифры сам А.Е. Ферсман «...склонен был считать скорее преуменьшенными, хотя тоже очень плохо обоснованными». Суммарные ресурсы в черновом изумрудном сырье, пересчитанные при оценке МСБ изумруда в 1999 г. (Рудаков А.И., Атабаев К.К., Попов В.Н.) составили по месторождениям 66 378,4 кг, а в целом по УИП, с учетом прогнозных ресурсов, приведенных к кат. С₂, по нашим расчетам, — 92 164,5 кг (т.е. + 38,8 %). Запасы в ограночном сырье до глубины 320 м оценены при настоящем анализе в 3,2 млн. кар.

Все проявления коренного залегания; освоение примерно пятой части запасов возможно открытым способом. Так, крупнейшее — Малышевское месторождение — разрабатывалось карьером на глубину 90–130 м.

Суммарная потенциальная извлекаемая ценность объектов изумруда с сопутствующими александритом, фенакитом, изумрудной зеленью в целом по УИП составляет, по минимальным оценкам, около 89 млн. долл. (2,5 млрд. руб.), в ее

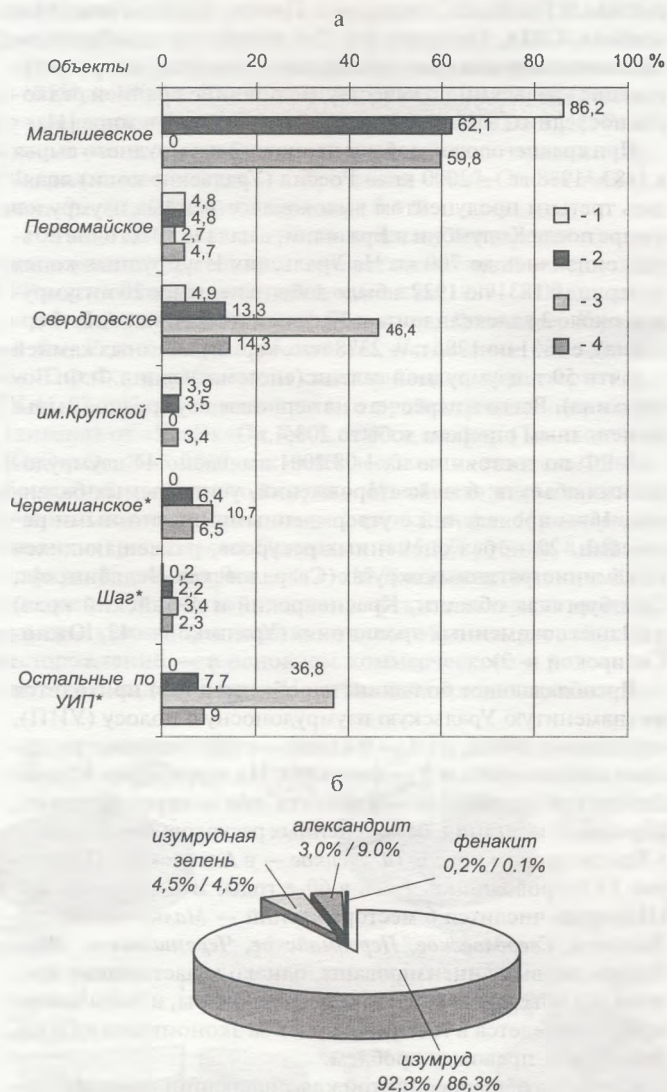


Рис. 2. Показатели минерально-сырьевого потенциала Уральской изумрудноносной полосы России: а) распределение запасов+прогнозных ресурсов изумруда, александрита и фенакита (в черновом сырье), %: 1 — запасы изумруда по месторождениям; запасы + ресурсы по УИП; 2 — изумруда, 3 — александрита, 4 — изумруда, александрита и фенакита; * — объекты для открытого способа отработки на глубину 40–70 м; б) — распределение потенциальной извлекаемой ценности цветных камней в целом по УИП / по объектам для открытого способа разработки на глубины до 40–70 м

доступной для открытой разработки части — 15,5 млн. долл. (435 млн. руб.). Распределение ее для цветных камней УИП, в т.ч. по объектам для открытой разработки, показано на рис. 2 б.

Результаты ТЭР, даже для потенциально активных объектов с самым экономичным открытым способом освоения без БВР, — отрицательные: себестоимость продукции без учета налогов и затрат на ГРП по переводу ресурсов в запасы превышает цену на 15 %. Тем более нерентабельны месторождения в подземной разработке с затратами в 2–4 раза выше.

Поскольку вся МСБ изумруда РФ заключена в одной — Уральской провинции, рейтинг месторождений по качеству камня за неимением необходимой сопоставимой информации практически совпадает с количественной оценкой ресурсов. Ранжирование объектов отражено на рис. 2 а. Анализ показывает, что 86,2 % запасов и 67,4 % общих сырьевых ресурсов изумруда УИП приходится на знаменитое Малышевское (Мариинское) месторождение и располагаются на глубине 100–520 м. Далее по значимости следуют месторождения Свердловское, им. Крупской, Черемшанское, Первомайское, Шаг; наиболее перспективны проявления Красноармейское, Каменское, Островное, Участок 616, Красноболотное, Глинское (рис. 3).

Полученные результаты являются обобщенным и адаптированным к настоящему моменту вариантом технико-экономических расчетов, приведенных в отчете: «Состояние и перспективы развития МСБ изумруда на 1998–2010 гг.», 1999 г. (Рудаков А.И., Атабаев К.К., Попов В.Н.), который принципиально совпадает с конечной оценкой и мнением этих авторов о ближайших практических шагах по освоению МСБ изумруда и александрита.

Современное состояние ресурсов УИП таково, что более 80 % их находится на глубине 100–520 м, и в этой связи за-

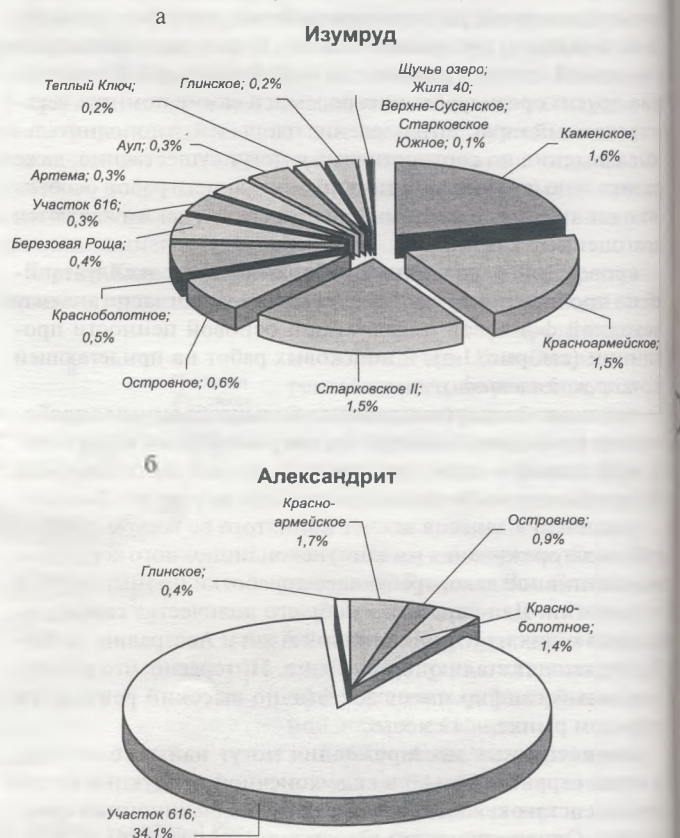


Рис. 3. Распределение прогнозных ресурсов изумруда и александрита на проявлениях Уральской изумрудноносной полосы, в % от общего баланса

кономерно ставится задача поиска новых, неглубоко залегающих и высокопродуктивных месторождений, а также разведки и переоценки известных проявлений и флангов месторождений. Поскольку проведенный анализ свидетельствует о нерентабельности отработки сложившимися в Малышевском рудоуправлении технологиями, для обеспечения эффективности освоения изумрудных и александритовых объектов требуются новые подходы — поиск рудных столбов, т.е. выконтуривание наиболее продуктивных участков, что позволит существенно снизить эксплуатационные затраты. Кроме того, предлагается проработать возможность увеличения запасов за счет принятого во всем мире (в т.ч. в Колумбии и Бразилии) облагораживания.

Уральские Изумрудные копи — единственный источник драгоценных камней в стране, способный конкурировать даже с всемирно известными, имеющими тысячелетнюю историю, колумбийскими месторождениями изумрудов (Музо, Чивор и др.), если не по цвету и чистоте, то, во всяком случае, по размерам камня («ВГ» № 2, 2001). Однако следует признать, что Россия со времен открытия Изумрудных копей никогда всерьез не занималась собственным богатством: вначале (1899) они были переданы в концессию англо-французской компании (владевшей копиями Музо в Колумбии), которая за 18 лет выработала наиболее богатые участки и жилы; затем в советские времена планомерных работ Малышевского рудника на стратегический бериллий и тантал до 90 % изумрудов и александритов терялось в отходах; наиболее системное изучение в 80–90-е годы XX в. быстро захлебнулось в потоке реформ... и подытоживает историю владения пакетом акций последовательно Израильской и Ирландской фирмами. Ныне ЗАО «Зелен-Камень» («Kabal. Development Ltd.») ввело охрану объектов, производит переработку технологических отходов на восстановленной изумрудной фабрике, но работы на шахте гор. 300 м не начаты, поддерживается лишь водоотлив во избежание затопления.

В свете изложенного, рекомендации (Попов В.Н., Бабенков Г.А., Коваленко И.В., Турашева А.В.) по корректировке направлений работ на Уральской изумрудноносной полосе на ближайшую перспективу и на 2004 г. сводятся к следующему:

1. Доизучить (переоценить) на комплекс полезных ископаемых (изумруд, александрит, хризоберилл, фенакит, полевые шпаты и редкие металлы) наиболее перспективные месторождения и проявления: 1. Свердловское; 2. Шаг; 3. Черемшанское; 4. Красноболотное; 5. Глинское.

2. Переоценка должна вестись до глубины 40–70 м открытым, единственно экономичным в настоящее время способом отработки с селективной выемкой полезного компонента.

3. Рентабельная разработка месторождений может быть достигнута комплексной отработкой и оценкой запасов по конечной продукции в изделиях.

4. На первом этапе для разработки критериев комплексной оценки месторождений провести опытно-методические работы на 1–2 месторождениях Уральской изумрудноносной полосы (на примере перспективных участков Свердловского или Красноболотного месторождений) с параллельными маркетинговыми исследованиями по реализации добываемого минерального сырья.

В заключение обзора необходимо затронуть одну из важнейших проблем в освоении МСБ драгоценных камней России, которая заключается в сложностях законодательства, поскольку и рубин, и сапфир, и изумруд входят в число валютных ценностей. Рубеж между корундом и благородным корундом, бериллом и его драгоценными разновидностями чрезвычайно размыт, что является благодатной почвой для ошибок правоохранительной системы.

Между тем, как показал анализ, из «большой, великолепной тройки» драгоценных камней — рубина, сапфира, изумруда, — лишь уральский изумруд с сопутствующим александритом достаточно конкурентоспособен на внешнем рынке. В России не выявлено сколь-нибудь значительных ресурсов высококачественного благородного корунда, и отнесение его к валютным ценностям преждевременно и не эффективно для реального развития производства. И здесь уместно привести цитату из статьи «Сапфир» (Ювелирное обозрение, № 3, 2000): «Есть ли сегодня в нашей стране люди, которые станут тратить силы на поиск месторождений, развитие добычи и рынка рубина и сапфира, если сверхприбылей не ожидается, а уголовное законодательство грозит на каждом шагу?».

Необходимо выработать и отрегулировать понятийную и законодательную базу, четко отразив и выполняя ее положения в выдаваемых лицензиях. Актуальность совершенствования регионального законодательства в сфере недропользования драгоценных камней правомерно широко обсуждается в настоящее время в журнальных публикациях [1] (подборка статей Е.П. Мельникова). Добавим к сказанному: логика и практика доказывают, что оптимальным вариантом для возможного владения недрами является отраслевая (лучше «материнская») геологоразведочная организация, пока еще оснащенная как необходимой техникой, так и должным уровнем и опытом специалистов.

Проведенный геолого-экономический анализ имеет предварительный характер (возможно авансированный, вслед за местными авторами-геологами), причем одна из основных проблем заключается в нечеткости используемой терминологии в разных источниках и отсутствие единообразного перечня сравнительных показателей. Более того, в некоторой степени прав Е.Я. Киевленко (1999), указывая на «большую условность и практическую бесполезность определения прогнозных ресурсов изумруда и, тем более, александрита, для чего просто не хватает необходимых исходных данных, главным образом, по выходу и качеству ограночного сырья и вследствие использования различных слабо обоснованных коэффициентов (надежности прогноза в 50 % и т.д.)». Этот вывод касается практически любого самоцвета, однако в плане ранжирования объектов, когда погрешности определения запасов/ресурсов укладываются в единую схему, т.е. для целей настоящей оценки по укрупненным показателям, как собственно, того и требует основополагающие методики (ВИЭМС+ВНИИСИМС), она применима. Для более тщательного ранжирования объектов нужна кропотливая работа по переопробованию и переоценке согласно единым ТУ всех, и в первую очередь, приповерхностных объектов камнесамоцветного сырья.

Аналогичный геолого-экономический анализ проводится по другим высоко конъюнктурным ювелирным и ювелирно-поделочным камням России, в частности, демантоиду, аметисту, жадеиту и т.п. Краткие выводы по общему состоянию рынка камнесамоцветного сырья таковы: имеющаяся МСБ может обеспечить России ведущие позиции лишь по отдельным видам камней. Прежде всего, это, пользующиеся настоящим спросом уральские демантоиды, саянский нефрит, якутские хромдиопсид, чароит и дианит. С ожидаемым возобновлением работ на Уральских Изумрудных копиях вернутся на мировой рынок изумруд и александрит. Из ювелирно-поделочных перспективны жадеит, родонит, амазонит, агат, янтарь, из поделочных — яшма (для внутреннего пользования).

По большому числу цветных камней: шпинели, бирюзы, черного опала, аквамарина РФ не имеет промышленных месторождений, а данные по прогнозным ресурсам

необходимо подтвердить путем постановки ревизионных ГРР, и сделать даже предварительные обобщения в настоящее время преждевременно. Часть камней, как-то: турмалин, берилл, топаз, хризолит, гранат требуют более тщательной оценки с подключением данных о качестве и местонахождении прогнозных ресурсов. Следует учесть и тот факт, что на части комплексных месторождений цветных камней ресурсы попутных компонентов не учитывались, например, берилла и хризоберилла на Уральской изумрудноносной полосе, или многочисленных проявлений самоцветов уникального Мурзинско-Адуйского района. Ревизионные ГРР по установлению комплексного минерагенического потенциала на объектах камнесамоцветного сырья являются первоочередной задачей в перспективных планах развития данной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вестник Геммологии — 2001. — № 1–3, 2002 — № 1(4).
2. Драгоценные и поделочные камни мира / В.П. Дроздов, Л.М. Делланы и др. — М., 1991.
3. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. — М.: Недра, 2000.
4. Минерально-сырьевые ресурсы стран мира: Сб. 1995–1997 гг. — М., 1998.
5. Ювелирное обозрение. — 1999. — № 9, 2000 — № 2–7, 12.

© В.А. Морохов, 2004

В.А. Морохов

РЕАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ УРАЛЬСКОЙ ИЗУМРУДНОСНОЙ ПОЛОСЫ

Необходимость комплексной оценки МСБ Уральской изумрудной полосы существует в течение значительного периода времени освоения этой территории. К такому выводу можно прийти на основании изучения обширного исторического наследия, оставленного многочисленными исследователями и практиками более чем за 170 лет. Разнообразие, богатство минеральных форм и их сочетаний в недрах является одним из основных отличительных признаков, определяющих уникальность этого всемирно известного рудного района. Вместе с тем, геологическое изучение подобных поликомпонентных природных объектов всегда преследует цель оценки комплексного использования полезного ископаемого с позиций ресурсосберегающих технологий очистных работ и последующего обогатительного передела. Реализация этой цели повышает полноту извлечения полезных компонентов и увеличивает экономический потенциал месторождений, а также снижает техногенную нагрузку на окружающую природную среду.

Но практически всегда очевиден уклон в пользу какого-то одного, реже двух, полезных компонентов, определяемых как «основные». Все прочие — попутные. Эта градация закреплена законодательно и оспаривать правомерность ее положений не имеет смысла, так же как не имеет смысла, но уже практического, поспешно вносить в наименование месторождений минералогическую «специализацию», изменяя «бериллий-изумрудное» на «изумрудно-александритовое». В отношении правомерности последнего вопрос, конечно, не принципиальный. Существовавшая длительный период времени монокомпонентная (берилловая) или изумрудная ориентация в изучении и освоении объектов Изумрудных копей в определенной степени способствовала ограничению информации об их комплексности. Основная причина —

различие в сферах использования полезных компонентов — берилла и изумруда, а также несовместимость технологий добычных работ. Начиная с 1941 г., в государственную программу изучения территории района внесены дополнения по оценке ее перспективности на редкие металлы. В результате в этот период до 1964 г. были открыты и разведаны несколько редкометалльных объектов. Параллельно (во времени) производились разведочные и добычные работы на известных изумрудноносных объектах, крупнейшее из которых Малышевское (Мариинское) осваивалось как комплексное бериллиево-изумрудное вплоть до 90-х годов. Геологические результаты изучения изумрудных месторождений в дополнение к опубликованным и фондовым материалам прежних лет сосредоточены в многочисленных публикациях К.А. Власова и Е.И. Кутуковой (1960), Б.А. Пильшикова и др. (1958), Н.А. Солодова (1971, 1977), И.И. Куприяновой (1972, 1994, 2003), В.И. Жернакова (1975, 1979), Е.Я. Киевленко (1980), Ф.Ф. Золотухина (1996) и др., а также в рукописных работах Л.А. Изергина (1939, 1943, 1951), П.К. Олерского (1949), И.С. Когана и В.А. Афанасьева (1955), Ф.Ф. Золотухина (1960, 1967), Н.Ф. Шестакова (1968), Г.А. Бабенкова (1977, 1981, 1996), Б.П. Сухарева и др. (1977). В течение этого периода была обоснована и прошла апробацию методология разведки объектов Изумрудных копей, общее количество которых, включая месторождения и проявления, насчитывает 30 наименований. По большей части из них произведены подсчеты запасов и прогнозных ресурсов изумрудов.

Возврат к комплексной оценке камнесамоцветной «специализации» района следует отнести к началу 90-х годов в связи с прекращением добычи берилла. В частности, начало этого периода означено включением александрита в номенклатуру продукции Малышевского рудоуправления. По мнению специалистов, в этот же список следует включить фенакит, пока не получивший широкого признания ювелиров (Е.А. Машарова, 2001). Прогноз потребностей на тот или иной сырьевой продукт чрезвычайно затруднителен. Особенно для камнесамоцветного сырья. Тем не менее сейчас уже очевидно, что хризоберилл (александрит) и фенакит завоевывают свое место в списке не только в качестве наиболее популярных и дорогостоящих вставок в ювелирных изделиях, но и в качестве коллекционного штучного материала.

Собственно хризоберилловых (александритовых) и фенакитовых месторождений на территории района Изумрудных копей не обнаружено. Прогнозы наличия этой минерализации в промышленно значимых количествах основываются на весьма скудных отрывочных сведениях о попутной с изумрудами добыче александрита и фенакита на ряде объектов, включая находки при переработке карьерных отвалов Малышевского месторождения. Заметим, что практически все бериллиевые минералы, включая берилл (изумруд), хризоберилл (александрит) и фенакит, являлись несмотря на существовавшую рудоразборку основными несущими берилловую минерализацию компонентами (с соотношением BeO 1:1,4:3,2). Поэтому можно согласиться с оценками А.С. Таланцева (2000), который считает, что при взрывных работах 70–80 % уникального кристаллосырья и коллекционного материала уничтожается.

Для целей прогноза александритовой и фенакитовой минерализации, очевидно, имеет важное значение парагенетическая близость хризоберилла (александрита) и фенакита, отмеченная рядом исследователей, а также тенденция к отсутствию таковой с изумрудом. Эти фактические критерии послужили основным теоретическим обоснованием для постановки специализированных на александрит (и фенакит) работ, проведенных коллективом ФГУП «Уралкварцсамоц-

веты» МПР РФ (Г.А. Бабенков, В.Н. Попов, А.И. Рудаков, Ф.Ф. Золотухин) в 2001–2002 гг. по прогнозной оценке Уральской изумрудноносной полосы на александрит. Источником финансирования этих работ являлись отчисления на ВМСБ, аккумулированные в Свердловской обл. Основные физические объемы исследований были сосредоточены на месторождении им. Свердлова (Сретенском), которое разведывалось в 1969–1976 гг. на изумруды и по которому были подсчитаны запасы.

Заслуживающими внимания результатами поисково-оценочных работ на александрит следует считать установление структурной приуроченности александритоносных рудных тел к системе сколовых трещин, ориентированных практически (в среднем) под прямым углом к изумрудонесущим слюдитовым телам. Александритоносные слюдиты по ряду специфических свойств (вещественному и минеральному составу) отличаются от изумрудоносных. Рудные тела с александритом и фенакитом преимущественно выполняют трещины северо-восточного простирания ($40\text{--}60^\circ$) и имеют крутое (до 80°) северо-западное падение. Изумрудоносные тела слюдитовых образований имеют, как правило, северо-западное простирание ($290\text{--}320^\circ$) и северо-восточное падение. Установленную авторами (Г.А. Бабенков, В.Н. Попов) структурную и сингенетичную приуроченность александритовой (хризоберилловой) и фенакитовой минерализаций с оценкой продуктивностей можно продемонстрировать построением гистограмм или соответствующих кривых. Близкую по форме кривых структурную приуроченность обнаруживают хризобериллоносные слюдиты Мариинского месторождения по результатам опробования горных выработок гор. —120 м (данные Ф.Ф. Золотухина). Таким образом, избирательную относительно берилла и изумруда структурную «приуроченность» александрита и фенакита можно рассматривать в качестве структурного критерия в локализации последних.

Важным для целей прогноза показателем является корреляция между размером фенакитовых обособлений (штурфов, желваков, отдельных кристаллов) и содержанием окиси бериллия (BeO), определяемых с использованием полевого фото-нейтронного регистратора (по 12 пробам). Связь между весом образца и содержанием BeO положительная, значимая. Учитывая парагенетическую близость фенакита и хризоберилла, эту зависимость можно рассматривать также в качестве косвенной критериальной функции вероятного присутствия в руде хризоберилла.

И, наконец, оценка корреляционной связи по 130 замерам в интервалах отбора валовых проб между мощностью слюдитовых жил и логарифмами их продуктивностей в фенакитовом, хризоберилловом, изумрудном кристаллосырье, рудоразборном берилле (гор. —120 м, Мариинское месторождение) убеждает в существовании такой зависимости. При этом кривые, аппроксимирующие эти зависимости, располагаются по ординате одна над другой в соответствии с уровнями продуктивности в полезных компонентах.

На основании приведенных выше выявленных зависимостей, которые можно рассматривать в качестве оценочных критериев, исполнители работы и авторы отчета (Г.А. Бабенков, В.Н. Попов) предлагают для поисков и оценки потенциально александритоносных (и фенакитоносных) участков комплекс методов. Он включает детальную площадную магнитную съемку с целью картирования тектонических рудовмещающих структур, шнековое бурение скважин с последующим гамма-нейтронным каротажем и минералогическими исследованиями рыхлого керна, проходку траншей и канав с валовым опробованием на аномальных (по содержанию BeO) участках, обработку материала валовых проб на обогащительных

установках и колонковое бурение по редкой сети для прослеживания оруденения на глубину. Предлагаемая схема методики оценочных работ опробована на флангах Свердловского месторождения и может рассматриваться в качестве наименее затратного рабочего варианта.

Потенциальную ресурсную базу александрита в контурах запасов разведанных изумрудных месторождений авторами предлагается оценивать, исходя из оценки среднего соотношения продуктивностей проб в александритовом и изумрудном сырье, равного 0,1. Конкретно предлагается подсчитать запасы и ресурсы александрита путем пересчета запасов изумруда введением понижающего коэффициента 0,1. К сожалению, это очень простое решение следует считать оптимистичным. На основании приведенных выше особенностей в локализации александритовой и фенакитовой минерализации очевиден вывод о том, что значительная часть недр, потенциально александритоносных, оказывается вне контуров с промышленно значимыми запасами изумрудов. В связи с этим необходимо проведение комплекса работ по оценке этих территорий с целью получения информации для их селективной геометризации по всей совокупности полезных компонентов. Позволим остановиться на некоторых очевидных особенностях этих месторождений, определяющих методологию оценки запасов (и ресурсов) драгоценных камней 1-го класса, к которым относятся изумруд и александрит (Е.Я. Киевленко, 1980)

Особенностью изумрудов и александритов, как полезных компонентов руд, является их высокая стоимость. Цена каждого камня определяется его качеством и весом в готовой продукции. Обработанные изумруды (граненые, ТУ 95.335-88) в зависимости от интенсивности зеленой окраски подразделяются на пять цветовых групп, по степени дефектности — на три категории качества. Фактически по совокупности технических условий ассортимент изумрудной продукции насчитывает 150 наименований (типоразмеров).

К основному показателю качества александритов относится степень изменения окраски или цветового фона, т.е. так называемого александритового эффекта. Количество типоразмеров примерно соответствует изумрудам. Чистота в каждом отдельном случае оценивается в зависимости от вида камня при 10-кратном увеличении или визуальном. Для обеих разновидностей камней очень важным показателем, определяющим их стоимость является качество огранки. Колебания в ценах за единицу готовой продукции в зависимости от группы цветности, категории качества, размера камня достигают нескольких порядков. Следовательно, только дифференцированная оценка расклассифицированной изумрудной продукции может определять промышленную ценность запасов в контурах развития минерализации. На принятие оптимальных решений в плане оценки промышленной значимости месторождений изумруда и александрита ориентирует ст. 337, п. 12 Налогового Кодекса РФ «Добытое полезное ископаемое», где к таковым среди прочих относятся необработанные, отсортированные и классифицированные изумруд и александрит (редакция, действующая с 01.07.2002 г. по настоящее время).

Неравномерный, близкий к гнездовому, тип минерализации затрудняет или делает некорректным использование традиционных геометрических приемов интерполяции и экстраполяции промышленно значимого оруденения в плане и на разрезах, а также интерпретацию результатов опробования. В частности, один из ключевых вопросов — единица измерения основного признака — изумрудности и александритности. Его постановка рассматривается в контексте с геологическими особенностями месторождений изумрудов, а также александритов и теми ограничениями,

которые неизбежны при формировании структурной модели объекта исследований. В первом приближении в качестве таких параметров изумрудности, отвечающих представлениям о фундаментальных измерениях, можно рассматривать продуктивности i -х по размерам слюдитовых жил в сырье и изумрудной продукции, рудоразборном берилле или окиси бериллия на уровне строения жил в слое, равном высоте выработки. Понятие среднего содержания в каком-либо ограниченном объеме жильной массы (например, в объеме валовой пробы), в связи с упомянутым гнездовым типом минерализации, достаточно условно. Эта условность определяется тем, что практически невозможно корректно определить «зону влияния» встреченного «точечного» проявления изумрудной (а тем более александритовой) минерализации. Приведем один из возможных вариантов подсчета запасов изумрудов и окиси бериллия с использованием материалов разведки на примере Малышевского (Мариинского) месторождения.

Малышевское месторождение — самое крупное и изученное в группе объектов уральских Изумрудных копей. Морфологический тип — сложная крутопадающая жильная зона длиной по простиранию до 1 км и шириной до 300 м.

Рудные тела представлены двумя типами: слюдитовыми жилообразными образованиями и кварц-плагиоклазовыми жилами с флюоритом и вкрапленностью сульфидов. Изумрудная минерализация преимущественно связана только со слюдитовыми телами, являющимися по современным представлениям существенно флогопитовыми метасоматическими образованиями типа грейзенов (Ф.Ф. Золотухин, 1967), но сохраняющими отдельные признаки пегматитов (И.И. Курьянова, 2003). Они приурочены, как правило, к зонам разломов в породах основного и ультраосновного состава. Сложены флогопитовой массой с линзами или желваками плагиоклазита в осевой части с оторочками талькового, реже актинолитового (в гипербазитах), актинолитового и хлоритового (в диоритах и амфиболитах) состава. Форма тел сложноветвящаяся жилообразная с раздувами в центральных частях и пережимами на флангах. Их размеры не превышают 30–50 м (редко 100 и более м) по простиранию и падению. Наибольшим распространением пользуются жилы мощностью менее 1 м, которые составляют 70% от их общего количества.

Кварц-плагиоклазовые жилы в отличие от слюдитовых обычно одиночны. Форма их сложная, жилообразная, с частыми раздувами, пережимами и перегибами. Строение зональное: центральная часть сложена кварцем, зальбанды — плагиоклазом и мусковитом. Иногда зональность отсутствует. Длина кварц-плагиоклазовых жил по простиранию измеряется первыми метрами, достигая иногда 30–50 м и более при мощности от 0,01 в пережимах, до 6 м — в раздувах. Подавляющее большинство кварц-плагиоклазовых жил (более 80%) имеет среднюю мощность менее 0,75 м. Их основным полезным компонентом является берилл. Изумрудная минерализация имеет подчиненное значение. В продуктивной толще Малышевского месторождения рудные тела распределены крайне неравномерно. По степени их пространственной концентрации в плане и разрезе выделяются Западная, Центральная и Крестовская жильные свиты, приуроченные к одноименным зонам разломов (Ф.Ф. Золотухин, 1967).

К настоящему времени Малышевское месторождение отработано открытым способом (карьером) до глубины 120 м. Начиная с 70-х годов, очистные работы проводились подземным способом. Высота эксплуатационных блоков 30–45 м. Система отработки — слоями с твердеющей закладкой. Одновременно осуществлялась разведка глубоких горизонтов месторождения, ограниченная к настоящему времени отм. — 120 м. Схема разведки: проходка полевого штрека в лежащем боку зоны, из которого эксплуатационным сече-

нием проходились квершлагаи. По встреченным в пересечениях слюдитовым жилам осуществлялось валовое опробование высечками длиной 2,5 м. Исследованию подвергался весь материал валовых проб. Извлеченное при проборах черновое изумрудное сырье отправлялось на изумрудо-извлекательную фабрику, и только после его очистки, классификации и огранки существовала реальная возможность оценки продуктивности проб и отдельных жил (в пределах слоя, равного высоте выработки) в изумрудном сырье и ограночной продукции. Данные с александритовой минерализацией имеются только по гор. — 120 м. Опробование на бериллий производилось бороздовым методом. В качестве вспомогательного средства разведки использовалось веерное колонковое бурение для прослеживания и оконтуривания жил.

Предваряя дальнейшее изложение, с учетом сложившихся технологических схем очистных и разведочных работ, предложим следующую формализованную структурную схему запасов глубоких горизонтов (ниже почвы карьера) месторождения. Представим его в виде конечного множества U слоев $u \in U$ некоторой высоты:

$$\dot{U} = \{ u_f / f = 1, 2 \dots t \}. \quad (1)$$

Тогда слой $u_f \in U$ будет соответствовать одному очистному или разведочному при средней высоте 2,5 м (оценка по совокупности маркшейдерских замеров).

Далее представим, что каждый слой u_f в контурах развития промышленной минерализации включает множество \dot{A} слюдитовых и кварц-плагиоклазовых жил $\alpha \in \dot{A}$ с произведенными замерами продуктивности q_α , средней мощности m_α , длины по простиранию — l_α и содержанием окиси бериллия ξ_α . Таким образом, множество \dot{A}_f всех жил $\alpha \in \dot{A}$ в f -том слое можно рассматривать как формирующее слоевой запас, а запас нижних горизонтов месторождения — как множество \dot{A} слоевых запасов $\dot{A}_f \in \dot{A}$, т.е.

$$\dot{A} = \bigcup_{f \in t} \dot{A}_f, \quad (2)$$

где U — знак объединения.

Для исследования основных статистических закономерностей была использована «послойная» информация о параметрах слюдитовых жил. Наиболее полно опробованные и отработанные жилы на гор. +90, +60, —30 м в количестве 584 вошли в каталог информационно-поисковой системы (ИПС). Каждой жиле (в пределах 2,5-метрового слоя) был присвоен порядковый номер с указанием параметров: продуктивности в изумрудном сырье и продукции q , длины по простиранию l , средней мощности m . Продуктивности жил в изумрудной продукции, соответствующие их «слоевому запасу», определялись по результатам валового опробования и добычи. Прогноз падения продуктивностей с глубиной установлен интерполяцией на ожидаемое понижение очистных работ. Оптимальный интервал замеров для оценки средних мощностей жил был принят равным пределу корреляции R_m . Его значения для зоны в целом по простиранию 19–20 м, по падению 7–8 м. Расчеты с элементами кластерного анализа показали, что между параметрами слюдитовых жил существует положительная, значимая, но сложная корреляционная зависимость. Это зависимость логарифмов продуктивностей жил в сырье и продукции q с их средними мощностями m и длинами по простиранию l . Тем самым подтверждено общее каноническое правило: наиболее изумрудноносны крупные жилы.

О процедуре подсчета запасов с использованием приемов кластерного анализа исследуемого признакового пространства ИПС из всей совокупности жил выделены i -е по мощ-

ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЙ ЧАРОИТ - ОДИН ИЗ УНИКАЛЬНЕЙШИХ САМОЦВЕТОВ РОССИИ

А.А. Смирнов, Т.В. Соболева



Рис. 2. Сливной природный тип чароита



Рис. 3. Волокнистый природный тип

Рис. 4. Плойчатый природный тип



Рис. 5. Паркетовидный природный тип



ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫЙ ЧАРОИТ - ОДИН ИЗ УНИКАЛЬНЕЙШИХ САМОЦВЕТОВ РОССИИ

А.А. Смирнов, Т.В. Соболева



Рис. 6. Розетковидный природный тип чароита



Рис. 7. Параллельно-шестоватый природный тип

Рис. 8. Очковый природный тип



Рис. 9. Чароит с перламутровым отливом и дихроизмом



ЖАДЕИТОВЫЕ САМОЦВЕТЫ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

И.В. Коваленко, В.С. Коваленко

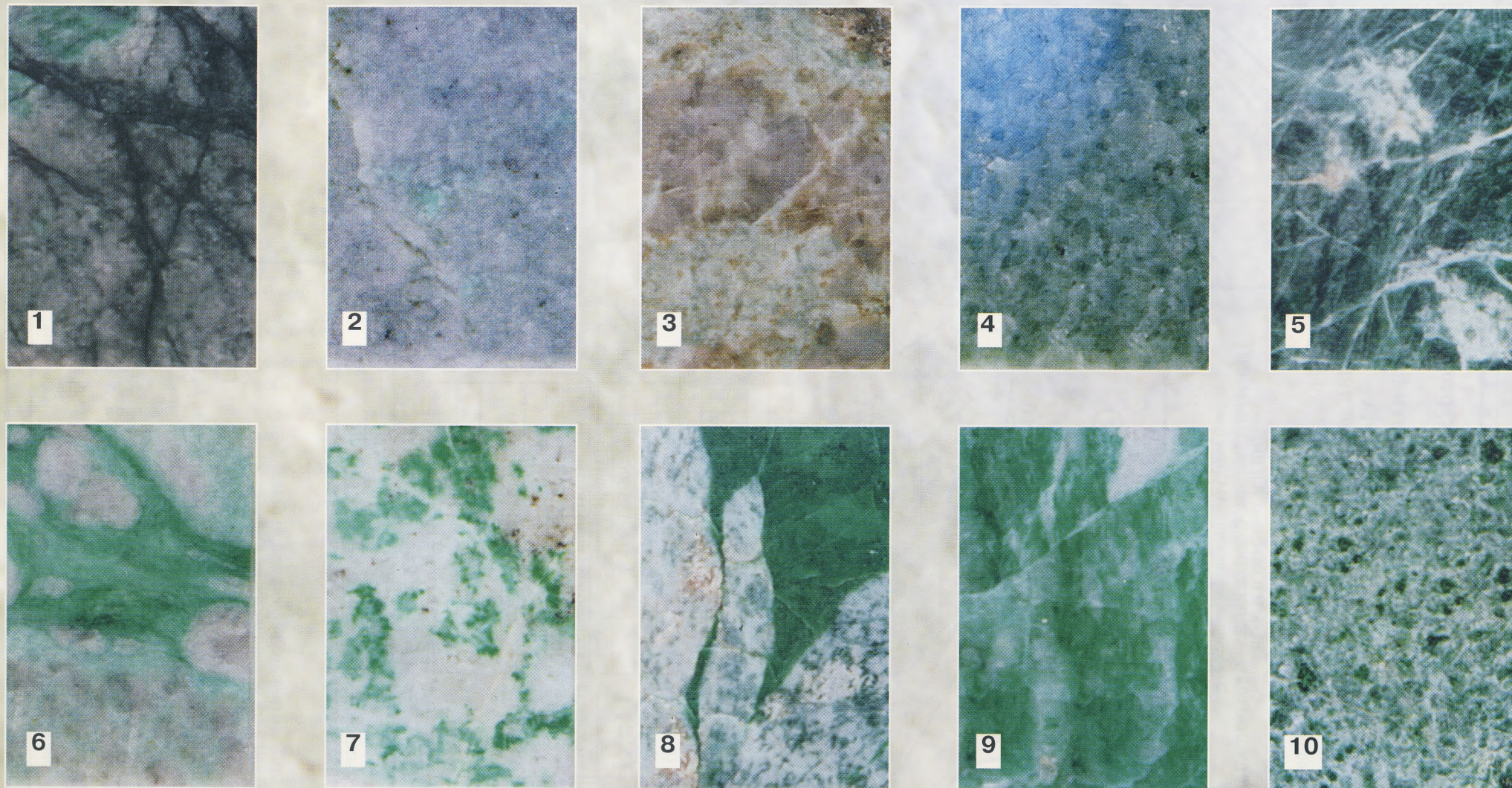


Рис. 8. Природные типы жадеитов месторождения Итмурунды: 1, 2, 3 - мраморовидные; 4 - облачный; 5 - сетчато-брекчиевидный; 6 - брекчиевидно-прожилковый; 7 - рябчиковый (звездчатый); 8, 9 - пейзажный; 10 - мелковкрапленный

Министерство природных ресурсов
Российской Федерации

ВНИИСИМС

СВОДНАЯ РЕСУРСНАЯ КАРТА
ЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Масштаб 1 : 5 000 000 (Фрагмент)

Составители: И.В.Коваленко, Л.Н.Шуляева,
З.А.Багрова, Т.Г.Костелова, И.А.Артемьева
Электронная версия карты: И.С.Тигетова
2000 г.

офикальцит (т)	
1.Б-125097,3	1.А-1973978
26.Б-22849,1	

IX-12

офикальцит (т)	
	1.А-1160

IX-13

Г

оз. Телецкое

IX-11

жадеит (т)	
1.Б-57384,8	1А.-1613
2.Б-2761,1	1.У-95
2а.Б-0,3428	2.У-1220
26.Б-2078,1	2а.А-0,0179
	26.А-30,8
	26.У-646
змеевик (т)	
	1.А-1530000
нефрит (т)	
1.Б-102,5	1.А-138
2.Б-17,3	1.У-162
офикальцит (т)	
	1.А-735
яшма (т)	
	1.А-13100

IX-9

нефрит (т)	
	1.А-189,6

IX

IX-15

лазурит (т)		
1.Б-23843,1	1.А-1038	1-3706
2а.Б-2053,9	2а.А-81,1	2-793

IX-16

амазонит (т)	
	1.А-50
гранат (кг)	
1.А-1620,8	1.А-2424
лазурит (т)	
2а.А-22,8	1.А-278
нефрит (т)	
1.Б-4093,1	1.А-212
2.Б-1112,8	2.А-20
хризолит (т)	
1.А-610,3	1.А-285

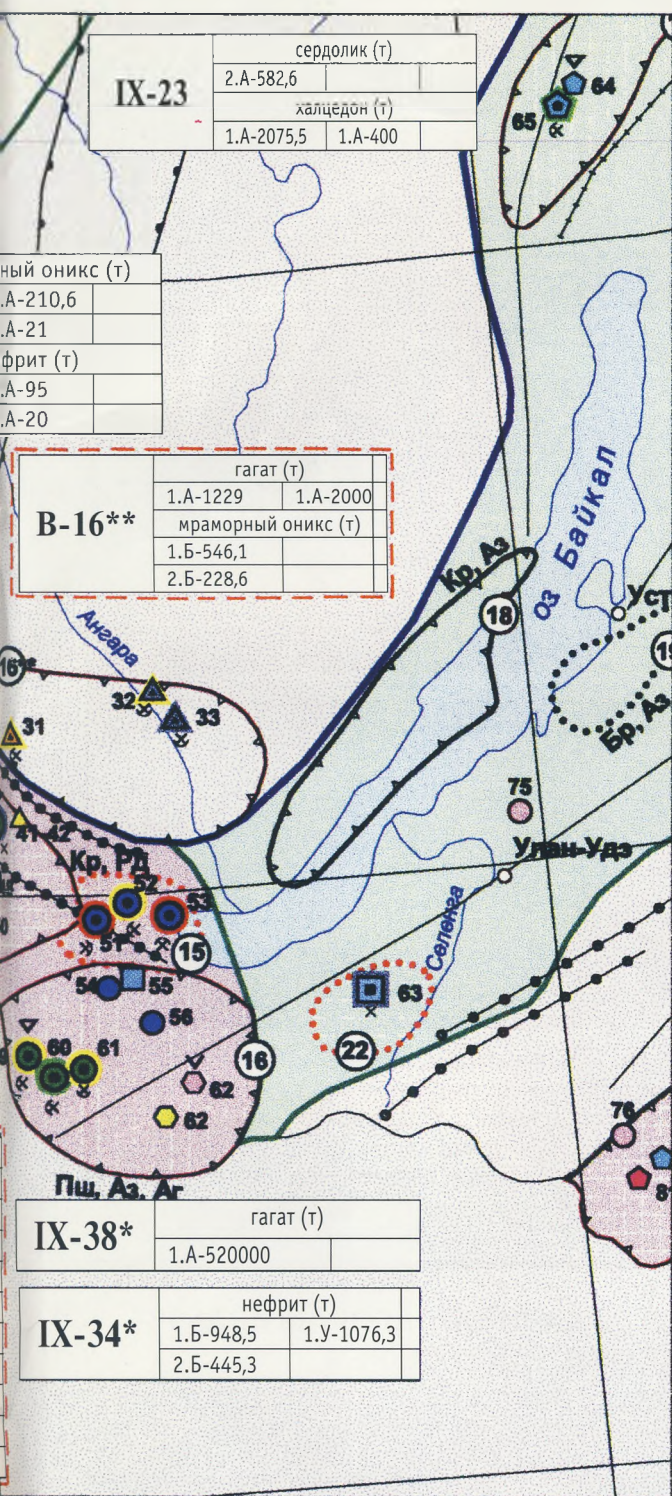
ЦВЕТНЫЕ КАМНИ

аметист	берилл	гранат	демантоид	жадеит	корунд	опал	облагор.	топаз	турмалин	хризолит	хризопраз	хром-	диопсид	агат-	сердолик	амазонит	ир. пол.	шпаты
Ам	Бр	Гр	Дм	Жд	Кр	Оп	Тп	Тр	Хз	Хп	Хд	Аг, Ср	Ам	Пш				
кахолонг	лазурит	малахит	нефрит	родингит	родонит	халцедон	чароит	янтарь	гагат	змеевик	оникс	мраморн.	офи-	кальцит	яшма			
Кл	Лз	Мл	Нф	Рн	Рд	Хл	Чр	Ян	Гг	Зм	Он	Оф	Яш					

Минерагени
Контуры терри
минерализации, и

- а. б. а) контуры мегапровинций
б) их индексы
- а. б. а) контуры провинций и областей
б) их номера
- а. б. Номера камнесамоцветных объектов с оцененными ресурсами: а) месторождений
б) проявлений.
Звездочкой отмечены объекты, находящиеся на границах камнесамоцветных таксонов.

Рис. 2 к ст. И.В. Коваленко «Сводная ресурсная карта ...»



Характеристика ресурсов цветных камней

Масштабность месторождений

- Уникальные
- Средние
- Неранжированные
- Крупные
- Мелкие

Промышленная освоенность месторождений

- Разрабатываемые (эксплуатируемые)
- Подготавливаемые к освоению (предэксплуатационные)
- Разведываемые
- Резервные: а) Государственный резерв (учтены ГБЗ), б) законсервированные (запасы не утверждались ГКЗ)

Формы нахождения полезного ископаемого

- Коренное
- Россыпное
- Смешанное (коренное и россыпное)

Суммарные ресурсы по отдельным минерагеническим таксонам (зонам, площадям, районам, узлам) и объектам вне таксонов

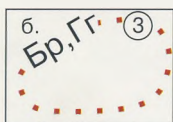
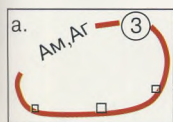
	Полезное ископаемое		
	Запасы (В, С)	Ресурсы Р	Забалансовые запасы
Номер таксона	1. Б,У,А Сырец	1.	
	2. Сортное сырье	2.	1.
	а) ювелирное б) ювелирно-поделочное	а) б)	2. а) б)
3. Коллекционное	3.	3.	

Примечание: 1) Запасы и прогнозные ресурсы: Б - балансовые, У - утвержденные, не числящиеся на балансе (ГБЗ), А - авторские
2) Контур таблицы отображает степень освоенности ресурсов:

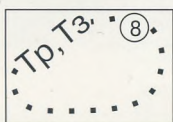
- высокая (территории, содержащие разрабатываемые и подготавливаемые к освоению месторождения)
- средняя (территории, содержащие разведываемые и резервные месторождения)
- низкая (территории, содержащие ресурсы, оцененные на уровне категории Р)

Территориальные характеристики

связи с объектами цветнокаменной промышленности и индексы цветных камней

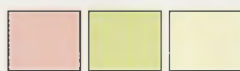


Контурные камнесамоцветных таксонов с оцененными ресурсами и их номера: а) зон, площадей, районов; б) узлов. Буквенные символы указывают на наличие цветных камней, ресурсы которых не оценивались.



Контурные камнесамоцветных таксонов с неоцененными ресурсами и их номера: а) зон, площадей, районов; б) узлов. Двумя звездочками отмечены номера Калининградского и Иркутского районов, расположенных вне провинций.

Удельный вес камнесамоцветных провинций и областей в сырьевой базе России:



- а) высокий
- б) средний
- в) низкий

Степень освоенности камнесамоцветных таксонов (район, площадь, зона, узел):



- а) высокая
- б) средняя
- в) низкая

ЖАДЕИТОВЫЕ САМОЦВЕТЫ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

И.В. Коваленко, В.С. Коваленко

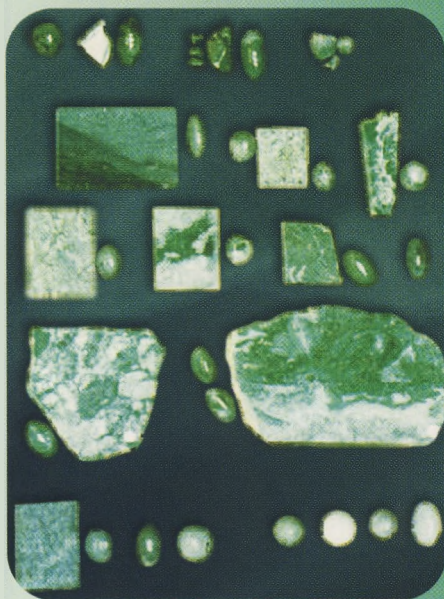


Рис. 5. Жадеититы России и Казахстана: ювелирные (верхний ряд): первая группа кабошонов и образец – Борусское месторождение (Россия); следующие две группы – месторождение Итмурунды (Казахстан); **ювелирно-поделочные** (центральная часть коллекции): первый образец и кабошон – Борусское месторождение, следующие два образца и соответствующие кабошоны – месторождение Пусьерка (Россия); - два образца с кабошонами в третьем ряду – месторождение Левый Кечпель (Россия); остальные образцы и кабошоны месторождение Итмурунды; **поделочные** (нижний ряд, левая часть): первый образец и кабошон – Борусское месторождение, центральный кабошон – Итмурунды, третий кабошон – Левый Кечпель; **несортные** (нижний ряд, правая часть): четыре кабошона: 1 – Борусское; 2 – Пусьерка; 3 и 4 – Итмурунды



Рис. 6. Изделия из разносортного жадеитового сырья

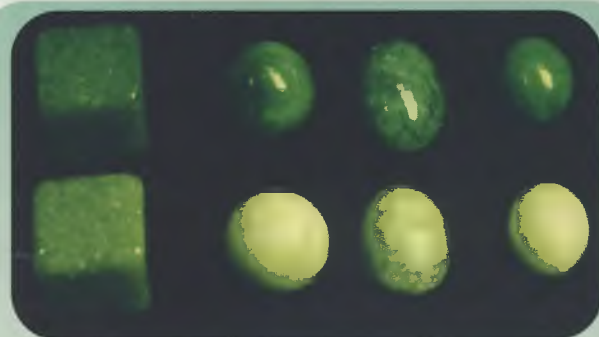


Рис. 7. Облагороженные жадеититы. Нижний ряд рисунка – природные жадеититы, верхний – облагороженные. Жадеититы с месторождений: кубики – Борусское, круглые кабошоны – Левый Кечпель, овальные (справа) – Пусьерка

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННОГО КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ

А.А. Марьин, Г.И. Крылова, С.Н. Ивичева, И.Б. Махина, Е.М. Кожбахтеев, А.А. Реу, О.В. Репина



а



б

Результат изменения колориметрических характеристик чароитита с участка «Подснежник», месторождение «Сиреневый камень»: а — образец некондиционного чароитита; б — облагороженные образцы чароитита

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ЦВЕТНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ КВАРЦА

Т.А. Степанова, Е.Г. Сопелева, Н.Г. Муханова,
Т.В. Мареева, А.А. Марьин, А.В. Шишминов



Рис. 1. Различные виды синтетического кварца и изделия из него

СИНТЕТИЧЕСКИЙ ОПАЛОВИДНЫЙ КВАРЦ

Е.В. Дикк, В.Е. Хаджи, П.П. Шванский

Рис. 1. Синтетические кристаллы опаловидного кварца

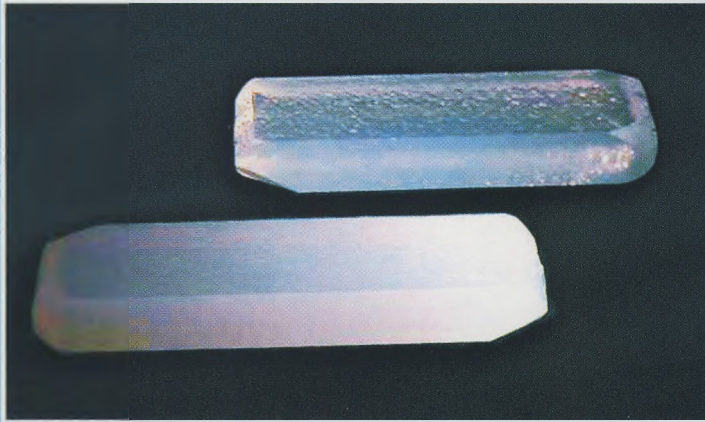


Рис. 2. Украшения из опаловидного кварца

СИНТЕТИЧЕСКАЯ ШПИНЕЛЬ, ЛЕГИРОВАННАЯ КОБАЛЬТОМ, ВЫРАЩЕННАЯ МЕТОДОМ ГНК

О.А. Иванова, С.А. Смирнова,
В.М. Дубовская, Т.Ф. Горева,
А.А. Смирнов



Ювелирная шпинель, выращенная методом ГНК



Ювелирные иттрий-алюминиевые гранаты

ОКРАСКА И КАЧЕСТВО КРИСТАЛЛОВ ИТРИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЦИРКОНИЯ И ТИТАНА

О.А. Иванова, С.А. Смирнова

ности, h -е по длине и j -е по продуктивности классы (8–10 классов). Эффективность качества разбоя оценивалась по критерию $I(q)$. Для формирования модели запасов месторождения (I) использована классическая вероятностная схема учета изменчивости изумрудности. При этом под благоприятным событием рассматривалось появление в k -м классе жилы, несущей полезную (изумрудную или бериллиевую) минерализацию. В качестве обобщенной количественной характеристики пространственной изменчивости концентраций изумрудной и бериллиевой минерализации предложена средняя вероятная продуктивность i -х по мощности жил M_{ik} и среднее вероятное содержание окиси бериллия ξ_{ik}° :

$$M_{ik} = q_{ik} \cdot p_{ik}, \quad (3)$$

$$\xi_{ik}^{\circ} = \xi_{ik}^{-} \cdot p_{ik}, \quad (4)$$

где q_{ik} — продуктивность i -х жил в весовых единицах ограниченной продукции, кабошонов и зелени при k -й средней мощности (центроиды кластеров), ξ_{ik}^{-} — средние содержания окиси бериллия жил с k -й мощностью; $p_{ik} = n_{ijk}/n_{ik}$ — частота встречаемости i -х жил в k -м классе по мощности, содержащих изумрудную продукцию или характеризуемых j -м содержанием окиси бериллия; n_{ijk} — количество жил и проявлений с k -й мощностью, содержащих j -ю изумрудную продукцию или характеризуемых j -м средним содержанием окиси бериллия; n_{ik} — количество k -х по мощности жил в кластере.

По своему смыслу оценки M_{ik} и ξ_{ik}° близки к понятиям математических ожиданий случайных величин: q_{ik} и ξ_{ik}^{-} — события, p_{ik} — вероятности их появления в k -х классах эквивалентности. Для дальнейшего практического использования произведены расчеты и построения графиков M_{ik} и ξ_{ik}° , p_{ik} , используемые в дальнейшем как номограммы.

Методика подсчета запасов как способ, использующий прямую и косвенную информацию о присутствии в слюдитовых и кварцплагиоклазовых жилах изумрудной и бериллиевой минерализации, включает операции оконтуривания блоков, подсчет запасов для слоя, равного высоте разведочной и эксплуатационной выработки, последующую интерполяцию на высоту блока. Принцип оконтуривания запасов формулируется как принцип минимальной промышленной мощности при расчетах характеристик M_{ik} , ξ_{ik}° , p_{ik} . Это мощность слюдитовых жил, при которой в жилах могут содержаться включения черного изумрудного сырья и окиси бериллия, причем из первого возможно получение ограниченной продукции, а второе в пересчете на среднее содержание отвечает значению бортового. Все жилы со средней мощностью менее 0,5 м не представляют промышленного интереса, поскольку их доля в формировании запаса изумрудной продукции и окиси бериллия составляет менее 1%. От 2% и более запасов заключают в себе жилы со средней мощностью 0,75 м (класс 0,5–1 м). В связи с высокой стоимостью получаемой продукции эта мощность принята в качестве «бортовой». Декомпозиция характеристик изумрудности и бериллоносности, т.е. раздельное описание изменчивости двумя составляющими $q = f(m)$ и $p = f(m)$ — позволяют проводить сопоставление продуктивности и изменчивости i -х жил в сырье и продукции по горизонтальным сечениям продуктивной толщи месторождения. Такое сопоставление графиков $q = f(m)$, $p = f(m)$, $\ell = f(m)$, $M = f(m)$, построенных раздельно по результатам опробования гор. +90, +50, очистных работ гор. +60 м, с аналогичными кривыми, построенными по данным опробования гор. –30 м, показывает очень близкие соответствия.

Алгоритм подсчета запасов составлен по следующей схеме.

Оконтуривается блок запасов по минимальной промышленной мощности.

Осуществляется геометризация контуров каждой подсеченной горными выработками и веерами скважин жилы с определением средней мощности m и длины по простиранию ℓ по разведочным горизонтальным сечениям.

Для каждой i -й жилы по уравнениям, аппроксимирующим кривые $M = f(m)$, $\xi = f(m)$, $\ell = f(m)$, определяются средняя вероятная продуктивность в черновом изумрудном сырье и продукции M_i , среднее вероятное содержание окиси бериллия ξ_i , длина по простиранию ℓ_i .

Определяется запас Q' в слое высотой 2,5 м суммированием значений M_i по видам изумрудной продукции:

$$Q' = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^k M_{ik}, \quad (5)$$

определяется запас руды в слое P' :

$$P' = 2.5d \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^k m_{ik} \ell_{ik}, \quad (6)$$

где d — плотность руды.

Определяется запас окиси бериллия Q'' в слое:

$$Q'' = 2.5d \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^k m_{ik} \ell_{ik} \xi_{ik}^{\circ}. \quad (7)$$

Вычисляются площади оснований блока S_i .

Определяется структура среднего слоевого запаса, т.е. количество i -х жил в классах с j -й продуктивностью n_{ik} , как среднее взвешенное на площади опорных сечений блока:

$$n_{ik}^{\circ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^k n_{ik} S_i}{\sum_{j=1}^j S_j}, \quad (8)$$

Снятием с графика $M = f(m)$ или аналитически определяется средняя вероятная продуктивность i -х жил в k -м классе среднего слоя блока M'_{ik} и среднее вероятное содержание окиси бериллия ξ'_{ik} .

Определяется слоевой запас изумрудной продукции Q' и окиси бериллия Q'' :

$$Q' = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k M_{ijk}; \quad Q'' = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k P'_{ik} \cdot \xi_{ijk}; \quad (9)$$

где P'_{ik} — запас руды i -х жил в k -м классе.

Определяются запасы руды $P_{6л}$, изумрудной продукции $Q'_{6л}$ и окиси бериллия $Q''_{6л}$ в блоке:

$$P_{6л} = \sum_{k=1}^k P' \cdot t; \quad Q'_{6л} = Q' \cdot t; \quad Q''_{6л} = Q'' \cdot t; \quad (10)$$

где t — количество слоев в блоке высотой H ($t = \frac{H}{2.5}$).

Вычисляются средние содержания изумрудной продукции ξ'' и окиси бериллия ξ''' в блоке (итоговые оценки):

$$\xi'' = \frac{Q''_{6л}}{P_{6л}}. \quad (11)$$

Для доказательства корректности процедуры ПЗ проведено моделирование процесса разведки на планах сечений четырех очистных блоков: 40, 42, 44, 46, гор. +60 м. Размеры блоков: 40(80–60)×30 м (12 слоев). Имитировался преимущественно скважинный (веерный) способ разведки при расстояниях между выработками 10 и 40 м. По вариантам наложения на план сети скважин контуры «подсеченных» жил интерполировались и определялись их размеры: средняя мощность m_i и длина по простиранию ℓ_i . Значения продук-

тивностей i -жил и их средние вероятные продуктивности определялись аналитически. Процедура ПЗ соответствовала приведенной выше. Погрешность ПЗ по вариантам моделирования оценивалась в сравнении с данными полного погашения запасов в четырех блоках, приведенных к одному слою. Для 10-метрового интервала она составила для всех видов продукции первые проценты (не более 10), для 40-метрового — 21–24%.

В заключение подчеркнем, что оценка запасов изумрудов, равно как и оценки изумрудоносности слюдитовых жил, в единицах конечной продукции (граненые камни) характеризует существовавший уровень технологии добычи и переработки изумрудного сырья. Это прежде всего взрывной способ отбойки руды, ее обогащение с возможными элементами субъективизма в разборке сырья и т. д. Технологические потери были значительны. Статистику этих потерь при добыче установить достаточно сложно. Относительно оценки потерь изумрудного сырья в процессе огранки считалось, что примерно 2/3 его (по массе) терялось при гранении. На протяжении примерно двух десятилетий усилиями сотрудников Малышевского рудоуправления и научно-исследовательских организаций проводились исследования по совершенствованию технологии добычи сырья и обработки камней. Разработаны новые ГОСТы на изумрудную продукцию, включая коллекционный материал, закуплены, установлены и апробированы автоматизированные линии по обработке камня. Существует реальная возможность внесения существенных корректив в оценки изумрудоносности глубоких горизонтов, а также комплексной переоценки ресурсной базы объектов Уральской изумрудоносной полосы включением в этот комплекс александрита и фенакита. Задача сложная, но выполнимая. Ожидаемая стоимость ресурсной базы, по нашим оценкам, возрастет на 20–25%.

© Коллектив авторов, 2004

С.Н. Ивичева, Г.И. Крылова, А.А. Марьин, А.В. Турашева

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО РЫНКА КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ

Мировой рынок драгоценных и разнообразных цветных камней ювелирно-поделочного назначения весьма масштабен. Об этом можно судить по тому, что денежные обороты на нем сопоставимы со средствами, затрачиваемыми на весь военно-промышленный потенциал. Российский же рынок камнесамоцветного сырья выглядит гораздо скромнее (Дронова Н.А. и др., 1998); [2, 3, 4, 8], несмотря на то, что в последнее десятилетие и на нем проявилось явное оживление. В плане его будущего укрепления особенно важно иметь реальные сведения о тенденциях конъюнктуры цен, состояния запасов и качества отечественного ассортимента цветнокаменного материала. Анализ соответствующих показателей постоянно проводится разными инстанциями [4, 9, 10]. В данной статье целесообразно сосредоточить внимание на наиболее популярных на современном рынке видах цветных камней, с учетом реальных запасов их в недрах отечественных месторождений и проявлений. Сведения о количестве камнесамоцветного сырья в обобщенном виде имеются в Государственном балансе запасов*, периодически коррек-

* Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ. Цветные камни, 1998.

тируемом в связи с реальной ситуацией. Данные по характеристикам качества получены в процессе многочисленных научно-исследовательских работ (НИР) института и из литературных источников.

Термины «камнесамоцветное» или «цветно-каменное» сырье применяются как синонимы, когда речь идет вообще о цветных природных образованиях (исключая алмазы или бриллианты), используемых в ювелирной промышленности или декоративно-художественных промыслах (Дронова Н.А. и др., 1998; Киевленко Е.Я., 1999; Пуголова Л.С., 1991 и др.). Более конкретная их классификация учитывает профиль предназначения сырья (Государственный баланс запасов; Киевленко Е.Я., 1999). В ракурс наших исследований взяты группы драгоценных ювелирных камней I–IV порядка (сапфир, рубин, изумруд, демантоид, александрит, благородный опал, топаз, хризолит, хромдиопсид, турмалин, аметист), ювелирно-поделочное сырье I–II порядка (жадеит, нефрит, чароит, дианит, родонит, агат) и поделочный камень — яшма.

Анализ конъюнктуры рынка цветных камней (КРЦК) предусматривает не только оценку состояния ценовой политики, но прогнозирование и поиск условий рентабельного развития ювелирной промышленности России. Многогранность понятия КРЦК складывается из общей ситуации на мировом рынке в условиях постоянно меняющихся объемов спроса и предложения. Кроме очевидных соотношений качества и цен на цветные камни, следует учитывать еще многие разноплановые факторы и критерии. В целом КРЦК складывается из следующих показателей:

природные качества камня: цвет, прозрачность, игра, дефектность, размеры и др. (Дронова Н.А. и др., 1998, Пуголова Л.С., 1991), обуславливающие уникальность или сопоставимость соответствующих показателей по отношению к эталонным;

художественные достоинства на фоне тенденций моды, в т.ч. дизайн, современность, традиционность или античность камня;

временные условия, свидетельствующие о своевременности выхода камня на мировую арену, наличие конкурентной среды;

географическая привязка стран-поставщиков, где размещаются месторождения и рынки сбыта, особенности типоморфизма сырья;

социально-политические аспекты, отражающие социальную обстановку как в мире, так и в отдельных странах, их место в мировой иерархии, тенденции экономического спада или подъема, определяющие параметры спроса и т.д.;

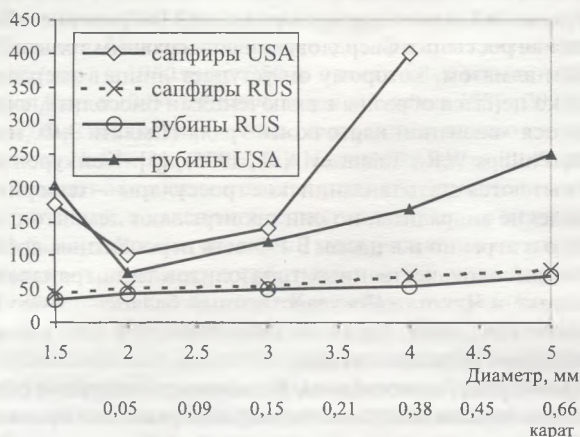
уровень технологических разработок по улучшению эстетических свойств с применением модифицирования или облагораживания, перспективы распространения на рынках облагороженного или синтетического материала, т.е. востребованность соответствующих заменителей;

экономические факторы, зависящие от себестоимости и объемов добычи, переработки, огранки, способов облагораживания и т.п.

Можно добавить, что для РФ важным условием становится также пропаганда культуры природных самоцветов.

Анализ тенденций формирования внутреннего и внешнего рынков показывает их глубокое различие. Данные разнообразных обзоров, прайс-листов на драгоценные камни и сопроводительных материалов (каталогов) к выставкам-продажам свидетельствует, что наш отечественный ювелирный рынок практически насыщен или близок к тому. Это объясняется тем, что только 5–7 % населения РФ позволяет себе приобретение ювелирных украшений [4]. Напротив, зарубежные рынки развиваются достаточно динамично, и основными потребителями рынков сбыта являются США,

Цена за карат,
\$ USA



Цены на сапфиры и рубины коммерческого качества на российском и американском рынках (по материалам В.С. Чернавцева [8])

Германия и Япония. Если ориентироваться на рост общего благосостояния населения, то прогнозируемый ежегодный рост продаж не превысит у нас первых процентов, тогда как, например, в США, Японии, Франции, Англии и др. он увеличивается на 10–12 % в год [9, 10]. Там в последнее время особенно вырос спрос на ювелирные камни I порядка, в частности на сапфировые корунды всех окрасок (синих, падпараджа, желтых, звездчатых, розовых, зеленых, фиолетовых). Сыграло роль и то, что открыто ряд новых источников корундового сырья. Особенно остро ощущено возросли поставки сапфиров (менее — рубинов) среднего и низкого — «коммерческого» качества — массой менее карата в огранке или в виде мелких кабошонов. Цены на них — минимальные: на отечественном рынке около 50 дол./кар., в США — порядка 350 дол./кар. Разница ценовых уровней на рынках РФ и США иллюстрируется на рисунке, что относится в основном к корундам из Таиланда, Австралии, Вьетнама.

На российском рынке по данным 2000 г. на группу рубин+сапфир+изумруд, включая бриллианты, приходилось до 25 % общей массы ювелирного сырья. На группу демантоид+аквамарин+топаз+аметист — всего около 4–5 %. Большие масштабы поставок цветных камней из иностранных источников привели к тому, что российские производители могут выдерживать конкуренцию лишь по некоторым видам камней, ориентируясь на рейтинг самых популярных самоцветов мирового рынка (табл. 1).

Перспективными могут оказаться также применение специфических фантазийных огранок, использование крупных

Таблица 1

2000	2001	2002
Синий сапфир	Синий сапфир	Синий сапфир
Рубин	Жемчуг	Рубин
Изумруд	Танзанит	Изумруд
Аметист	Рубин	Танзанит
Танзанит	Изумруд	Аметист
Турмалин	Аметист	Родолит
Гранат	Зеленый турмалин	Жемчуг
Разноцветные сапфиры	Родолит	Опал
Жемчуг	Фантазийные сапфиры и розовый турмалин	Перидот
Голубой топаз	Голубой топаз	Голубой топаз

Примечание. Данные журнала Colored Stone, 2003 (January/February).

Таблица 2

Провинция	Виды цветных камней
Урал	Александрит, изумруд, демантоид, берилл, топаз, родонит
Юг Респ. Саха	Хромдиопсид, чароит, дианит
Саяны	Нефрит
Витим	Нефрит
Полярный Урал	Жадеит ювелирный
Байкал	Лазурит
Восточная Сибирь	Жадеит

Примечание. Жирным шрифтом выделены камни уникального качества (ЮО, № 2 1999)

(более 10 карат) камней и изготовление изделий высокого качества. Судя по данным табл. 1, приоритетная роль принадлежит дорогим самоцветам, именуемым «большой тройкой»: синему сапфиру, изумруду и рубину. Исключение составляет рейтинг 2001 г., когда жемчуг и танзанит вышли на второе и третье места. Это, по всей видимости, объясняется модными тенденциями — преобладанием белых, перламутровых и синих цветов в ведущих модных коллекциях мировых дизайнеров, а также сходством танзанита по своим цветовым характеристикам с синим сапфиром. Последнее позволяет танзаниту оставаться в лидерах продаж и в настоящем времени. Можно считать, что главными цветовыми предпочтениями мира самоцветов еще надолго останутся синие, красно-розовые и зеленые оттенки. Интерес к зеленым камням вызван тем, что зеленый считается цветом бессмертия и самой природы, цветом мироздания и жизни, цветом успокоения и гармонии. Именно зеленые камни призваны нести мир и стабилизацию. Отсюда неслучайно появление в лидирующей десятке (9-е место) перидота — оливина ювелирного качества — хризолита. Другие камни, такие как зеленые гранаты, включая демантоиды, также могут занять лидирующие позиции в ближайшем десятилетии.

Основными поставщиками цветных камней высшего качества на мировой рынок, по данным коммерческого ювелирного салона в Тусоне, признаны Бразилия (александрит, изумруд, аквамарин, турмалин, топаз, аметист и др.), Мьянма (рубин, сапфир), Кения (танзанит), Замбия и Зимбабве (изумруд, аквамарин), Австралия (опал, сапфир), США (сапфир, опал, берилл), Канада (гроссуляр), Россия (демантиод, топаз, хромдиопсид и ювелирно-поделочные камни, из которых выделяется чароит — обязательный атрибут всех международных выставок, затем дианит, представившийся как «синий нефрит» — новинка камнесамоцветного мира, последний открытый цветной камень XX в.). Основные виды российского сырья указаны в табл. 2.

Далее дадим краткую характеристику ведущих на мировом рынке видов цветных камней, акцентируя возможности и конкурентоспособность российских месторождений.

Ювелирные (драгоценные) камни I порядка.

Сапфир синий. Динамика цен указывает на постоянный и самый существенный (в 2,6 раза) рост цен для камней всех категорий синего сапфира [2, 3, 8, 10]. Особенно модным сапфир был в 80–90 годах и только в 1998 г. уступал 1 место по объемам продаж рубину. Остается он мировым лидером и сейчас. Беспрецедентное количество высококачественных голубых 2-каратных сапфиров добывается сейчас на Мадагаскаре, что может, по мнению экспертов, вызвать и снижение цен, хотя в настоящее время они стабильны и более того, в 1,5 раза выше, чем на изумруды коммерческого качества. Но общий прогноз показывает тенденцию к увеличению цен на 1–2-каратные камни (Мьянма) высшего качества с 2400 до 4000 дол./кар. в перспективе; тогда как на сапфиры ком-

мерческого качества — соответственно — от 600 до 650 дол/кар. в огранке.

Рубин. Благодаря многолетним поступлениям высококачественного сырья из Мьянмы, был и остается на мировом рынке наиболее приоритетным и наиболее выгодным капиталовложением. Отмечается стабильный рост цен на ограненные рубины. Специалисты считают, что особенным спросом будут пользоваться 3-каратные рубины (Мьянма), которые становятся большой редкостью [3, 8]; (Hag I.G., 1994).

Лучшие рубины российских месторождений (Вербаный Лог, Корнилов Лог, Положиха — на Среднем Урале), в основном коммерческого качества. Цены на них на зарубежных рынках, упали с 300 до 250 дол/кар. Это связано с избытком экземпляров коммерческих сортов по размерности, но лучшего качества или обработки (огранки) рубинов из других источников. Кроме уральских, есть некоторые, но малоизученные перспективы у рубиновых проявлений Приморья, Тывы и Карело-Кольской провинции, Приполярного и Южного Урала. Однако большей частью сырье там коллекционного значения или для использования на кабошоны (Крылова Г.И. и др., 1985).

Выход на мировой рынок российских корундов коммерческого качества преждевременен, так как отмечается явная перенасыщенность его зарубежным сырьем. Исключения могут быть только для отдельных кристаллов корундов как исключительно коллекционного и музейного материала, и за счет их значительных размеров и каких-то уникальных характеристик.

Изумруд на протяжении 40 лет имел наиболее устойчивые цены 25–30 тыс. дол/кар. для ограненных камней высшего качества (массой до 10 кар.), и резкое снижение стоимости всех остальных категорий. Из-за заметного понижения цен сейчас — лучшее время для покупки изумрудов. Однако в связи с появлением на мировом рынке новых высококачественных разновидностей, постепенно начинает расти спрос и, соответственно, цены. Поскольку начаты разработки на новых месторождениях в Бразилии и Зимбабве, где изумруды с голубым отливом, и найдены новые залежи в Колумбии и на Мадагаскаре (Johnson By Mary L. et. al, 1999), то все это стимулирует поступление сырья 1–2-каратных камней высшего качества с ценами в пределах 1500 до 1700 дол/кар. Цены на изумруды коммерческого качества остаются порядка 55 дол/кар.

В России до 1993 г. было единственное предприятие, поставляющее высококачественный изумруд на мировой рынок — Малышевский рудник на Среднем Урале. Объемы поставок составляли 10 % мировой добычи и 80 % в ценовом выражении (250–400 млн. долл. в год). После остановки работ в 1995 г. изумруды оттуда практически не поступали. Но в 1998 г. в прессе появлялись сообщения о переоформлении лицензии на Российско-ирландское СП «Зелен-Камень», в 2001 г. были получены сведения о подготовительных добычных работах, однако надежных данных о возобновлении работ в настоящее время нет. Отдельные поставки имеют место лишь по частным лицензиям.

Ювелирные (драгоценные) камни II порядка.

Демантоид. Этот великолепный камень российского происхождения, признанный «царь семейства гранатов». Его можно относить к лидерам на мировом рынке, где демантоиды всегда пользовались спросом. В большой моде они были во Франции в конце XIX в. Модные тенденции диктуют ему лидирующие позиции и сейчас. Коммерческие цены на мелкие ограненные камни составляют порядка 250–300 дол/кар., понижаясь в зависимости от качества (при снижении групп цветности) до 150–80 дол/кар. На уникальные камни цены рассчитываются индивидуально и бывают очень высоки. По данным Professional jeweler (February 2003) прогнозиру-

ется рост цены на 0,5–1-каратные демантоиды высшего качества до 800–850 дол/кар.

Уральский демантоид месторождений Бобровское и Полдневская россыпь в Свердловской обл. сравним только с зеленым алмазом, которому он уступает лишь в твердости. Высоко ценятся образцы с включениями биссолита, считающегося «визитной карточкой» Урала (Емлин Э.Ф. и др., 2000; Phillips W.R., Talantsev A.S., 1996); [5]. Конкурентами ему пытаются стать танзанийские гроссуляры — цавориты и малийские андрадиты, но они проигрывают демантоиду не только в игре, но и в цвете. В РФ есть перспективы добычи менее высококачественных топазоцитов типа гранатов на Камчатке и Чукотке (Государственный баланс..., 1998; Киевленко Е.Я., 1999; Крылова Г.И., 1985); [5], для которых необходимо облагораживание.

Хризоберилл (александрит). В данное время лучшие образцы хризоберилла поступают на мировой рынок из Бразилии. Высококачественная огранка котируется на уровне 300–650 дол/кар., но на низкосортные камни цены в последние 30 лет понизилась с 50 до 2 дол/кар. (для желтовато-зеленых разновидностей).

Ранее уральские александриты имели мировую славу. Они попутно добывались совместно с изумрудами на ныне законсервированном Малышевском месторождении. Единичные поставки на российском рынке сейчас можно встретить лишь от частных поставщиков, добывающих камни полукустарным способом, чаще — из элювиально-делювиальных или техногенных развалов. Будущее отечественного сырья неясно.

Ювелирные (драгоценные) камни III порядка.

Белый и огненный опал. Пик цены на кабошоны австралийского белого опала приходился на начало 80-х годов, максимально до 1450 дол/кар., из мексиканского огненного опала — в течение 1974–1980 гг. — всего 250 дол/кар. По данным 1987–1992 гг. максимальные цены составляли соответственно 400 и 250, а в настоящее время упали до 220 и 80 дол/кар.

В России единственное разведываемое месторождение опалов Радужное (Приморский край). Однако качество сырья далеко от ювелирного опала Австралийских месторождений. Данных о маркетинговых исследованиях дальневосточного опала пока нет.

Топаз. Большие объемы продаж благородных топазов приходились на период с 1960 по 1980 г. Цены достигали от 100 дол/кар. в 1960 г. Реальность более высоких цен весьма сомнительна, в т.ч. и таких сведений, что цена на розовый топаз в огранке на мировых рынках достигала 150 дол/кар. Винные империял-топазы изумительной красоты поступают из Бразилии. Голубые же топазы находятся в десятке самых продаваемых камней. В России голубые и винные топазы рядовой огранки оцениваются в среднем 4–5 дол/кар., у бесцветных цена даже ниже — 4 дол/кар. [10]. Напомним о сообщении, что было представительство российской огранки топазов на выставке в Тусоне 1999 г., и что от уровня огранки цены существенно варьируют.

В балансовых запасах камнесамоцветного сырья России месторождений благородного топаза нет (Государственный баланс..., 1998). Он лишь локально отмечается в составе попутных компонентов некоторых пегматитов.

Ювелирные (драгоценные) камни IV порядка.

Берилл золотистый. На мировых ярмарках этот камень не дефицитный. Максимальные цены на золотистый берилл остаются на уровне 20–50 дол/кар. Особенно низка стоимость у огранки на рынках Украины — 6–12 дол/кар. [4, 9, 10 и др.].

В России известны два месторождения берилла: Шерловогородское в Читинской области (практически отработанное) и Супруновское в Иркутской области (резервное мелкое), где кристаллы ювелирного качества редки. Россия мо-

жет продавать только мелкие шерловогородские бериллы по цене около 1 дол./кар. Подобное сырье бывает из уральских пегматитов.

Хризолит. Максимальные цены на хризолит менялись от 40 дол./кар. в 1960 г. до 350 в начале 80-х годов и 200–100 дол./кар. в 1995–1998 гг. Сведения о ценах 1999–2000 гг. в 12 дол./кар. касаются российской огранки среднего качества (Дронова Н.А. и др., 1998); [6]. На рынке в настоящее время преобладают афганские и пакистанские хризолиты ценой по 12–15 дол./кар., а наиболее высокого качества — до 60 дол./кар.

На балансе России числится 2 месторождения ювелирного оливина — хризолита: разрабатываемое Токское в Амурской обл. и резервное Кугдинское в Красноярском крае (Киевленко Е.Я., 1999; Государственный баланс..., 1998); [6]. Ювелирного качественного хризолита на Кугдинском месторождении лишь 1,01%. На Токском месторождении добыча официально не велась. Прогнозные ресурсы по стране ювелирного кристаллосырья 1,8% от общей массы перидота (оливина). Многочисленные проявления расположены в Сибири: Оленекско-Анабарской, Алдано-Становой, Енисейско-Алтае-Саянской, Монголо-Охотской и Дальневосточной провинциях (Государственный баланс..., 1998); [6]. Они требуют дополнительного изучения как в плане запасов и особенностей качества сырья, так и возможностей его облагораживания.

Хромдиопсид, появившийся в начале 70-х годов, был представлен как исключительно российский самоцвет. Он пользуется постоянным спросом на ювелирном рынке по цене 2–80 дол./кар. в зависимости от качества огранки. В России цены на него колеблются в пределах 12–35 дол./кар. Промышленные запасы ювелирного хромдиопсида связаны с Инаглинским месторождением (Юг Респ. Саха) (Киевленко Е.Я., 1999; Государственный баланс..., 1998; Корчагин А.М., 1973; Кузьмина Е.В. и др., 1999). Известно (Буканов В.В., 1998; Киевленко Е.Я., 1999; Корчагин А.М., 1973; Кузьмина Е.В. и др., 1999), что геологические особенности строения вмещающих пород и наложения вторичных генетических процессов способствовали густому растрескиванию хромдиопсида. В связи с этим размеры бездефектных участков обычно составляют лишь первые миллиметры, редко достигая 2–3 см, что существенно сказывается на качестве сырья. Но все же, хромдиопсид — очень перспективное российское ювелирное сырье для мирового рынка самоцветов, и ждет своего времени. Для него очень важна реклама, показывающая уникальность «сибирского изумруда» — симберлита.

Турмалин. Турмалины российского происхождения поступают на рынок в основном из Забайкалья (Государственный баланс..., 1998; Киевленко Е.Я., 1999); [4]. Они относятся к рубеллитам разной насыщенности розово-малинового колера, используемых, большей частью, как кабошонный материал. Разновидности других окрасок редки. Небольшие запасы подсчитаны всего на одном месторождении (Государственный баланс..., 1998). Цены на турмалины варьируют в пределах 15–175 дол./кар. Особых перспектив на мировом рынке у нашего сырья нет, так как велико количество разнообразного сырья из Бразилии и Мадагаскарской Республики.

Аметист. Аметисты из Бразилии замечательного качества оценивались до 90–150 дол./кар. (Тусон, 1998). В России же диапазон цен на темно-фиолетовый аметист всего 5–30, светлых — 1–6 дол./кар. На рынках РФ представлены в основном наилучшие бразильские камни, которые идут по цене 5–15 дол./кар. Отечественных аметистов ограночного качества на мировых рынках практически нет, представлено много дешевого кабошонного сырья и голтовки из Таджикистана.

В России есть ряд своих объектов с аметистами (Уральские — Ватиха и Хасаварка, проявления в Пайхойско-Уральской, Тунгусской, Монголо-Охотской и Дальневосточной

провинциях), однако они все законсервированы (Государственный баланс..., 1998). И в будущем их можно рассматривать лишь в масштабе собственного внутреннего рынка.

Ювелирно-поделочные камни I порядка.

Жадеит благородный (империал). Многолетний поставщик империала — Мьянма. Максимальные цены менялись в дол./кар.: от 400 в 1960 г. до 670 в 1975–1978 гг., достигая 2700 в 1980–1984 гг. и 500 в 1987–1992 гг. Отрывочные сведения последних лет (Тусон, 1998) показывают снижение цен до 85 дол./кар. Последнее свидетельствует об общем ухудшении качества поставляемого камня на мировой рынок, чему обязано и понижение ранга империала в классификации: переход из камней ювелирного класса II порядка до ювелирно-поделочного класса I порядка.

Жадеит — сорт «коммерциал». Его пик цены (средней) на мировых рынках приходился тоже на середину 80-х годов с последующим падением ее до 150–50 дол./кг в 1995–1998 гг. Для низких сортов «утилити» цены колеблются от 40–44 до 8 дол./кг.

В России имеются месторождения с ювелирным жадеитом, расположенные в Бейском районе Хакасии (Борусское) и резервное — в Тюменской области (Пусьерка). Есть еще 12 проявлений — на Приполярном Урале, в Корякско-Камчатской и Северо-Кавказской провинциях, в Шушенском районе Красноярского края и др. (Государственный баланс..., 1998; Киевленко Е.Я., 1999). Сырье многих из них требует облагораживания, но положительным моментом следует считать, что методы его уже разработаны во ВНИИСИМСе. Это благоприятно для разработки новых объектов.

Нефрит. Ежегодная мировая добыча составляет 1000 т/год, половину камня потребляет Тайвань. Цены на нефрит стабильны: рядовой 4–5, ювелирный 50–70 дол./кг. Голубая редкая разновидность оценивается в 200–300 дол./кг за небольшую полированную пластину (ЮО, № 2, 1999).

В мире, кроме России, известно более 20 месторождений. Высшие сорта на международный рынок представляют Новая Зеландия, Канада, Россия и Австралия. Из отечественных лучшим признан саянский нефрит, очень популярный в мире, так как известен около 100 лет. Всего в РФ — в Республике Бурятия и Красноярском крае открыто 22 месторождения, и 13 из них уже стоят на балансе (Государственный баланс..., 1998). В ряде организаций, и наиболее успешно в ИГ СО РАН, изучены ряд способов облагораживания нефритов, что, безусловно, послужит положительным аргументом для оценки рентабельности освоения отечественных источников. В целом, учитывая рост масштабов продукции камнерезно-сувенирного производства, нефрит следует относить к перспективным для экспорта цветным камням РФ.

Чароит — обязательный атрибут всех мировых выставок. Это исключительно российский камень с хорошо раскрученной рекламой, поэтому и пользуется постоянным спросом на мировом рынке. Цены с 1977 г. (момента открытия единственного в мире месторождения «Сиреневый камень» в Мурунском массиве, Восточная Сибирь) стабильны: 35–80 дол./кг на ювелирные сорта и 5–20 дол./кг — на рядовое сырье, но могли бы быть значительно выше, учитывая уникальность камня. Грамотный маркетинг и регулирование поставок и объема продаж могли бы повысить его ценовой диапазон, и возвести в ранг лидера для элитного эксклюзивного сувенирного производства. Важно, что есть надежные способы его облагораживания, разработанные во ВНИИСИМСе.

Дианит — новинка среди камней-самоцветов, восьмая и последняя по счету в XX столетии. Впервые добыча дианита проведена в 1995 г. Первоначальное торговое название его — «синий нефрит». Он стал еще одним после чароита подарком Мурунского массива, пока не имеющим аналогов.

Камень пригоден для камнерезной промышленности, небольшая часть — для ювелирной. Бархатистый глубокий синий и голубой цвет этого поделочного камня обещают устойчивый спрос. Ориентировочные цены близки к ценам на жадеит. Уникальность и новизна дианита также может сыграть решающую роль при умелом развитии экспортных поставок.

Ювелирно-поделочные камни II порядка.

В этой группе цветных камней цены наиболее стабильны и мало подвержены колебаниям как на внутреннем, так и внешнем рынке ювелирно-поделочного сырья. Учитывая значительную распространенность, они интересны также и для осуществления архитектурных и дизайнерских проектов.

Родонит. Лучшие образцы родонита сейчас поставляются на мировой рынок из Австралии и Мадагаскара. Славится ими и Урал за счет сорта «орлец» Мало-Седелниковского месторождения. Цены на высокосортные родониты остаются в диапазоне 9–15 дол/кг, а рядовое сырье стоит 1–5 дол/кг.

Балансом РФ (Государственный баланс..., 1998) учтены запасы на 8 объектах (4 — в Свердловской обл., по 2 — в Хабаровском и Приморском краях). На период 1998 г. добыча на них не велась или в связи с ликвидацией предприятия, или из-за нерентабельности освоения запасов. Иногда поступает на российский рынок родонит не выше среднего качества из Бородулинского месторождения (Урал), коммерческие перспективы которого есть основания связывать с предварительным облагораживанием.

Агат характеризуется устойчивым уровнем цен: 5–10(20) дол/кг на ювелирное и 0,5–3 дол/кг — рядовое сырье. Основные продуценты агата — Германия, Бразилия, Индия, Мексика. Причем на рынках распространено много обогащенного сырья разных оттенков.

В России Госбалансом учтено 9 месторождений, но только одно из них промышленно разрабатывалось (Монеронское, Сахалинская обл.), где содержится сортовой агат высокого качества. Но в настоящее время добычные работы там свернуты. Другие месторождения с запасами (около 95 % сортового камня от суммы общих запасов) размещаются на Тимане, Урале и Дальнем Востоке.

Поделочные камни.

Яшма. Пользующаяся заслуженной славой в течение десятилетий в России. Но даже отличная пейзажная яшма Горы Полковник, к сожалению, не нашла должного внимания за рубежом, так как высококачественным камнем также располагают США, Япония, Индия и Чехия, обеспечившие хорошую рекламу. Цены на наши яшмы весьма низки: 2–3 дол/кг. Рядовая однотонная разновидность стоит 10–50 центов за кг.

Балансом РФ учитывается 11 месторождений яшмы, 2 из которых сосредоточивают 73 % запасов, в т.ч. лишь 3 % — на упомянутом объекте «Гора Полковник» (Оренбургская обл.) с сырьем высшего и I сорта. При наличии спроса они могли бы обеспечить работу рудника на 12 лет. Крупное месторождение в Алтайском крае — Ревневское разрабатывается Колывановским камнерезным заводом. Подготавливается к освоению месторождение Хацавита (Краснодарский край) (Государственный баланс..., 1998). Потенциал их добычи может полностью обеспечить внутренний рынок, с перспективой выхода на внешние.

На основании приведенного краткого обзора рынка цветных камней ясно, что для РФ достаточно остро стоят вопросы интегрирования нашей страны в мировой рынок цветных камней. В этой связи важно интенсифицировать работы по системному изучению комплекса проблем, контролирующей конъюнктуру рынка. Необходимо облагораживание или модифицирование природного сырья. Доля такового на международных рынках значительна, и особенно это касается ювелирных камней первого порядка и ювелирно-поделочного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емлин Э.Ф., Кропанцев С.Ю. Демантоид из семейства благородных андрадитов / В сб.: Минералогические музеи в 21 в.: Матер. Междунар. симп. — СПб., 2000. — С. 44–47.
2. Зверев П.В. Российский рынок рубинов и сапфиров // Вестник геммологии. — 2002. — № 2 (5). — С. 59.
3. Зезин Р.Б. Обзор рынка рубинов и сапфиров // Там же. — С. 57–58.
4. Мельников Е.П. Самоцветы на «Ювелир-2000» // Вестник геммологии. — 2001. — № 1. — С. 16–19.
5. Поляков В.Л. Уральские демантоиды: Соотношения известных и новых данных // Уральский геол. ж. — 1999. — № 5(11). — С. 103–127.
6. Соколов С.В., Ярмишко С.А., Федоров А.В. Ювелирный хризолит с новыми типами включений // Вестник геммологии. — 2002. — № 3 (6). — С. 49–54.
7. Чернавцев В.С. Критерии и параметры уникальности самоцветов / В сб.: Минералогические музеи. — СПб., 2002. — С. 348–349.
8. Чернавцев В.С. Обзор рынка рубинов и сапфиров // Вестник геммологии. — 2002. — № 2 (5). — С. 57–8.
9. A cut above SUC Trading Bangkok Co. Ltd. / A Lapidary, 2002.
10. Jewellery News Asia (Asia's Leading news magazine for the Jewellery Business. Gem Trade and wath industry). CMP. — 2002. — № 217.

© Е.А. Ляшенко, Д.В. Лисицын, 2004

Е.А. Ляшенко (МПР РФ), Д.В. Лисицын
(Музей «Самоцветы»)

КОЛЛЕКЦИОННЫЕ КАМНИ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ПОЛЕЗНОЕ ИСКОПАЕМОЕ

Вторая половина XX в. характеризовалась бурным ростом интереса человека к коллекционированию, в т.ч. и декоративных минеральных образований. Минералы и минеральные агрегаты перестали быть только рудой, техническим или строительным камнем, но все в большей степени становятся одним из показателей роста благосостояния людей и их эстетических потребностей в силу того, что представляют собой законченные природные произведения искусства. Свообразие коллекционных минералов заключается в их многообразии — практически все минералы при определенных условиях могут считаться коллекционными.

Коллекционный материал включает в себя образцы минералов, руд, горных пород, и образований органического происхождения, представляющих научный или учебно-познавательный интерес, а также имеющих высокую декоративно-эстетическую ценность. Учебные и научные коллекции пользуются постоянным спросом, источником материала для них служат практически все месторождения, и затруднений с их сбором и формированием не возникает. Поэтому речь о них далее вестись не будет.

Декоративный коллекционный материал используется в качестве ценных музейных экспонатов, сувениров, для украшения интерьеров и является, в силу своей внешней привлекательности, предметом массового индивидуального коллекционирования. К декоративному минеральному материалу относятся хорошо образованные отдельные кристаллы и эффектные минеральные агрегаты (друзы, щетки, жеды, конкреции и т.д.), обладающие естественной красотой и не требующие существенной механической обработки. Это именно те камни, красота которых приносит людям неосознанную радость, пленяет и не позволяет равнодушно пройти мимо эффектных образцов, будь то на природе или в музее.

Коллекционные камни наряду с цветными камнями занимают важное место в экономике некоторых государств (Танзания, Китай, Пакистан, Бразилия, Колумбия и др.), в т.ч. развитых. Свидетельством тому являются регулярные

международные выставки-ярмарки минералов и цветных камней, проводимые в США, ФРГ и Италии. По неофициальным данным объемы торговли коллекционными камнями на них растут и достигают сотен миллионов долларов, а городской бюджет получает от этого вида деятельности десятки миллионов. Редкая встречаемость, весьма ограниченные запасы, большие затраты на поиски и разведку месторождений, повышенный риск при ручной добыче и устойчивый рост спроса на мировом рынке определяют в целом высокую стоимость коллекционных камней. На крупнейшем в мире минералогическом Туссон-шоу (США) великолепные штуфы, друзы и отдельные кристаллы различных минералов продаются по ценам от 1500 до 45 000 долл. за образец. Но особую позицию в ценовом отношении занимают уникальные минералогические образцы, например, друзы с гигантскими (длинной до 50 см) прозрачными кристаллами полихромного турмалина, аквамарина и топаза с месторождений Бразилии. На ярмарках они обычно не выставляются, а покупаются состоятельными коллекционерами непосредственно на местах у владельцев шахт и рудников. Цены на этот материал достигают 1–1,5 млн. долл. Среди весьма состоятельных бизнесменов коллекционирование минералов считается престижным интеллектуальным хобби и выгодным бизнесом.

Источником добычи коллекционного материала могут служить месторождения цветных камней, металлических и неметаллических полезных ископаемых, а также объекты собственно коллекционного камня. Следует иметь в виду, что зачастую попутное извлечение коллекционных камней на комплексных месторождениях может значительно повысить рентабельность их отработки.

На месторождениях цветных камней коллекционным материалом являются непригодные для огранки, но хорошо образованные кристаллы и друзы, а также уникальные по размерам и совершенству форм кондиционные кристаллы, поскольку в качестве музейных образцов они оцениваются значительно дороже, чем заключенное в них ювелирное сырье. Таким образом, коллекционный материал на месторождениях этой группы играет роль попутного компонента. В случае если сырье в целом имеет низкое качество и не пригодно для использования по основному назначению, но пользуется высоким спросом в качестве коллекционного материала, оно может являться предметом самостоятельной добычи.

На месторождениях металлических и неметаллических полезных ископаемых хорошо образованные кристаллы, друзы и жемчуг встречаются в ограниченных объемах и, хотя имеют более высокую стоимость (на единицу массы или объема руды), чем основные компоненты, по общей стоимости им уступают и потому практически всегда считаются второстепенной продукцией горнодобывающих предприятий.

Следует отметить, что ценность запасов декоративного коллекционного камня определяется в основном выходом материала высокого качества. Наличие на месторождении даже большого количества низкосортного, невостребованного материала не играет существенной роли в общей ценности объекта. В связи с этим рентабельность добычи коллекционного камня должна определяться не возможными объемами годовой добычи, а экономической целесообразностью, поэтому поставки материала большими партиями, особенно на внешний рынок, могут привести к его обесцениванию, как это и произошло с российскими камнями в начале 90-х годов.

Систематическое изучение ресурсов декоративного коллекционного камня в нашей стране началось в 70-х годах прошлого века и привело к выявлению и оценке ряда новых месторождений собственно коллекционных минералов (Синереченское месторождение андрадита в Приморье, Тамват-

нейское месторождение демантоида на Чукотке, месторождения астрофиллита, кианита и рамзаита на Кольском п-ове, Мерекское месторождение касситерита на Дальнем Востоке). Многие образцы украшают витрины российских и зарубежных музеев и частных коллекций. Объемы реализации коллекционных минералов на внутреннем и внешнем рынках в 80-х годах достигали 500 тыс. руб. в год.

В последние годы российские образцы представлены на ярмарках преимущественно тремя регионами: Дальний Восток, Урал и Кольский п-ов. С Дальнего Востока наибольшее количество минералогического материала поступает с месторождений Дальнегорского рудного узла. Это друзы кристаллов различных сульфидов: пирротина, галенита, сфалерита, кристаллы датолита, ильваита, разнообразные по морфологии и цветовой гамме кварцы, флюориты и кальциты. Интересны также кристаллы касситерита, шеелита и аметисты с Северо-Востока. Из сибирских образцов наибольшей популярностью пользуются чароит, хромдиопсид, исландский шпат, анальцит, апатит, сперрилит, вилуит. Коллекционный материал Приполярного Урала: кристаллы и друзы аксинита, анатаз, брукит, гематитовые «розы», кварц с различными включениями. Средний Урал представлен в основном образцами Сарановского (уваровит, титанит, миллерит) и Малышевского (изумруд, фенакит, хризоберилл) месторождений. С Южного Урала наибольшей популярностью у коллекционеров пользуются кристаллы пирохлора и циркона с Вишневых гор, а также знаменитый синий корунд из района г. Миасс. Особенно разнообразен коллекционный материал с Кольского п-ова. Это уникальные кристаллы ковдорскита, бобьеррита из Ковдорского массива; эффектные двойники ставролита, крупные кристаллы альмандин и кристаллы амазонита с Кейв; кристаллы эвдиалита, натролита, «солнца» астрофиллита, ярко-красные выделения виллиомита с Хибинского массива; кристаллы циркона и лоренценита с Ловозерского массива и многие другие эндемичные минералы.

Анализ материалов показывает — сводного по России перечня месторождений, в которых установлено наличие коллекционных камней, на сегодняшний день не существует. Это актуально еще и в связи с тем, что вследствие прекращения в течение последнего десятилетия работ на многих месторождениях цветных камней, металлических и неметаллических полезных ископаемых, горные выработки на них были засыпаны либо затоплены, а значит доступ к оставшемуся в недрах коллекционному сырью стал невозможным. Часть месторождений безвозвратно утеряна вследствие официально неучтенных разработок (без лицензий) или варварски организованных работ, направленных на отработку самых богатых жил или их отдельных гнезд.

Учитывая вышеизложенное, становится очевидным, что назрела необходимость проведения инвентаризации месторождений с коллекционным сырьем. Коллекционные камни должны рассматриваться как новый специфический вид полезного ископаемого, подлежащего выявлению, оценке, организованной добыче и охране в недрах. Представляется целесообразным начать широкую рекламно-пропагандистскую кампанию в средствах массовой информации как по расширению у населения кругозора относительно их разнообразия и свойств, так и по показу реальных и потенциальных возможностей отечественной сырьевой базы самоцветов с целью привлечения широкого круга предпринимателей и инвесторов к поискам и освоению месторождений коллекционных минералов.

Основные виды коллекционных камней, поставляемых из отдельных регионов России на мировой рынок:

Северо-Запад — альмандин, амазонит, аметист, апатит, астрофилит, бобьеррит, виллиомит, кианит, ковдорскит, корунд, лопарит, лоренценит, магнетит, мурманит, натролит,

пирит, рамзаит, ставролит, сфен, уссингит, циркон, чкаловит, эвдиалит, юкспорит, янтарь;

Урал — аксинит, Александрит, аметист, берилл, гроссуляр, демантоид, изумруд, ильменит, кварц (хрусталь, дымчатый, морион, цитрин, скрученный, скипетровидный, с включениями, с «фантомами»), корунд, крокоит, малахит, перовскит, пирит, пироксид, ортоклаз, родонит, топаз, турмалин, уваровит, фенацит, циркон, шпинель, эвклаз, эпидот;

Сибирь — аквамарин, аксинит, аметист, анальцит, апатит, апофиллит, аурипигмент, берилл, везувиан (вилуит), вольфрамит, галенит, гейландит, гроссуляр, данбуриит, диопсид, исландский шпат, кварц, киноварь, корунд, лазурит, медь самородная, пироксид, пирротин, пренит, скаполит, сперрилит, топаз, турмалин, флюорит, хризолит, хромдиопсид, циркон, чароит;

Дальний Восток — аксинит, аметист, андрадит, галенит, данбуриит, датолит, ильваит, кальцит, касситерит, сфалерит, флюорит, халькопирит, шеелит.

© Коллектив авторов, 2004

Т.А. Степанова, Е.Г. Сопелева, Н.Г. Муханова, Т.В. Мареева, А.А. Марьин, А.В. Шишминов

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ЦВЕТНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ КВАРЦА

Замечательные качества природных драгоценных камней — прозрачность, яркий блеск, высокая твердость и особенно их разнообразная неповторимая окраска — с древних времен привлекали внимание естествоиспытателей, видевших в них, как писал Плиний, величие творений природы, воплощенное в малых размерах. Роль драгоценного и цветного камня в жизни человеческого общества огромна, а история камня тесно переплетается с общей историей науки и искусства.

Начавшееся в эпоху Возрождения и продолжавшееся до середины XIX в. интенсивное изучение физических свойств и морфологии минералов существенного изменения в представлении о природе окраски не внесло: наука о цвете природного вещества продолжала оставаться чисто описательной. Используя успехи в исследовании окраски искусственных химических соединений, позволившие выделить определенные элементы таблицы Менделеева, вызывающие ту или иную окраску, удалось с научной точки зрения понять природу окраски минерального мира.

Кристаллы кварца и его окрашенные разновидности — цитрин, аметист, раухтопаз, морион, аметрин, синий, зеленый и др. — составляют обширную группу ограночных камней, среди которых драгоценными являются аметист и цитрин, а остальные разновидности обычно относятся к категории ювелирно-поделочных камней и находят применение в гранильном и ювелирном деле.

В настоящее время самым опытно-экспериментальным заводом ВНИИСИМС занимает ведущее место на мировом рынке цветных кристаллов синтетического кварца, выпуская не только все известные в природе разновидности окрашенного кварца, но также и «чисто синтетические» голубые, зеленые и опаловидные кристаллы. Методы выращивания всей палитры цветных кварцевых кристаллов, за исключением розового и аметрина, были разработаны ВНИИСИМС в период 1957—1974 гг. [2]. За последнее время удалось усовершенствовать технологии выращивания окрашенных разновидностей кварца, добившись глубины окраски, отсутствия трещиноватости, расширить палитру цветовой гаммы (рис. 1, 7 стр. вкл.).

В синтетическом кварце встречаются два типа центров окраски, различающиеся по способу их образования. К первому типу относятся центры окраски, связанные с точечными дефектами и «проявляемыми» в кристалле воздействием ионизирующего облучения. Этот тип окраски характерен также и для природного кварца. Ко второму типу относятся центры, связанные преимущественно с ионами-хромофорами, которые захватываются растущими кристаллами совместно с неструктурной примесью. Такие кристаллы являются первично окрашенными, т.е. приобретают окраску непосредственно в процессе роста. В природных условиях кварц с центрами окраски, образованными ионами-хромофорами, попадающими в кристаллическую решетку в качестве примесей внедрения, встречается чрезвычайно редко [7].

Впервые кристаллы кварца зеленого и коричневого (бурого) цвета были выращены в 1958 г. А.А. Штернбергом и Л.И. Цинобером из раствора карбоната калия. В исследовании полученных кристаллов принимала участие старейший научный сотрудник института кристаллографии АН СССР Л.Г. Ченцова [1]. Авторы методики считали, что центры окраски связаны с двух- (зеленый цвет) и трехвалентным (бурый цвет) ионами железа, которые поступали в гидротермальный раствор из-за коррозии стенок внутренней полости автоклава. Было также установлено, что в гидротермальных растворах, содержащих ионы калия, присутствуют одновременно двух- и трехвалентные ионы железа, которые образуют соответственно центры зеленой и бурой окраски. В результате селективной адсорбции разновалентных ионов железа вырастали секториально- и зонально-полихромные кристаллы. Концентрация железа в интенсивно окрашенных пирамидах роста составляла 0,01—0,1 %, в то время как неокрашенные кристаллы, выращенные в растворах карбоната натрия, содержали 0,003—0,007 % железа. Примерно такое же количество железа было выявлено в неокрашенных секторах роста граней основных ромбоэдров во всех кристаллах, выращенных из растворов карбоната калия. Но после ионизирующего облучения пластинок X-среза, вырезанных из этих образцов, Л.И. Цинобер обнаружил в пирамидах роста ромбоэдров фиолетовую окраску. Таким образом, из растворов карбоната калия уже в 1959 г. во ВНИИСИМС были синтезированы кристаллы кварца с центрами аметистовой окраски [5]. Велись работы по определению оптимальной рецептуры растворителя для выращивания зеленого кварца. В смешанных калий-натриевых карбонатных растворах синтез монокристалла зеленого кварца необходимо вести при температуре не более 315 °С. Кристаллы с интенсивной зеленой окраской обычно выращивают со скоростью роста 0,6—0,7 мм/сут. по оси Z. Более высокие скорости нежелательны, так как чрезмерное увеличение пересыщения вызывает интенсивное зародышеобразование в камере роста автоклава и появление Тиндаль-эффекта в кристаллах.

Если следовать хронологической последовательности при синтезе новых разновидностей окрашенного кварца, то на втором месте окажется серия опытов по выращиванию голубых и синих кристаллов, проведенная в 1958 г. Синтезу голубого кварца способствовали три фактора: высокое пересыщение раствора (и соответственно скорость роста кристаллов) в режиме синтеза затравочного кристаллоосырья, использование затравок Z-ориентации, а также достаточно высокая растворимость смальтина (Co_3As_2) в гидротермальном растворе карбоната натрия, что обеспечивало поступление ионов кобальта в кристаллизационную среду и включение их в <Z>-сектора растущих кристаллов. Данные кристаллы были получены при выращивании затравочного сырья, где в шихтовой контейнер был добавлен смальтин. Цикл проводился при участии В.Е. Хаджи. В процессе выполнения серии лаборатор-

ных экспериментов по синтезу кварца в растворах карбоната натрия и калия с добавками оксидных соединений кобальта были выращены кристаллы темно-синего и зеленовато-желтого цвета, которые после нагревания до температуры 600–650 °С теряли прозрачность и приобретали голубовато-белую окраску [3]; (Балакирев В.Г. и др., 1970).

На основании результатов спектрального анализа и характера распределения неструктурной примеси и окраски в синих кристаллах кварца был сделан вывод, что ион-хромофор Co^{2+} адсорбируется в гидротермальном растворе коллоидально-дисперсными силикатными комплексами и вместе с ними захватывается во время роста. Большой вклад в разработку технологии выращивания синего кварца, отработки параметров синтеза был сделан технологами завода К.А. Зуевой и Ю.А. Беляковой.

Синий кварц до настоящего времени пользуется стабильным спросом на мировом рынке камнесамоцветного сырья. В США, например, голубой кристаллический кварц получил название «Русский лед». В последнее время проводились исследования процесса гидротермального синтеза синего кварца с добавкой алюминия, при этом содержание элементов кобальта составляло $(0,1-0,2) \cdot 10^{-3}$ г/л, алюминия — $(3-6) \cdot 10^{-3}$ г/л. Варьирование содержанием соединений Co^{2+} и Al^{3+} (иногда алюминием металлическим) позволило регулировать получаемые оттенки (Balitsky V.S., 1980). Были исследованы колориметрические характеристики цвета полученных образцов кварца синей окраски в зависимости от длительности γ -облучения. При сравнении цветовых координат исследуемых образцов с данными таблицы видно, что точки располагаются вблизи координат цветности соответствующих густо-синему (Ильменские горы, Урал) и синему (Кольский п-ов) корундам [7]. Облучение образцов длительностью более 1 ч, как видно из таблицы, отдаляет образцы от сапфировой окраски. Воздействие γ -облучения практически не влияет на значения цветового тона, но снижает значения светлоты, что связано с активизацией центров дымчатой окраски, отдаляя образцы от «сапфировой» окраски. Это подтверждается и расположением точек исследуемых образцов на диаграмме цветности (рис. 2)

Таким образом, совместное присутствие добавок соединений алюминия и кобальта в синтезируемом кварце приближает его окраску к сапфировой, что доказывает возможность расширения цветовой гаммы кварца и достижения заданных оттенков окраски в процессе гидротермального синтеза при одновременном присутствии нескольких ионов-хромофоров.

Подтверждением может служить и получение сине-зеленого кварца, выращиваемого из калиево-натриевых карбонатных растворов в присутствии примесей железа и оксида кобальта (Цинобер Л.И., Ченцова Л.Г., 1959).

К первично окрашенной разновидности синтетического кварца следует отнести кристаллы цитрина, цвет которых может изменяться от золотисто-желтых до красновато-коричневых (цвет «Мадера») тонов в зависимости от концентрации трехвалентных ионов железа, которые вместе с неструктурной примесью концентрируются преимущественно в <Z> секторах роста. В отличие от природного цитрина с радиационными центрами окраски, синтетический после

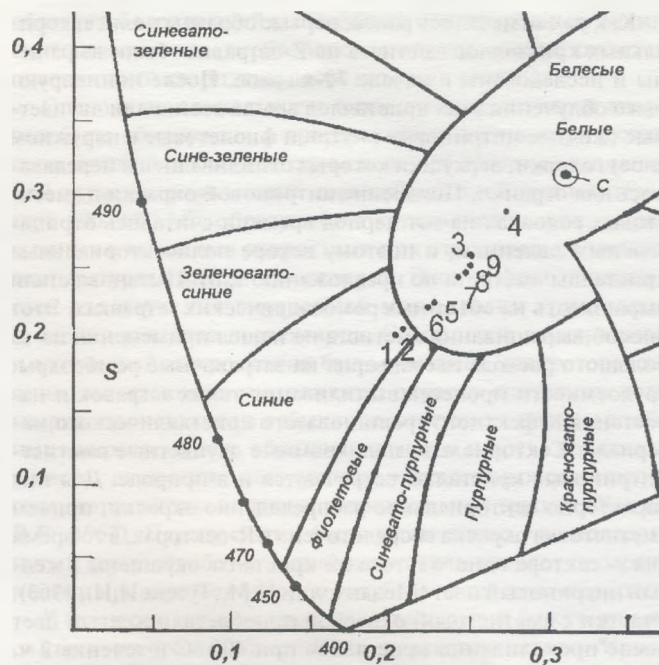


Рис. 2. Положение точек цветности разноокрашенных кристаллов кварца на цветовой диаграмме: 1 — густо окрашенный синий (Бирма); 2 — густо-синий (Ильменские горы, Урал); 3 — синий (Кольский п-ов); 4 — голубой (Ильменские горы, Урал); 5–9 — образцы кварца в соответствии с таблицей

прокаливания при температуре 500–600 °С полностью теряет прозрачность и приобретает молочно-белый цвет. Впервые такие кристаллы цитрина были синтезированы в 24-литровом автоклаве из раствора карбоната калия с добавкой азотнокислого лития в 1970 г. Существует три типа цитриновой окраски [6]. Первая разновидность связана с примесью ионов железа в кварце. Такие цитрины могут быть получены из кристаллов с аметистовой окраской путем отжига при температуре 450–500 °С. Их свойства были изучены еще в 1969 г. Самойловичем М.И., Цинобером Л.И. Вторая разновидность цитриновой окраски, преимущественно зеленовато-желтого оттенка имеет радиационное происхождение и аналогична дымчатой окраске, т.е. образуется при воздействии ионизирующей радиации и обесцвечивается при нагревании. Третий тип окраски связан с «дефектными» тетраэдрами, в которых ионы алюминия замещают ионы кремния, а в качестве компенсатора поблизости располагаются ионы Li^+ и H^+ . В последнее время для получения густоокрашенного цитрина при более высоких скоростях роста (1–1,5 мм/сут.) было увеличено количество гематита в среднем на 50 %, а азотнокислого марганца на 30 %. Данная работа была проведена совместно отделом экспериментальной минералогии с технологами цеха гидротермального синтеза кварца.

Во ВНИИСИМС разработана промышленная технология получения раухтопаза и цитрина из темно-дымчатого непрозрачного кварца-мориона. При этом сущность процесса сводится к следующему: непрозрачный кварц-морион характеризуется высокой концентрацией алюминиевых центров, замещающих кремний в кремнекислородных тетраэдрах, а также водородных и щелочных ионов, компенсирующих избыточный отрицательный заряд. При дифференциальном отжиге мориона в интервале температур 230–320 °С проявляются потенциально скрытые в нем центры цитриновой и дымчатой окраски: литиево-водородно-алюминиевые — в первом случае и натриево-алюминиевые — во втором. Часть мориона в процессе отжига (примерно 15 %) превращается в цитрин, остальной морион осветляется до дымчатого раухтопаза [2].

t (час) γ -обл.	X	Y	λ_D , нм	L, %
Контр.	0,2307	0,2294	481	66
30 мин.	0,2291	0,2296	481	59
1 час	0,2392	0,2428	482	59
2 час	0,2295	0,2432	482	59
Ильм. горы	0,2295	0,2305	473	
Кольск. п-ов	0,1995	0,1999	473	

Как уже отмечалось ранее, первые образцы полисекториальных кристаллов аметиста на Z-затравках были выращены и исследованы в начале 70-х годов. После ионизирующего облучения этих кристаллов всегда возникали двуцветные (желтые цитриновые внутри и фиолетовые в наружном слое) головки, верхушки которых отпиливались и передавались для огранки. Появление цитриновой окраски в аметистовых головках на тот период времени считалось отрицательным явлением, и поэтому вскоре полисекториальные кристаллы аметиста по предложению Е.М. Цыганова стали выращивать на объемных ромбоэдрических затравках. Этот способ выращивания аметиста не нашел применения из-за большого расхода пьезокварца на затравочные ромбоэдры, трудоемкости процесса выпиливания таких затравок и нарастания дефектного трещиноватого кристаллического материала. Секториально полихромные двуцветные аметист-цитриновые кристаллы встречаются и в природе. Для них характерно секториальное распределение окраски, причем аметистовая окраска сосредоточена в R-секторах, в то время как g- сектора одного и того же кристалла окрашены в желтый цитриновый цвет (Меланхолин Н.М., Гусева И.Н., 1963). Участки с аметистовой окраской приобретали желтый цвет после прокаливании кристаллов при 400 °С в течение 2 ч. В последнее время полихромный аметист-цитриновый кварц Бразильских месторождений стали использовать в производстве ювелирных украшений под названием аметрин.

В настоящее время на основе научных и практических результатов производство аметрина в коммерческих целях в автоклавах промышленных объемов стало вполне доступно (Цинобер Л.И. и др., 1959). Двуцветная аметист-цитриновая окраска свидетельствует о возможности получения в искусственных условиях, по крайней мере, двух принципиально различных типов синтетического аметрина. Первый из них — это кристаллы, аметистовая и цитриновая окраска которых формируется синхронно, но в различных секторах роста. Второй тип синтетического аметрина — это кристаллы, выращенные на ромбоэдрических затравках при скоростях роста, близких к критическим, при которых захватываются одновременно аметист- и цитринообразующая примеси.

При промышленном производстве синтетического аметрина выращивают, как правило, кристаллы первого типа. В качестве затравок используют тонкие кварцевые пластинки различных форм и размеров (чаще всего вытянутые вдоль оси X), параллельные базисному пинакоиду или наклоненные к нему под углом 15–30°.

Практически одновременно с получением первых образцов синтетического аметрина были выращены зонально полихромные (с цитриновой внутренней и зеленой наружной областями) двуцветные Z-кристаллы, которые после ионизирующего облучения становились трехцветными. Было установлено, что появление зеленой окраски взамен желтой цитриновой происходило в тех случаях, когда в раствор вводилось малое количество добавки азотнокислого марганца или лития. Ранее Ю.А. Беляковой была предложена эмпирическая формула, позволяющая определять количество минерализатора для получения цитринового слоя заданной толщины.

Во ВНИИСИМС разработана технология выращивания синтетического аметиста, предусматривающая его синтез из водных растворов карбоната калия на затравочных пластинках, ориентированных параллельно граням основных ромбоэдров. Процесс проводится с добавками оксида железа — гематита, а также для создания определенного уровня pH — азотнокислого марганца и для улучшения качества окраски — азотнокислого лития. Проводимые еще в 60-е годы в отделе экспериментальной минералогии ВНИИСИМС работы по выяснению геохимических условий образования аметиста с

широким привлечением экспериментальных методов, позволили показать, что определяющим фактором для его образования является не температура, а окислительно-восстановительный потенциал (Платонов А.Н. и др., 1984), что и было учтено в дальнейшей работе.

Цветной кварц, производимый во ВНИИСИМС широко известен в мировых центрах огранки и пользуется стабильным спросом. Потребители ограночного сырья заинтересованы в получении всех видов цветного кварца, но строго определенной плотности окраски (светлого, темного или среднего) в зависимости от существующей в данный момент потребности рынка. К сожалению, до последнего времени, технология синтеза цветного кварца, применяемая во ВНИИСИМС, не всегда обеспечивала получение продукции с заранее заданными характеристиками. Кроме того, из-за возрастающей конкуренции со стороны китайских производителей цветного кварца постоянно встает вопрос о снижении себестоимости производимого цветного кварца улучшенного качества (без трещин, включений). На решение этих проблем направлены усилия технологов цеха гидротермального синтеза. Постоянно анализируя практические данные циклов по выращиванию цветного сырья, выявляя основные закономерности, за последние годы были предложены и реализованы ряд идей, способствующих улучшению качества продукции. Для получения монохромных густоокрашенных кристаллов цитрина температура кристаллизации была снижена до 310 °С.

Основными дефектами при выращивании аметистов и цитрина были трещины. Был разработан график плавного вывода из режима, предложена экранировка контейнеров с затравками в верхней и нижней его части, что позволило снизить риск образования трещин.

До недавнего времени при выращивании аметиста засыпалась ранее использованная шихта, с которой вносились дополнительные примеси, вызывая появление ростовых двойников. При ее замене на синтетическую удалось избежать этого дефекта, при этом также было предложено использование синтетической шихты, предварительно перекристаллизованной из жильного кварца в растворе карбоната калия с добавками растворимых соединений железа, лития, марганца в соответствующих концентрациях. Были получены кристаллы марки «Экстра» с интенсивностью окраски $D \geq 1,8$ бел. (Лушников В.Г., Хаджи В.Е., 1961). Одним из направлений получения крупных кристаллов аметиста, требуемых заказчиком, является выращивание их на крупных затравочных пластинках, выращенных последовательно в двух циклах, при этом были подобраны условия практически 100-процентного срачивания выросших слоев предыдущего цикла с последующим без ухудшения качества.

На повышение качества получаемых цветных разновидностей кристаллов кварца направлены и разработки по вводу автоклава в ростовой режим, нагрев и гидротермальное травление затравочных пластин при завышенной температуре с последующим ее снижением с определенной скоростью до температуры кристаллизации с одновременным увеличением температурного перепада [4].

Таким образом, постоянное совершенствование технологий выращивания цветных разновидностей кварца, плодотворное сотрудничество научного и промышленных подразделений позволяет расширить гамму получаемых оттенков цветного кварца с учетом последних требований рынка в данном виде сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. SU 1699169 А1 С 30 В 7/10, 29/18. Способ получения синтетического аметиста / П.Ф. Булавин, К.А. Зуева, Ю.Н. Колобов и др. — Заявл. 18.11.88.
2. Балицкий В.С., Махина И.Б., Марьин А.А., Дороговин Б.А. Выращивание и структурно-морфологические характеристики двуокра-

- шенного аметист-цитринового кварца / Матер. 2 Уральского кристаллографического совещ. — Сыктывкар, 1998. — С. 86–87.
3. Патент SU 1834922 АЗ С 30 В 7/10, 29/18. Способ получения окрашенных кристаллов кварца / П.Ф. Булавин, Н.И. Залетаева, Ю.Н. Колобов и др. — Заявл. 11.10.91. Оpubл. 15.08.93.
4. Патент RU 2178019 С1 7 С 30 В 7/10, 29/18. Способ получения окрашенных кристаллов кварца / Т.А. Степанова, Е.Г. Сопелева, Т.В. Мареева и др. — Заявл. 24.04.2000. Оpubл. 10.01.2002.
5. Патент RU 2209859 С1 7 С 30 В 7/10, 29/18. Способ выращивания цветных разновидностей кристаллов кварца / Б.А. Дороговин, Е.Г. Сопелева, Н.Г. Муханова и др. — Заявл. 24.07.02. Оpubл. 10.08.03.
6. Синтез минералов. В 3-х томах. Том 1. — Александров: ВНИИ-СИМС, 2000.
7. О'Допоху. М. Кварц. — М.: Мир, 1990.

© Е.В. Дикк, В.Е. Хаджи, П.П. Шванский, 2004

Е.В. Дикк, В.Е. Хаджи, П.П. Шванский

СИНТЕТИЧЕСКИЙ ОПАЛОВИДНЫЙ КВАРЦ

Среди ювелирных камней особое место занимают природные опалы, поражая радужной игрой цветов и опалесценцией в различных тонах. Опал — природный твердый гидрогель оксида кремния, по составу близок к кварцу, отличается переменным составом воды. Название самоцвета происходит от санскритского «упала» или латинского «опалус», что означает «драгоценный камень». Благородные опалы были известны с древности. В 1609 г. врач богемского императора Рудольфа II Бозций де Боот писал, что «в опале есть невероятная смесь цветов и игра света, он успокаивает нервы, помогает при болезни сердца, действует против меланхолии, грусти, обмороков, сохраняет от подлых страстей и раздражений, возвращает остроту зрения и блеск глазам». Не удивительно, что опалы ценились очень высоко.

В ювелирном деле используются главным образом благородные (или драгоценные) опалы. Окраска их зависит от примесей железа, марганца, никеля и других элементов; опалесценция обусловлена закономерным расположением сферических образований частично раскристаллизованного кремнезема, создающих пространственную дифракционную решетку, разлагающую свет на ряд монохроматических лучей. С увеличением размера глобул кремнезема цвета интерференции меняются от сиренево (фиолетово)-голубого до оранжево-красного. Твердость природных опалов по шкале Мооса 5–6,5.

Для декоративных изделий применяются красивой окраски простые опалы, которые являются разновидностью благородных опалов, не обладающих опалесценцией. Необыкновенной красотой обладает и «лунный» камень, относящийся к группе минералов калиевых полевых шпатов с ирризацией в голубовато-серых и голубых тонах. Твердость этого минерала 6–6,5. Истинно драгоценными считаются камни, которые обладают тремя основными свойствами: красотой, долговечностью и редкой встречаемостью в природе. Красоту камня определяют яркость окраски, сильный блеск и «игра», долговечность обеспечивается химической инертностью и прочностью*.

Цветные камни, представителями которых являются благородные опалы, «лунный» камень, — уникальное явление природы, запасы их ограничены и невозполнимы. В ювелирном деле нашли широкое применение синтетические камни. Они обладают двумя основными качествами драгоценных камней — красотой и долговечностью, но наряду с этим

обладают более низкой стоимостью, чем природные. Таким синтетическим ювелирно-поделочным минералом является опаловидный кварц, твердость которого равна 7.

Опаловидная зональность в синтетическом кварце впервые была обнаружена в процессе микротермометрических исследований газовой-жидких включений. Центры опаловидной окраски, выявленные термообработкой при температуре 500–600 °С, образуются в кристаллах кварца, выращенных с высокими скоростями при относительно низких температурах синтеза пьезокварца. Этот эффект применяется для изучения внутренней морфологии кристаллов и оценки качества пьезокварца. С помощью электронной и оптической микроскопии было показано, что светорассеяние, вызывающее опаловидную окраску синтетического кварца, происходит на субмикроскопических порах и спайных микротрещинах, образующихся при нагреве кристалла в местах скопления неструктурных примесных сегрегатов, содержащих ионы натрия и гидроксильные группы (Хаджи В.Е., 1962). Наряду с этим было установлено, что подвергнутый термообработке синий кварц также теряет прозрачность и приобретает белесую голубовато-зеленую окраску.

В связи с развитием производства изделий ювелирного синтетического кварца на Южноуральском заводе «Кристалл» были предприняты попытки получения опаловидного кварца посредством термообработки кристаллов, выращенных на кварцевых пластинах, параллельных грани (1120), активно адсорбирующих неструктурную примесь. Однако эти технологические приемы получения опаловидного кварца явились неэффективными из-за малой удельной скорости грани (1120), ее склонности к интенсивному росту в бразильскому двойникованию и частым растрескиванием при термообработке фрагментов кристаллов размером более 4–5 см³.

С развитием рыночной экономики в России и появления спроса на опаловидный кварц за рубежом во ВНИИСИМСе были организованы работы по производству опаловидного кварца давно известным и наиболее доступным способом, а именно: распиловкой кристаллов, содержащих неструктурную примесь, на заготовки изделий и последующей их термообработкой. Поскольку к этому периоду времени во ВНИИСИМСе был накоплен значительный опыт гидротермальной обработки различных минералов (корунда, пьезокварца, берилла, топаза, раухтопаза), обеспечивающий при этом сохранность крупноразмерных образцов, было решено осуществить синтез опаловидного кварца, используя автоклавную термообработку.

Получение опаловидного кварца сводится к двустадийному процессу. На первом этапе осуществляется выращивание кварца с высокой скоростью (не менее 0,66 мм/сут, что было определено экспериментально). Затем после частичного стравливания кристаллизационной среды до давления, обеспечивающего паровую фазу, автоклав нагревался до температуры 500 °С и выдерживался до нескольких суток. Основные задачи работы сводились к определению продолжительности высокотемпературной обработки продукции и минимально допустимого давления в автоклаве, обеспечивающего сохранность кристаллов от растрескивания. Кроме этого, необходимо было также установить оптимальный темп стравливания раствора, так как при достаточно быстром снижении давления за счет адиабатического расширения гидротермальной среды могло произойти резкое охлаждение и растрескивание кристаллов.

Таким образом, на лабораторном автоклавном оборудовании емкостью 24 л был разработан способ получения опаловидных Z-кристаллов кварца размером 30×5×220 мм (рис. 1, 8-я стр. вкладки), предусматривающий одновременную термообработку всей партии выращенных кристаллов в автоклаве

* Солодова Ю.П., Андреев Э.Д., Гранадчикова Б.Г. Определятель ювелирных и поделочных камней. — Л.: Недра, 1985.

до его полной разгерметизации после завершения ростового цикла практически со 100%-ным выходом кондиционно-го материала. На данное изобретение получен патент.

Разработанный метод позволяет получать опаловидный кварц с различной плотностью молочно-белой окраски и интенсивностью голубого цвета в зависимости от примеси кобальта. Из него делают вставки (кабошоны) в кольца, серьги, изготавливают бусы и браслеты (рис. 2, 8-я стр. вкладки).

Опаловидный кварц, конечно, не обладает той цветовой гаммой интерференции как природные опалы, но достойно занимает определенную нишу среди ювелирно-поделочных самоцветов и возможности по его синтезу использованы далеко не все.

© Коллектив авторов, 2004

О.А. Иванова, С.А. Смирнова, В.М. Дубовская,
Т.Ф. Горева, А.А. Смирнов

СИНТЕТИЧЕСКАЯ ШПИНЕЛЬ, ЛЕГИРОВАННАЯ КОБАЛЬТОМ, ВЫРАЩЕННАЯ МЕТОДОМ ГНК

Синтетическая голубая шпинель, окрашенная кобальтом, пользуется неизменным спросом на ювелирном рынке в нашей стране и за рубежом. В настоящее время получены все оттенки этого цвета. Однако в литературе нет данных о выращивании этих кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК).

Сущность метода горизонтальной направленной кристаллизации заключается в следующем. Молибденовый контейнер, выполненный в форме лодочки, заполняется шихтой. В узкой части лодочки закрепляется затравочный кристалл. Контейнер устанавливается на устройство перемещения и вводится в тепловой узел ростовой камеры.

Тепловой узел может быть двух модификаций: 1) вольфрамовый нагреватель + система молибденовых тепловых экранов, формирующих зону плавления и зону отжига; 2) нагреватель из графита + теплоизолирующие экраны из углеродных материалов. Процесс выращивания кристалла заключается в расплавлении исходного материала, кристаллизации путем медленного перемещения контейнера из зоны нагрева в более холодную зону, отжига, охлаждения и съема кристалла. Выращивание кристаллов можно вести в вакууме ($P > 0,01$ Па) и атмосфере инертного газа ($P = 10-12$ кПа). Охлаждается установка водой, для чего предусмотрен замкнутый водяной контур. Для реализации метода ГНК разработаны специальные ростовые установки — «Протон», «Сапфир-2МГ», «СГВК», «СЗВН» и «Лагран»*.

Метод горизонтальной направленной кристаллизации обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами кристаллизации:

на протяжении всего процесса остаются постоянными высота расплава и его площадь — это условие способствует стабильности процесса кристаллизации;

благодаря большой открытой поверхности площади расплава обеспечивается эффективное испарение посторонних примесей. Это позволяет предъявлять к исходным материалам не слишком жесткие требования;

процесс затравливания и границу раздела фаз можно контролировать визуально;

метод позволяет выращивать монокристаллы в виде пластинок больших геометрических размеров (до $300 \times 300 \times 40$ мм)

* Смирнова С.А., Казакова Л.И., Егорычева О.А. Иттрий-алюминиевый гранат / Синтез минералов. — Т. 2. — Александров: ВНИИ-СИМС, 1998. — С. 5-41.

Таблица 1
Результаты РФА шпинели, выращенной методом ГНК

2θ	Межплоскостные расстояния, D	Отн. интенсивность, %	Фаза
19.34	4.589	11.7	Шп
31.76	2.819	29.4	Шп
35.26	2.545	5.8	К
37.40	2.404	100	Шп
39.08	2.306	6.8	А
43.46	2.082	5.8	Шп,К
45.46	1.996	52.6	Шп
56.46	1.630	8.3	Шп
57.62	1.600	5.8	К
60.19	1.538	34.4	Шп
66.18	1.412	34.5	Шп

Примечание. Пики, характерные для: Шп — шпинели; К — корунда; А — оксида алюминия со структурой шпинели.

с заданной кристаллографической ориентацией, что является удобным для их технологической обработки.

В нашей работе алюмомагниево-кобальтовая шпинель ($MgAl_2O_4$), легированная кобальтом, была выращена методом горизонтальной направленной кристаллизации на промышленной установке «Сапфир-2МГ», оснащенной графитовыми нагревателями и графитовыми экранами, в атмосфере аргона с избыточным давлением газа до 0,5 атм, в молибденовом контейнере, выполненном в виде лодочки. В шихту из оксидов магния и алюминия, смешанных в стехиометрическом соотношении, вводился кобальт в виде оксида Co_2O_3 , концентрация которого варьировалась в различных опытах от 0,1 до 2 % мас. В зависимости от концентрации легирующей добавки получены кристаллы разных оттенков голубого и синего цветов.

Получены монокристаллические слитки размерами $160 \times 10 \times 20$ мм. Кристаллы визуально прозрачны, однородны по окраске. При наблюдении под микроскопом при увеличении в 20 раз хорошо просматриваются в качестве дефектов газовые пузыри (8-я стр. вкладки). Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводился на установке «ДРОН-3» с использованием медного анода. Скорость съемки составила 2 град/мин. Полученные результаты (табл. 1) показали, что наряду с основной фазой, представленной алюмомагниево-кобальтовой шпинелью, присутствует примесь корунда (до 5 % мас.) и небольшая примесь оксида алюминия со структурой шпинели.

Были проведены минералогические исследования полученных образцов. В поляризованном свете устанавливается четко выраженная анизотропия практически во всем объеме: волнистая, изогнуто-полосчатая, параллельно-перекрестная и др. При наблюдении под микроскопом при увеличении 630 кроме большого количества газовых пузырей шаровидной формы (диаметром в тысячные доли мм) обнаружено много пор по всему объему кристалла преимущественно игольчатой формы (длиной 0,01-0,5 мм и шириной от тысячных долей мм до 0,05 мм), иногда сложной конфигурации и твердофазные включения, которые обычно приурочены к краям пор. Диагностировано два минерала: корунд и шпинель иного состава. Корунд анизотропный ($n_m \sim 1,760$), раскристаллизованный в виде дипирамид, характерных для этого минерала. Шпинель образует кубические изотропные кристаллы, показатель преломления примесной шпинели больше показателя преломления исходной на $\sim 0,040-0,060$ (по контрасту фазовой границы). В отраженном свете в порах происходит рассеивание коротковолновой части спектра и появляется голубая окраска («Голубые лучи», эффект Тиндаля). Возможно, этот эффект обусловлен за счет газовых компонен-

Таблица 2
Цветовые характеристики шпинели, выращенной методом ГНК

Образец	X	Y	Z	λ , %	λ_D	P_1
1 % мас. Co_2O_3	0.2759	0.2842	0.4299	80	478	0.14
1.5 % мас. Co_2O_3	0.2935	0.2997	0.4068	80	470	0.13

тов. Таким образом, минералогические исследования подтвердили данные рентгено-фазового анализа.

Для исследования спектральных и цветовых характеристик окраски были использованы кристаллы, выращенные из шихты, содержащей 1 и 1,5 % мас. оксида кобальта. Образцы изготавливались в виде плоско-параллельных пластин. Измерения проводились на спектрофотометре «SpecordM-40» с использованием колориметрической кассеты «Colour measurement». Определение значений цветового тона λ_D проводилось по графику цветности международной колориметрической системы XYZ (МКО, 1931 г.)*. Координаты цветности XYZ, цветовой тон λ_D , колориметрическая чистота λ представлены в табл. 2. На спектре оптического поглощения наших кристаллов фиксируются полосы поглощения 16100, 17200 и 18200 см^{-1} , подобно ярко-синим природным уральским шпинелям. Они характерны для тетраэдрических комплексов Co^{2+} .

© О.А. Иванова, С.А. Смирнова, 2004

О.А. Иванова, С.А. Смирнова

ОКРАСКА И КАЧЕСТВО КРИСТАЛЛОВ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЦИРКОНИЯ И ТИТАНА

На ювелирных рынках России и за рубежом неизменен спрос на драгоценные и полудрагоценные камни. Однако природные ресурсы постепенно истощаются, и в связи с этим все большую значимость приобретают синтетические ювелирные камни, в том числе и иттрий-алюминиевый гранат, который по своим физическим свойствам не уступает природным гранатам, а в некоторых случаях и превосходит их. Твердость его равна 8,5 (между топазом и рубином), показатель преломления света в кристаллах составляет 1,835 (больше, чем у многих гранатов), дисперсия — 0,026, плотность 4550 $\text{кг}/\text{м}^3$.

Изменчивость конъюнктуры рынка на камнесамоцветное сырье требует постоянного расширения ассортимента и поиска новых синтетических ювелирных кристаллов разнообразных оттенков. Иттрий-алюминиевые гранаты относятся к тем кристаллам, которые благодаря изоморфной емкости структуры, позволяют вводить в их состав разнообразные элементы-хромофоры и тем самым обеспечивают богатый спектр окраски (8-я стр. вкладки).

Спрос на красные ювелирные камни на рынке достаточно устойчив и особенно усилился в последнее время. Однако проблема получения кристаллов иттрий-алюминиевых гранатов (ИАГ) красного цвета, равномерно окрашенных по объему и разнообразных оттенков, остается не решенной в настоящее время и представляется очень актуальной.

С целью получения ИАГ красного цвета и изучения влияния сочетания двух хромофоров на цветовую гамму и оптическое качество кристаллов были проведены опыты, в которых в шихту вводили одновременно оксид циркония и оксид титана в различных концентрациях. В литературе описан способ получения ИАГ красного цвета, легированного

* Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. — М.: Недра, 1984.

цирконием*. По мнению авторов этого способа, цирконий замещает в структуре ИАГ атомы иттрия в додекаэдрических позициях и находится в не свойственном для него трехвалентном состоянии. Именно трехвалентный цирконий обуславливает красную окраску кристаллов. При этом в структуре присутствует и четырехвалентный цирконий. Авторы считают, что в решетку граната цирконий входит преимущественно в трехвалентном состоянии, а уже затем частично переходит в четырехвалентное состояние, что сопровождается просветлением образцов. Поэтому кристаллы имеют неравномерную по объему окраску, менее интенсивную в приповерхностных областях, т.к. валентные переходы в этих областях происходят более интенсивно.

Частичное улучшение однородности красной окраски было достигнуто путем введения в структуру кристалла ИАГ наряду с цирконием ионов скандия. Эти работы проводились в лаборатории горизонтальной направленной кристаллизации ВНИИСИМСа. Замена части алюминия на менее подвижный скандий уменьшает диффузию катионов к поверхности кристалла, препятствует валентным переходам $\text{Zr}^{3+} \rightarrow \text{Zr}^{4+}$ и способствует более равномерному распределению окраски. Однако вхождение крупного (относительно алюминия) иона скандия в шестерную координацию вместо Al^{3+} увеличивает размер элементарной ячейки решетки ИАГ, ведет к ее искажению, и, как следствие, к образованию большого количества трещин в кристалле, что уменьшает выход кондиционного материала, пригодного для применения в ювелирной промышленности.

Из литературных источников известно, что кроме циркония другим хромофором, придающим иттрий-алюминиевому гранату красный цвет, является титан. Однако в этих кристаллах красный оттенок появляется только при искусственном освещении (при дневном свете ИАГ:Ti имеет светло-коричневую окраску). В наших опытах в шихту ИАГ, приготовленную гарниссажным методом плавления токами высокой частоты в водоохлаждаемом контейнере**, одновременно вводились цирконий и титан в виде порошкообразных оксидов, ZrO_2 и TiO_2 соответственно. Кристаллы выращивались методом горизонтальной направленной кристаллизации. Были проведены две серии опытов: I — в условиях глубокого вакуума (не ниже 10^{-4} мм. рт. ст.) и II — в атмосфере аргона. При этом использовались установки с разной технологической оснасткой.

Вакуумные кристаллы ИАГ:Zr,Ti выращивались на промышленной установке «Сапфир-2МГ», оснащенной молибден-вольфрамовым тепловым узлом (вольфрамовый нагреватель и молибденовые экраны) в молибденовых контейнерах-лодочках в присутствии металлического иттрия. Содержание оксида циркония в шихте ИАГ составило 0.1% мас., а содержание оксида титана варьировалось от 0.1 до 0.3% мас. Проведенные эксперименты показали, что при концентрациях оксида титана в шихте, больших 0.25% мас., кристалл не окрашивается в красный цвет. Это свидетельствует об отсутствии в структуре граната трехвалентного циркония. Кристаллы бесцветные, с примесью черной дендритоподобной фазы пиротитаната иттрия, которая появляется практически в самом начале лодочки и скапливается в конце, образуя поликристаллический слиток. Из шихты, содержащей оксид титана в количествах 0.25–1.35% мас. и совсем не содержащей оксид циркония, в вакууме методом ГНК получены кристаллы

* Кузанын А.С., Петросян А.Г. Исследование условий кристаллизации цирконий содержащих гранатов // Кристаллография. — 1988. — Вып. 3. — № 1. — С. 258–259.

** Смирнова С.А., Казакова Л.И., Егорычева О.А. Иттрий-алюминиевый гранат / Синтез минералов. Т. 2. — Александров: ВНИИСИМС, 1998. — С. 5–41.

удовлетворительного качества коричневого цвета с примесью фазы пиротитаната иттрия лишь в «хвостовой» части. В отсутствие оксида титана при легировании ИАГ цирконием (концентрация оксида циркония в шихте составила 0.01–1% мас.), кристаллы окрашиваются, хотя и неравномерно по объему, в красный цвет. При концентрациях в шихте оксида титана 0.1–0.15% мас. и оксида циркония 0.1% мас. были получены равномерно окрашенные коричнево-красные кристаллы. Выход кондиционного, годного для огранки материала составил приблизительно 30% из-за большой «хвостовой» поликристаллической части. При увеличении концентрации оксида титана в шихте качество кристаллов резко ухудшается, появляется большое количество дефектов и примесных фаз, нарушается равномерность окраски по длине слитка (табл. 1).

В атмосфере аргона кристаллы ИАГ:Zr,Ti также выращивались на установке «Сапфир-2МГ» в молибденовом контейнеро-дочке, но оснащенной графитовым тепловым узлом (графитовые нагреватели и экраны). Использовался аргон марки «осч». Избыточное давление газа составило 0.2 атм., что способствовало значительному подавлению диссоциации оксида титана и увеличению вхождения титана в структуру граната. Концентрации ZrO_2 варьировались от 0.04 до 0.15% мас., концентрации TiO_2 — от 0.03 до 0.15% мас. Соотношения концентраций оксидов менялись. Проведенные эксперименты показали, что прозрачные однородно окрашенные кристаллы коричнево-красного цвета получаются при концентрациях ZrO_2 меньших 0.1% мас. и концентрациях TiO_2 0.04–0.07% мас. (табл. 2).

При увеличении концентраций обоих элементов получаются кристаллы непрозрачные в слитке черного цвета. В тонком срезе (толщиной 3 мм) цвет темно-красный, насыщенный. Проведенные рентгенофазовые, а также рентгенорадиометрические анализы не обнаружили других примесных элементов кроме циркония и титана и присутствие посторонних фаз. Снятые оптические спектры выявили сильный фон, который уменьшает пропускание. Данный фон значительно устраняется при отжиге в вакууме, причем улучшается пропускание и образцы просветляются. Это свидетельствует о возможном присутствии неструктурной примеси, но, по-видимому, в очень малых количествах, не чувствительных к рентгенофазовому анализу.

С целью выявления посторонних фаз в лаборатории рентгеноструктурного анализа ИГЕМ РАН были проведены дополнительные исследования образцов ИАГ, содержащих цирконий и титан, выращенных на установках с графитовым тепловым узлом. Образцы изучались методом рентгено-спектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе JSM5300, оснащенный энергодисперсионным спектрометром Link ISIS, позволяющим проводить качественный и количественный анализ. Ошибка метода не позволила определить точное процентное содержание циркония и титана в самих кристаллах, т.к. ошибка сопоставима с концентрацией этих элементов. Тем не менее, установлено, что помимо основной гранатовой фазы присутствует большое количество оксида алюминия с повышенным содержанием

Таблица 1
Кристаллы ИАГ:Zr,Ti, выращенные в вакууме

Концентрация в шихте ZrO_2 , % мас.	Концентрация в шихте TiO_2 , % мас.	Результаты
0.1	0.1-0.15	Прозрачные однородно окрашенные кристаллы коричнево-красного цвета
0.1	> 0.25	Бесцветные кристаллы с примесью фазы пиротитаната иттрия вдоль всего кристалла
0.1	0.15-0.25	Кристаллы неравномерно окрашенные с чередованием светло-коричневых и красных полос. Содержат большое количество дефектов и примесных фаз

Таблица 2
Кристаллы ИАГ:Zr,Ti, выращенные в атмосфере аргона

Концентрация в шихте ZrO_2 , % мас.	Концентрация в шихте TiO_2 , % мас.	Результаты
0.04-0.1	0.04-0.07	Прозрачные однородно окрашенные кристаллы коричнево-красного цвета
0.04-0.07	0.04-0.07	В слитке непрозрачные кристаллы черного цвета. В тонком срезе (3 мм) цвет темно-красный, насыщенный
0.1-0.15	0.07-0.15	Отсутствие монокристаллической области

циркония в количествах, определение которых доступно данному методу и составило 5.33%.

На установке «Сапфир-2МГ» в графитовом тепловом узле были выращены кристаллы ИАГ, легированные только цирконием и только титаном. Слитки, полученные из шихты, содержащей оксид титана 0.68% мас. представляют собой светло-коричневые прозрачные монокристаллы с красными бликами при искусственном освещении. Концентрация титана в монокристалле по данным рентгенорадиометрического анализа 0.146% мас.

В экспериментах с шихтой, содержащей оксид циркония 1% мас., был получен черный непрозрачный поликристаллический слиток. Содержание циркония по данным рентгенорадиометрического анализа составило 0.1% мас. Можно предположить, что наличие неструктурной примеси, ухудшающей оптическое качество образцов, выращенных в графитовом тепловом узле, связано именно с присутствием в расплаве ионов циркония.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены кристаллы иттрий-алюминиевых гранатов, легированных одновременно цирконием и титаном. Определены концентрации хромофоров, при которых получаются оптически прозрачные равномерно окрашенные по объему кристаллы красных оттенков. Увеличение концентраций приводит к ухудшению качества кристаллов и изменению их окраски, по-видимому, из-за сложных химических процессов взаимного влияния циркония и титана друг на друга в расплаве ИАГ, что ведет к изменению коэффициентов вхождения этих элементов в структуру граната, возникновению различных дефектов и образованию примесных фаз.

© Б.С. Горобец, А.А. Рогожин, 2004

Б.С. Горобец, А.А. Рогожин (ВИМС)

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИ ПОИСКАХ И ОЦЕНКЕ КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ

Люминесценция — неравновесное свечение тел, избыточное над тепловым излучением, которое отличается от отраженного и рассеянного света послесвечением, с длительностью от наносекунд (флуоресценция) до минут и часов (фосфоресценция).

В геолого-минералогической практике исследуют и применяют фотолюминесценцию (ФЛ), возбуждаемую обычно УФ светом с помощью ламповых или лазерных источников, рентгенолюминесценцию (РЛ — возбуждение рентгеновским излучением), катодолюминесценцию (КЛ — возбуждение электронным лучом) и термолюминесценцию (ТЛ — нестационарный процесс высвечивания нагреваемым телом энергии, запасенной ранее под воздействием ионизирующей радиации).

Различные физические механизмы возбуждения люминесценции обуславливают то, что один и тот же образец

минерала может светиться по-разному при ФЛ, РЛ и КЛ. Например, ФЛ наблюдается у 15–20 % алмазов, причем с различным цветом свечения, тогда как РЛ голубого цвета — более чем у 90 % алмазов, КЛ же — практически у 100 % алмазов.

По глубине исследования люминесценции можно выделить три уровня: (1) визуальный метод; (2) спектральный метод как стационарный процесс; (3) спектрально-кинетический метод, реализуемый при импульсном возбуждении, когда регистрация осуществляется с учетом временных параметров процесса (ключевым характерным параметром здесь обычно является постоянная времени затухания импульса люминесценции). Спектры люминесценции самоцветов, а также таблицы данных по *традиционному визуальному методу* оценки цвета свечения наиболее полно представлены в справочниках [3, 8]. В русскоязычном издании [3] представлены 285 минеральных видов, а в англоязычном варианте [8] их 330. Из них самоцветы, включая разновидности, составляют несколько более 50 минеральных видов, представленных образцами из различных месторождений, в т.ч. ювелирными разновидностями. Наряду с указанием цвета свечения в справочниках [3, 8] приведены расшифровки спектров.

Чаще всего центры свечения в минералах образуются примесными катионами переходных металлов. Это ионы 3d-группы (Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Tl^{4+}), 4f-группы (РЗЭ: Ce^{3+} , Sm^{3+} , Sm^{2+} , Eu^{2+} , Eu^{3+} , Dy^{3+} , Er^{3+} , Yb^{2+} и др.); 5d и 6d-ионы (Mo^{6+} и W^{6+}), 5f-ион (U^{6+}). Из анионных центров отметим ответственную за желто-оранжевую ФЛ молекулу серы S_2^- , захватившую электрон, в минералах групп скаполита и содалита. Установлен факт свечения разнообразных кислородных центров в фиолетово-голубом диапазоне при рекомбинационной люминесценции (РЛ, КЛ), возбуждаемой ионизирующими излучениями. При ФЛ они не наблюдаются. Отдельно назовем азот, образующий множество разнообразных центров в алмазах, причем светятся ассоциации нескольких атомов азота с углеродными вакансиями.

Низкотемпературная ФЛ нередко возникает в тех минералах, в частности и относящихся к категории самоцветных, которые не люминесцируют при комнатной температуре. Так, обычно данбурит и датолит легко отличить от кварца, если их осветить УФ светом при охлаждении в прозрачном кварцевом сосуде Дьюара или же, погружая в пенопластовую емкость с жидким азотом (77 К) и поднося под лампу охлажденный камень. В данбурите часто разгорается синяя (европий Eu^{2+}) или зеленая (иттербий Yb^{2+}) ФЛ, тогда как кварц обычно не светится (Гафт М.Л., Горобец Б.С., 1979). Красная ФЛ Mn^{2+} в охлажденном родоните и родохрозите характеризует их безжелезистые разновидности. Яркая желтая ФЛ охлажденного касситерита позволяет мгновенно отличить его от циркона, имеющего желтую ФЛ при обычных температурах, или от несветящихся рутила, анатаза и др. (Гафт М.Л. и др., 1982). По яркой желтой и зеленой ФЛ при 77 К обнаруживаются невидимые включения минералов уранила, например, в чароите. Зеленая ФЛ самоцветного сырья на основе кремнезема (опал, хризопраз, халцедон, агат) свидетельствует о присутствии сорбированного урана и требует более детального контроля с точки зрения радиационной безопасности.

Многие примеры применения люминесцентных методов в минерально-сырьевой сфере представлены в справочниках [3, 8]. В данном обзоре применительно к камнесамоцветному сырью выделены следующие основные направления: диагностика самоцветов по цвету свечения, используемая в поисковых или оценочных целях; поиски по люминесцентным ореолам; определение происхождения камня по люминесцентным признакам; технологическая люминесцентная сортировка (сепарация) самоцветов. Основой прак-

тических методик применения люминесценции являются детальные спектроскопические исследования на уровнях (2) или (3). Не имея возможности (в силу ограничений объема статьи) привести данные по спектрам люминесценции самоцветов и сопутствующих им минералов, мы отсылаем читателя к упомянутым справочникам [3, 8], а также к обзору [1], и ограничиваемся представлением таблиц основных цветовых характеристик люминесценции примерно 80 минеральных видов и разновидностей самоцветов (включая некоторые синтетические объекты) с указанием центров свечения и характерных спектральных максимумов соответствующих линий или полос свечения (табл. 1–5). Самоцветы сгруппированы в таблицах в соответствии с их естественной окраской в основных цветовых интервалах: бесцветные, в т.ч. белые и серые (см. табл. 1), красные, розовые и пурпурные (см. табл. 2), оранжевые, желтые и коричневые (см. табл. 3), зеленые (см. табл. 4), голубые, синие и фиолетовые (см. табл. 5).

Таблица 1
Бесцветные камни

Минерал	Виды люминесценции		
	ФЛ	РЛ	КЛ
Алмаз	Азот: Г, З, Ор*, К* (~80% не люм.)	Г (95%люм.)	Г (≈100%люм.)
Муассанит	Ж*, З*	Ж	
Лейкосапфир	Ор*	Б	С, К(Сr694)
Шпинель синтетич.	БГ		
Топаз	К(Сr685)	Ф, С, Г, З	Ф, С
Эвклаз	-	Ф	
Родицит	-	БЖ (Mn 560)	
Фенакит	-	БГ, К*(Fe750)	БГ
Данбурит	С* (Eu^{2+}), З* (Yb^{2+} 77К)	Ф, С	
Гамбергит	-	Ф	
Кварц (оптич.)	-	БГ	С*, Ор*, П*, К*
Халцедон, опал	БГ, З*(уранил)		ФГ, Ж*, К*
Гердерит	С(Eu^{2+} 450)	Ж(Mn 570)	
Бромеллит		УФ-Ф (О*270; 290)	
Форстерит	ОК(Mn640)	ОК	С(450), К(730)
Энстатит	Б*		
Адуляр	-	К*(Fe720)	З (520)
Беломорит	С*(Eu^{2+} 405), Ж*	З(Mn 570)	
Жемчуг	БГ (морской), Ж, П (Mn 630) (речной)		
Флюорит	ФС* (Eu^{2+} 425), З* (Yb^{2+} 77К)	УФ (собств. 300), З*(Mn 520), (TR ³⁺)	

Обозначения здесь и ниже:

Ф, С, Г, З, Ж, О, К, Б, П, Р — фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, беловатый, пурпурный, цвет свечения; возможны переходные цвета: ФС, ЖЗ и т.п.

Введена следующая символика из четырех разрядов для качественного описания свечения по убыванию яркости: жирная первая буква цвета свечения, светлая прямая буква, курсивная буква, прочерк, означающий, что свечение не наблюдается невооруженным глазом. Буквы Ф, С, Б в столбцах РЛ и КЛ означают, что наблюдаются широкие полосы излучения кислородных центров рекомбинации. Пустое место означает, что данных нет; * — свечение наблюдается менее чем в 50 % случаев.

В скобках указан центр свечения (ион, элемент или дефект) и максимумы в спектре излучения в нанометрах; 77 К — символ низкотемпературной люминесценции при температуре кипения азота.

Таблица 2
Красные, розовые и пурпурные камни

Минерал	Виды люминесценции		
	ФЛ	РЛ	КЛ
Рубин	К (Cr694)	К	К
Корунд синтетич. розовый	Ф (? +Cr)	К	
Шпинель красно-розовая	К (Cr684)	К	К
Шпинель синт. кр., роз.	К (Cr)	К	К
Фианит красный (с Се)	?		
ИАГ и ГГГ (с TR ³⁺)	Различные цвета, аналитические линии TR ³⁺ в спектрах		
Спессартин	-	-	К (Mn)
Воробьевит	Ф*, Ж*		
Рубеллит (эльбаит)		Ж(Mn580, Fe730)	
Эвдиалит	ЖОр*, К* (Fe720)	К	
Тугтупит	ЖОр (S)	Ф	
Гексагонит (тремолит)	ЖОр (Mn580, Fe730)		
Скаполит	Ж (S)	Ор (Mn620)	
Апофиллит	ОрК (Mn620)	Ф	
Родонит	К (Mn68077К)*		
Родохрозит	К (Mn68077К)*		
Кунцит	Ор (Mn600)	Ор (Mn)	Ор (Mn)
Лепидолит	-	ЖО(Mn590), К (Fe720)	

Примечание. Не люминесцируют: пироп, алмадин, спессартин, карнеол вследствие высокого содержания железа (Fe²⁺ + Fe³⁺ > 1%) так же как и железосодержащие разновидности родонита, родохрозита, эвдиалита.

Таблица 3
Оранжевые, желтые и коричневые камни

Минерал	Виды люминесценции		
	ФЛ	РЛ	КЛ
Сапфир	-		К(694)
Топаз	К(Cr685)	Б	БГ
Фианит (Се, Nd) или (Ni, Ti, Cu)	ИК (Nd1070)		
ИАГ + TR ³⁺	Различные цвета, аналитические линии TR ³⁺ в спектрах		
Сфалерит (клейофан)	Ор, К, (Mn, доноры-акцепторы)		Ор
Гиацинт	Ж(радиационный дефект 575)	БЖ	Г(Dy480)+ З(Dy450) + К(Fe720)
Касситерит	Ж(собств.570)	Ж	Ж
Клиногумит	З(Ti520+Mn)		З(Ti520), О(Mn640)
Увит	Ж(Ti530)	Ж	
Шеелит-молибдосеелит	Г(WO ₄ 450), ЖЗ(MoO ₄ 520)	Г(WO ₄ 440)	Г(WO ₄)
Датолит	ФС(Се, Yb)	Ж(Mn560)	

Поисковая диагностика самоцветов. Идентификация самоцветов по цвету ФЛ применяется издавна, но в настоящее время, основываясь на результатах спектральных исследований на уровнях (2) и (3), появилась возможность уверенно опознать преобладающие в самоцветах элементы-люминогены, наблюдая их свечение даже визуально. Так, почти за все цвета свечения алмазов ответственен азот в различных формах, за красное свечение корундов и шпинелей — Cr³⁺, за фиолетовое свечение чароита — Се³⁺ и Eu²⁺, за зеленое свечение жадеита и многих его имитаций — Mn²⁺, за желтое свечение гиацинта — собственные точечные дефекты, возникшие вследствие облучения альфа-частицами и/или нейтронами, за зеленое свечение опала и халцедона — уранил, за розоватое свечение речного жемчуга — Mn²⁺, а за белое его свечение — сорбированные молекулы циклических углеводородов и т.д. Для поисков, извлечения и оценки качества самоцветов может быть создано множество частных методик использования люминесценции с целью диагностики самоцветов и их разновидностей в каждой конкретной обстановке, что относится к любому из минералов, вошедшему в табл. 1–5. Приведем несколько примеров.

Обнаружение и идентификация рубина при шлиховом опробовании рубиноносных россыпей на Среднем Урале показали, что это единственный минерал в шлихах с красной ФЛ. Сопутствующая шпинель здесь не представляет интереса и не светится. Просмотр невооруженным глазом сразу больших навесок по 100 г каждая позволил отказаться от медленной и утомительной работы с биноклем и увеличил производительность анализов при оконтуривании богатых участков

Таблица 4
Зеленые самоцветы

Минерал	Виды люминесценции		
	ФЛ	РЛ	КЛ
Алмаз	К(GR)	Г	Г + К(GR741)
Сапфир	-		К(Cr694)
Фианит	ЖЗ		
ИАГ + (Cr, V)	К (Cr690)	К(Cr)	К(Cr)
Изумруд	К (Cr682)	БГ	БГ
Александрит	К*(G681)	К	К, ОрК
Уваровит	З, К (Cr697)		
Хромдиоксид	Ж(Cr705)		
Хризопраз	З (уранил)		
Тремолит (нефрит)	ЖОр, К (Mn580, Fe740)		
Жадеит	З* (Mn555)		З (Mn555)+ К(Cr690, Fe750)
Жад-альбит (маусит-сит)	-		К (Fe750)
Хлормеланит	-		Г(450)+К(Fe750)
Гидрогроссуляр	-		З(Mn570)+ К(Cr717)
Везувиан (калифорнит)	-		З(Mn570)
Канасит	-	ЖО* (Mn, Fe)	
Амазонит	З*	БЗ	ГЗ
Апофиллит	ГЗ		
Апатит	Различные цвета: ФС(Се, Eu ²⁺), Ж(Mn580), Роз.(Sm)		Ж(Mn)
Флюорит	См. в табл. 1		

Таблица 5
Голубые, синие и фиолетовые камни

Минерал	Виды люминесценции		
	ФЛ	РЛ	КЛ
Сапфир	-		K(Cr694)
«Тикор» (Ti) (синт)	-	K(Ti690)	
Шпинель синт.	K (Cr684)	K, Op, BC	
Фианит (Co ²⁺)	Г, З, Ф		
ИАГ (Co ²⁺)			
ИАГ (Nd,Er)	UK(Nd1070); З (Er552)		
Дюмортьюрит	K(Cr670)	C(Ti440)	
Кордиерит	Op (Mn630), K (Fe750, Cr693)		
Топаз	K(Cr685)	ГЗ	
Аквамарин	-	K (Cr 694)	K (694)
Кианит	Г(Ti560)	K(689)	
Бенитоит	C(KB:Ti ⁴⁺ 450), K (ДВ:Ti ³⁺ 690)		
Гаюин	Op*(S)		
Лазурит	Op*(S)	Г, Op (Mn590)	Op, C
Апатит	ФC(Ce, Eu ²⁺), Ж(Mn580), Роз.(Sm)	Ж(Mn)	
Прозопит	Ф(Ce380)	Ф(Ce)	
Чароит	ФC*(Ce400, Eu450)	ЖО(Mn600)	
Флюорит	См. табл. 1		

россыпей в 5–10 раз. При этом вероятность пропуска рубиновых «знаков» сводится к нулю (см. подробнее в [3, 8]).

Примеры различения жадеита и жадеитовых имитаций по цвету и спектрам КЛ описаны в обзоре J. Pohnloh [9]. Диагностическим признаком жадеита является зеленый цвет КЛ, обусловленный полосой излучения Mn²⁺ при 555 нм, которая доминирует в спектре этого минерала и отличает его от жад-альбита, хлоромеланита и калифорнита. КЛ хлоромеланита — очень слабая темно-зеленая (Mn²⁺), иногда красноватая (Fe³⁺) вплоть до отсутствия. Жад-альбит (мау-сит-сит) обычно дает красноватую КЛ иона Fe³⁺, она весьма неоднородна, наблюдаются несветящиеся реликты хромита. Хотя спектры жадеита и гидрогроссуляра, имитирующего жадеит, схожи, у гидрогроссуляра наблюдаются узкие R-линии Cr³⁺. Бесструктурная красная полоса свечения иона Fe³⁺ при 750 нм в спектре КЛ жадеита или отсутствует, или играет подчиненную роль. Она связана, как правило, с ионом Fe³⁺. В спектре КЛ сиренево-белого жадеита наблюдался Cr³⁺, однако его R-линии почти не проявлялись. Спектры КЛ калифорнита (везувиана) и жадеита схожи, однако полоса Mn²⁺ в калифорните заметно сдвинута в желтую область. Цвет КЛ калифорнита обычно оранжево-красный (Fe³⁺), хотя он бывает и желто-зеленым в некоторых участках. Но при одновременном сравнении с жадеитом их легко отличают по оттенкам цвета КЛ.

Органогенные самоцветы (жемчуг, перламутр) обладают ФЛ белого или бело-голубого, иногда желтовато-белого цвета, которая обусловлена циклическими углеводородами. Речной жемчуг часто обнаруживает розовую ФЛ, связанную с примесью Mn²⁺ в арагоните; его РЛ и КЛ ярко-красные. Янтарь дает обычно желтовато-оранжево-коричневые оттенки ФЛ, однако в литературе упоминается и белая ФЛ янтаря. Подчеркнем, что цвет свечения связан не только с изменением состава люминесцентных компонентов камня, но и с оптическим поглощением люминесцентного свечения в объеме окрашенного тела.

Люминесцентные ореолы. В настоящее время развивается направление поисков руд, в т.ч. — камнесамоцветного сырья, по «косвенным» люминесцентным ореолам (ЛО) различных минералов — полевых шпатов, апатита, кальцита, циркона, флюорита, церуссита и др. (см., например, [10]). Флюидно-гидротермальные изменения вмещающих пород в контактных зонах рудных залежей обычно сопровождаются перекристаллизацией минералов, среди которых появляются и фотолюминесцентные. Это происходит вследствие: 1) привноса и накопления элементов-люминогенов (Ce³⁺, Eu²⁺ и Eu³⁺, Sm³⁺, Dy³⁺, Mn²⁺, W⁶⁺, Mo⁶⁺, U⁶⁺ и др.); 2) отделения железа и отложения его в форме собственных минералов — оксидов, гидроксидов и сульфидов. В результате в окolorудных зонах появляется целый ряд безжелезистых минералов, содержащих достаточное количество элементов-люминогенов, которые можно наблюдать по фотолюминесценции. Прежде всего, это кальцит и апатит с красным и желтым свечением ионов Mn²⁺, апатит с розовато-желтым свечением Sm³⁺ и Dy³⁺, с фиолетово-синим свечением Ce³⁺ и Eu³⁺, плагиоклазы, микроклин и флюорит с фиолетово-синим свечением Eu²⁺, циркон с желтым свечением дефектов пока еще не выясненной природы.

Кимберлитовые тела характеризуются резкими контактами с окружающими породами и слабо проявленными изменениями в экзоконтактной зоне. Вместе с тем вокруг кимберлитовых трубок существуют огромные ЛО, мощностью от сотен метров до 1–1,5 км [10]. Именно они отражают подлинное влияние кимберлитобразующих систем на вмещающие породы. Ореолы обнаружены и изучены в Архангельском и Мирненском кимберлитовых полях. Установлено принципиальное сходство ЛО в обоих алмазоносных районах. Ведущими люминесцентными минералами в кимберлитах являются кальцит, апатит и циркон, также отмечены барит, флюорит, битумоиды. Установлена зональность ФЛ-ореолов, выделены три зоны: 1) приконтактовая зона; 2) зона концентрации ФЛ-минералов; 3) зона постепенного уменьшения содержания ФЛ-минералов до фоновых значений. Мощность приконтактовой зоны 20–50 м; зоны концентрации ФЛ-минералов 50–350 м, после чего их содержание заметно уменьшается. Фоновые значения прослеживались во вмещающих породах до 1,5 км. Вероятно, огромный объем вмещающих пород подвергался продувке, прогреву и перекристаллизации под воздействием глубинных флюидов при образовании кимберлитов. При этом происходила перекристаллизация кальцита (появление у него красной ФЛ за счет вхождения Mn²⁺ при повышенных температурах), фиксация глубинного фосфора в составе апатита (с желтой ФЛ за счет Mn²⁺, заимствованного из вмещающих пород, а циркония в составе циркона). Выявление таких мощных ЛО вокруг кимберлитов позволяет рекомендовать в корне изменить методику шлихового опробования при поисках кимберлитов: изучать не столько крупную фракцию шлихов (более 1 мм, как это принято в настоящее время), сколько тонкую фракцию (менее 0,25 мм), поскольку именно тонкая немагнитная фракция с центратом апатита, циркона, барита позволяет оконтурить ближний ореол механического рассеяния минералов вокруг кимберлитовых тел.

В маргарит-мусковит-флогопитовых метасоматитах Урала (Изумрудные Копи) рудные зоны приурочены к линзам олигоклазитов. Бериллоносные тела подразделяются на четыре типа: мусковит-кварц-плагиоклазовые (1) и маргарит-плагиоклазовые (2) жилы без изумрудов; прожилково-метасоматические зоны, бедные (3) и богатые (4) изумрудами. Всюду встречаются выделения апатита с желтой ФЛ (Mn²⁺), розово-пурпурной ФЛ (Ce³⁺, Eu²⁺, Sm³⁺, Mn²⁺) и сиреневой ФЛ (Ce³⁺, Eu²⁺), но с различной частотой. В среднем отношение плотности вкраплений (зерен)

апатита с желтым цветом ФЛ к числу вкраплений с сиреновой ФЛ в зонах 1–4 следующее: 5,3; 1,8; 1,8; 1 (Куприянова И.И., Морозкин В.В., 1987). Поисковым признаком на изумруды служит также плагиоклаз с фиолетово-синей ФЛ Eu^{2+} . В зонах 1–3 его относительная частота встречаемости составляет от нескольких процентов до 40 % всех выделений плагиоклаза, большинство которых не люминесцирует. В зоне 4 она почти 100 %. Cr^{3+} , являющийся центром окраски изумрудов, связан с мантийным источником. С тем же источником в данном месторождении связаны Ce^{3+} и Eu^{2+} , ответственные за ФЛ в апатите и плагиоклазе (в отличие от Mn^{2+} , источник которого здесь связан с гранитоидами). Поэтому апатит и плагиоклаз с сине-сиреновыми оттенками свечения могут служить поисковым признаком изумрудов.

Генетическая диагностика при поисках и геммологической оценке самоцветов. Оpozнание месторождения и/или региона, являющегося источником камня, задача, нередко (хотя далеко и не всегда) решаемая по спектрам люминесценции самоцветов благодаря высокой чувствительности метода к примесному составу элементов-люминогенов и тушителей.

В алмазах к настоящему времени выяснены модели следующих центров свечения: GR1 (красный), «638» (красный), N3 (зеленый), N3 (голубой) и N4 (зеленый), которые состоят из одной вакансии углерода плюс, соответственно, 0, 1, 2, 3, 4 (?) атома азота; сводку центров см. в [3, 8]. Алмазы с оранжево-красной ФЛ характерны для песчаных россыпей Украины, тогда как среди архангельских алмазов — всего несколько процентов кристаллов с такой ФЛ [6]. Тот факт, что архангельские алмазы отличаются от якутских отсутствием или очень слабой РЛ обусловлен, очевидно, большей степенью закалки архангельских алмазов в процессе остывания трубок по сравнению с более медленным их отжигом в якутских трубках [7]. В результате примесь азота распределилась и зафиксировалась в закаленных кристаллах более равномерно, в так называемой форме С; это одиночные нелюминесцирующие атомы N, замещающие углерод. В таких кристаллах гораздо меньше агрегатных центров азота в формах A, B1, B2, на основе которых формируются главные центры свечения. Люминесценции алмазов посвящено несколько книг и многие сотни статей. В спектрах люминесценции алмазов установлено порядка тысячи линий излучения, которые зафиксированы в широком диапазоне температур, длин волн и времен затухания. Наиболее полный их перечень и характеристики, а также список литературных источников приведены в обзоре [8].

Изумруды из месторождений России, Колумбии и Казахстана, а также искусственные изумруды, полученные гидротермальным и раствор-расплавным способами, отличаются положением R-линий и их шириной (по данным М.Л. Мейльмана и Н.С. Чекалина [5]). Различия составляют десятые доли нанометра. Это — очень тонкий признак, и перспектива его практического применения требует подтверждения статистическими испытаниями.

Александрит природный отличается почти всегда очень слабой ФЛ, а часто и ее отсутствием. КЛ же отмечалась во всех 170 кристаллах, изученных J. Ponahlo [9]. Некоторые кристаллы александрита из Малышевского месторождения (Урал) проявляют столь яркую КЛ хрома, что поначалу они даже были приняты за синтетические: яркость была примерно в 200 раз сильнее, чем у известных ранее кристаллов. В спектрах КЛ проявлены острые R-линии Cr^{3+} , причем почти без фона, как и в спектрах синтетических кристаллов с хромом. И только когда на исследование поступил кристалл в куске породы, убедились, что столь ярко светящийся александрит — природный. Приведенный пример показы-

вает, что сам по себе один метод, вообще говоря, не в состоянии дать достоверного заключения во всех реальных случаях. (Это вовсе не означает, что не бывает случаев с быстрым и однозначным решением.)

От решения прямой задачи — установления различия спектров ФЛ и КЛ образцов из различных месторождений или участков рудных тел — в принципе можно перейти к решению обратной задачи — выяснению возможности и идентификации места отбора образца по цвету или спектрам люминесценции.

Амазонит с зелено-голубой окраской (Кольский п-ов) дает зеленую ФЛ. Амазонит из другого участка того же месторождения с травяно-зеленой окраской не дает ФЛ, что свидетельствует о его обогащенности железом. Заметим, что зеленое свечение амазонита не обязательно означает, что максимум излучения центров приходится на зеленую часть. Ведь излучение любых центров претерпевает сильное перераспределение спектра, проходя через зеленое просвечивающее вещество самоцвета (реабсорбция). В спектре КЛ амазонита из Австрии, Мозамбика, России и США J. Ponahlo действительно наблюдал полосу с максимумом в зеленой части спектра при 522 нм [9], связанную, вероятно, с центром Mn^{2+} , излучающим при 570 нм. По люминесцентным данным очевидно, что в формировании зеленой окраски амазонита принимают участие центры Fe^{2+} , увеличение концентрации которых тушит ФЛ и одновременно смещает окраску самоцвета от голубой к зеленой части спектра. Но железо, конечно, не единственная причина окраски самоцвета, особенно его голубой компоненты.

Жемчуг речной нередко отличается от морского по розовому цвету ФЛ, обусловленной примесью Mn^{2+} . При КЛ и РЛ свечение речного жемчуга усиливается и становится алым.

Задача опознания натуральности камня может в ряде случаев решаться, исходя из сравнения с искусственными аналогами по яркости свечения и четкости спектра. Тесты на натуральность и фактуру окраски камня иллюстрируются следующими приемами и примерами.

По цвету и яркости ФЛ кустарно прокрашенных кораллов и жемчуга опознают искусственность их окраски, так как органические красители, в частности, красный и оранжевый, сами дают яркую красную и оранжевую ФЛ. Натуральная же окраска красных кораллов обусловлена несветящимися оксидами, гидроксидами и гумматами железа. Нередко жемчуг, искусственно окрашенный в черный или серый цвет, обнаруживает следы красителей по их яркой и пятнистой ФЛ, такой, какая не встречается в природе.

Трещиноватость драгоценных камней, например, изумруда и др., маскируемую промасливанием, можно выявить, если провести пропитку камня составом с добавкой любого органического люминофора. Достаточно появления его следов в масле или растворе, просочившимся в трещины, чтобы яркая люминесценция проявила топографию трещин. Этот прием можно использовать и при маркировке ценных участков самоцвета, не содержащих трещин.

Фосфоресценция или ТЛ топаза и кварца помогают опознать искусственное радиационное происхождение их окраски. Появление искусственного радиоактивного изотопа Al^{3+} в структуре алюмосодержащих кристаллов в процессе их окрашивающего облучения в реакторе обусловлено большим сечением захвата нейтронов атомами алюминия. При последующем распаде изотопа алюминия в кристалле накапливается светосумма, которая может быть реализована при термовысвечивании. Иногда, если концентрация изотопов высока, то в течение долгого времени можно наблюдать в темноте слабую фосфоресценцию облученных кристаллов.

Синие цейлонские и бирманские сапфиры отличаются по КЛ от синих сапфиров с искусственно наведенной окраской, первоначально бесцветных, облученных методом термомодификации. Необработанные синие сапфиры обнаруживают однородную КЛ пурпурного цвета с отчетливым спектром Cr^{3+} . В термообработанных сапфирах наблюдаются пятна КЛ розово-красного и лилового цвета, или же такие сапфиры совсем не светятся [9].

Технологическая диагностика, разбраковка и сортировка самоцветов. Технологические разделительные признаки самоцветов для разработки способов автоматической люминесцентной сепарации сырья выбирают так, чтобы окно селекции данного самоцвета перекрывалось как можно меньше с подобными окнами сопутствующих минералов. Основными параметрами, входящими в окно селекции, являются: интенсивность свечения в максимуме спектра люминесценции (а точнее, осредненная интегральная мощность излучения в некотором интервале длин волн) и время разгорания и/или затухания импульсов свечения. В последнее время разрабатываются способы обогащения руд при лазерном возбуждении ФЛ. В этом случае окно селекции формируется еще и длиной волны возбуждения, задаваемой лазером.

Рентгенолюминесцентная сепарация (РЛС) алмазосодержащих руд, впервые осуществленная в СССР М.Е. Богословским в 1938 г., давно уже стала основным способом извлечения алмазов во всем мире. Способ основан на автоматической селекции РЛ сигнала, поступающего в фотодатчик от алмазов в кусках дробленой руды, пролетающих через зону рентгеновского облучения. Разделительными признаками алмаза служат синий цвет РЛ и время затухания порядка 3–10 мс, причем кинетический признак оказался даже более эффективным. В указанное окно селекции не попадают люминесцирующие минералы, сопутствующие алмазу: полевые шпаты, карбонаты, циркон, а также, естественно, несветящиеся минералы. Извлечение алмазов составляет 98–99 %, причем теряются лишь алмазы мельче 1 мм (подробнее см. в обзоре [2]).

Другие виды самоцветного сырья, содержащие рубины, шпинель, клиногумит и благородный форстерит, являются перспективными объектами для РЛС — недорогого, неразрушающего и экологически чистого способа сортировки руд. Лабораторные исследования проб этих руд из месторождений Памира (Кухи-Лал, Снежное) дали следующие ориентировочные показатели извлечения в одноименный концентрат: 85 % шпинели с красной РЛ, 75 % клиногумита с желтой РЛ, по 50 % благородного форстерита с оранжевой РЛ и рубинов с красной РЛ, причем потери в этом технологическом звене восполнимы в последующих циклах обогащения [4]. Отметим, что иногда можно обогатить руду, содержащую нелюминесцирующие самоцветы, «идя от противного» — выделить по люминесценции пустую породу, например, доломит и кальцит по их красному свечению, резко сократив тем самым объем материала, направляемого на последующую сортировку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горобец Б.С., Кононов О.В., Рогожин А.А., Квитко Т.Д. Применение люминесценции в геммологии // Вестник геммологии. — 2003 (в печати).
2. Горобец Б.С., Новиков В.В. Люминесцентное обогащение руд // Природа. — 1991. — № 3. — С. 44–49.
3. Горобец Б.С., Рогожин А.А. Спектры люминесценции минералов: Справочник. — М.: РИЦ ВИМС. «Минеральное сырье», 2001.
4. Литвинцев Э.Г., Горобец Б.С., Рогожин А.А. // Горный журнал. — 1998. — №3. — С. 50–54; продолж. № 6. — С. 47–50.
5. Мейльман М.Л., Чекалин Н.С. Спектролюминесцентные характеристики изумрудов различного происхождения // Вестник геммологии. — 2001. — № 2. — С. 21–27.
6. Нерентгенолюминесцирующие кимберлитовые алмазы / З.В. Бартошинский, С.Н. Бекеша, В.В. Вержак и др. // Минерал. журнал. — 1990. — Т. 12, № 2. — С. 15–19.

7. Спектры фотолюминесценции алмаза из кимберлитовых трубок севера Европейской платформы / З.В. Бартошинский, С.Н. Бекеша, Т.Т. Винниченко и др. // Там же. — 1992. — Т. 14, № 3. — С. 25–29.

8. Gorobets B. and Rogojine A. Luminescent Spectra of Minerals: Reference-book. — Moscow: RPC VIMS, 2002.

9. Ponahlo J. Cathodoluminescence as a Tool in Gemstone Identification / In: Cathodoluminescence in Geosciences, Eds: Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D. — Berlin-Heidelberg-N.-Y.: Springer Verlag, 2000. — P. 479–497.

10. Portnov A., Gorobets B., Rogojine A., Bushev A., Kvitko T. Luminescent geochemical anomalies in the lithosphere and haloes of ore bodies // Periodico di Mineralogia. — 2001. — V. 70, No 3. — P. 85–100.

© Е.М. Сучкова, В.М. Дубовская, А.В. Кузьмина, 2004

Е.М. Сучкова, В.М. Дубовская (ВНИИСИМС),
А.В. Кузьмина (РХТУ)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЦВЕТА ЮВЕЛИРНОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО КВАРЦА

Синтетическое кристаллосырье занимает обширную стабильную нишу на мировом рынке ювелирных материалов. В промышленных масштабах производятся аналоги наиболее ценных ювелирных камней — алмаза, рубина, сапфира, изумруда и др. Цена искусственных камней, помимо других факторов, в большой степени зависит от их сходства по геммологическим характеристикам с природными аналогами и, в первую очередь, по цвету.

Всероссийский научно-исследовательский институт синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС) — крупнейший в России научный центр с мощной производственной базой по разработке технологий и производству технических кристаллов специализируется и на производстве ювелирного кристаллосырья. ВНИИСИМСу принадлежит приоритет в разработке технологии выращивания аметиста, голубого и синего кварца.

Опытно-экспериментальный завод ВНИИСИМС с начала 70-х годов выпускает промышленные партии различных разновидностей ювелирного кварца, выращенных гидротермальным методом: аметиста, цитрина, дымчатого кварца и мориона. Перечисленные разновидности кварца по геммологическим характеристикам полностью соответствуют природным аналогам. Разработана также технология выращивания зеленого кварца с богатой гаммой оттенков: золотисто-, голубовато-, травянисто-зеленого. Природные золотисто-зеленые кристаллы кварца, называемые празиолитом, получают при отжиге аметиста с некоторых месторождений Бразилии. Кристаллы кварца от нежно-голубого до ярко-синего цвета (торговое название — перунит) в природе не встречаются.

Ювелирный кварц ВНИИСИМСа получил признание не только на внутреннем, но и на мировом рынке. Успехи ВНИИСИМСа в производстве ювелирных кристаллов неоднократно отмечались наградами на российских и международных выставках.

На ювелирный синтетический кварц были составлены технические условия, регламентирующие параметры качества кристаллосырья, в частности цвет (окраску). Согласно ТУ 41-01-304–77 «Аметист ограночный» и ОСТ 41-07-222–83 «Кварц ограночный в сырье» цвет кварца определяется путем замера на спектрофотометре оптической плотности кристалла, характеризующей интенсивность (густоту) окраски. Но, как оказалось, оценка цвета только по интенсивности окраски кристалла не соответствует требованиям современного рынка. В настоящее время в мировой коммерческой практике применяются визуальные экспресс методы оценки цвета юве-

лирных камней, с определением трех его составляющих: оттенка, насыщенности, тона. Поскольку цвет является, по сути, главной геммологической характеристикой синтетического кристаллосырья, определяющей его цену, появилась необходимость разработки простого в применении, быстрого и недорогого способа оценки цвета ювелирного синтетического кварца. Задача решалась лабораторией геммологических исследований (ЛГИ) и отделом физических исследований (ОФИ) ВНИИСИМС. Для получения характеристики цвета, отвечающей современным требованиям и в то же время достаточно объективной, оценка (характеристика) цвета образцов кварца проводилась двумя методами: по системе Геммологического института Америки (GIA) [4], общепринятой в коммерческой практике, и методом инструментальной колориметрии по системе МКО, контролирующим объективность характеристики, полученной визуальным методом [1, 2, 3].

Геммологическим исследованиям подверглись более 80 образцов синтетического ювелирного кварца (по 15–20 образцов каждой цветовой разновидности). На основе результатов исследований разработана предлагаемая ниже «Методика оценки цвета ювелирного синтетического кварца».

Методика разработана для получения характеристики цвета разновидностей ювелирного синтетического кварца методом визуальной оценки по системе GIA. Объективность полученной оценки контролируется методом инструментальной колориметрии, позволяющим получить количественные характеристики цвета (колориметрические параметры) [1, 2, 3]. Результаты оценки цвета предназначены для внесения дополнений в ОСТ 41-07-222–83 и ТУ 41-01-304–77 для адаптации ювелирного кварца, производимого ВНИИСИМС, к требованиям и условиям современного рынка.

Сущность метода визуальной оценки цвета по системе GIA. В основу метода положены принципы оценки цвета природных ювелирных цветных камней с помощью набора эталонов цвета Gem Set [4]. Оценка (характеристика) цвета разновидностей ювелирного синтетического кварца проводится на неограниченных и ограниченных образцах кварца для того, чтобы продемонстрировать заказчику цвет кварца в кристаллосырье и в огранке.

Неограниченный образец представляет собой ориентированный блок, выпиленный из товарного кристалла размером 32×17 мм, толщиной 10 мм, полированный по плоскостям, перпендикулярным оси Z, на котором ранее была измерена оптическая плотность (интенсивность окраски) кварца данного цикла (ОСТ 41-07-222–83). Ограниченный образец по типу огранки, форме и размеру идентичен эталону из набора Gem Set (кр-57, диаметр 10 мм).

Оценка цвета заключается в определении цветового пространства данного образца с помощью малого набора эталонов Gem Set (31 эталон) и далее в более точном описании цвета путем подбора эталонов из большого набора Gem Set (324 эталона), идентичных (или очень близких) по цвету образцам кварца (неограниченному и ограниченному).

Перечень оборудования и вспомогательных материалов:

малый геммологический набор эталонов цвета Gem Set (31 эталон);

большой геммологический набор эталонов цвета Gem Set (324 эталона);

источник освещения, эквивалентный рассеянному дневному свету (лампа дневного света «Dazog» или другой аналогичной модели);

бумага белая формат А4 для лазерной оргтехники;

пинцет геммологический с зажимом;

салфетки мягкие (х/б или замша);

вода дистиллированная;

спирт этиловый.

Подготовка рабочего места:

включить лампу дневного света;

положить на стол лист белой бумаги для создания общего белого фона, так чтобы на него падал свет лампы;

расположить на столе слева от лампы оба геммологических набора эталонов цвета, так чтобы на них не попадал свет лампы; подготовить образцы кварца — протереть спиртом и обсушить салфеткой;

эталон цвета, с которыми будет проводиться сравнение, сполоснуть в теплой дистиллированной воде и обтереть салфеткой, убедиться в полном удалении отпечатков пальцев с поверхности эталона.

Последовательность операций по оценке цвета. Оценка цвета проводится вначале для ограниченных, затем для неограниченных образцов. Описание цвета выполняется по правилам, изложенным в Лабораторном руководстве по оценке цветных камней по системе GIA [4] и в инструкции, приложенной к большому геммологическому набору Gem Set.

Ограниченные образцы закрепляются в зажиме пинцета. Сравнение цвета проводится по ограниченной части эталона. Цвет наблюдается через площадку, на расстоянии 40–50 см от глаз. Источник освещения располагается над образцом на расстоянии 15–25 см.

Неограниченные образцы держат двумя пальцами за торец блока. Описывается цвет, просматривающийся через полированную плоскость (32×17 мм) при наблюдении образца на белом фоне.

При затруднении в выборе эталона, идентичного по цвету образцу кварца, описание цвета проводится с помощью интерполирования. При описании цвета в образце кварца определяются: **оттенок, тон, насыщенность** [4]. Оценка (характеристика) цвета выражается символами или словесным описанием. Примеры характеристики цвета:

1. В 6/4 — синий, тон средне-темный, насыщенность умеренно сильная;

2. bG 4/2 — голубовато-зеленый, тон средне-светлый, слегка сероватый оттенок.

Способы обработки результатов. Для повышения объективности результатов описания цвета выполняются двумя или тремя специалистами независимо друг от друга. При возникновении разногласий в характеристике оттенка, тона, насыщенности оценка цвета дается методом интерполяции. Результаты оценки выборочно сверяются с данными, полученными методом инструментальной колориметрии, — колориметрическими параметрами [1, 2, 3] и с данными замера оптической плотности неограниченного образца по ОСТ 41-07-222–83.

Требования к технике безопасности. При работе с лампой дневного света следует соблюдать правила эксплуатации электроприборов при напряжении 220 В.

Описанная выше методика применяется в лаборатории геммологических исследований ВНИИСИМС для оценки цвета промышленных партий цветного кварца, выпускаемого опытно-экспериментальным заводом ВНИИСИМС. Цель применения данной методики — адаптация ювелирного синтетического кристаллосырья к требованиям внешнего рынка, и повышение его конкурентоспособности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по определению цветовых параметров кристаллов аметиста. — ВНИИСИМС, ОФИ, 1995.
2. Методика измерения количественных параметров цвета кристаллов в виде кабашонов и ограниченных вставок. — ВНИИСИМС, ОФИ, 1999.
3. Методика измерения количественных параметров цвета разноокрашенных кристаллов кварца. — ВНИИСИМС, ОФИ, 1997.
4. Оценка цветных камней. Лабораторное руководство. Авторские права Геммологического Института Америки, 1997.

Е.В. Жариков, Н.Г. Горащенко, Э.А. Ахметшин (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

ТЕХНОЛОГИЯ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ: НОВАЯ УНИКАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ В РХТУ

С активным вхождением нашего государства в общемировую рынок быстрыми темпами стал развиваться и внутренний (до этого находившийся в зачаточном состоянии) рынок товаров и услуг, что привело к значительному дефициту специалистов в некоторых сферах человеческой деятельности. Остро почувствовалась нехватка работников таможенной службы со знанием геммологии, технологов знающих специфику и требования ювелирного производства, специалистов технологической геммологии (знакомых с процессами облагораживания и обработки ювелирных камней).

Потребность на рынке труда в специалистах этих категорий и послужила основанием к тому, чтобы открыть в Российском химико-технологическом университете на базе кафедры химии и технологии кристаллов новую специализацию — «Технология драгоценных камней». Подготовка специалистов этого профиля началась в 2000 г. и сегодня уже можно подвести некоторые предварительные итоги этой работы.

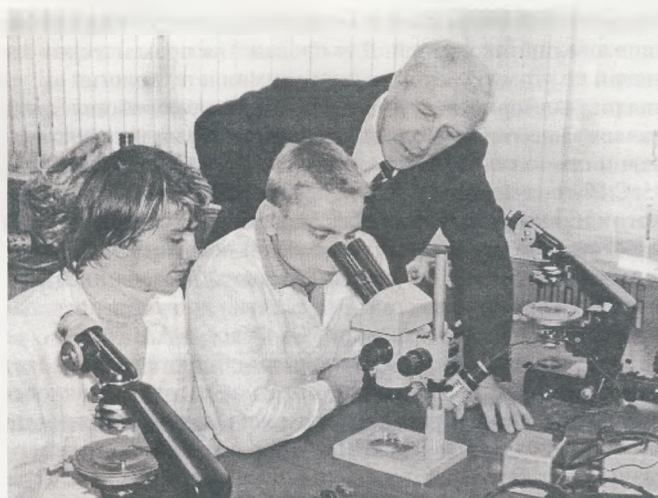
Идея появления новой специализации с геммологическим профилем на нашей кафедре не нова. Еще в начале 90-х годов прошлого столетия «ювелирная» специализация могла появиться на кафедре химии и технологии кристаллов РХТУ. Действительно, на нашей кафедре в течение многих лет проводятся работы по получению и исследованию разнообразных синтетических кристаллов, в том числе исследования в области искусственных ювелирных камней. Однако в силу ряда причин новая специализация смогла появиться только пару лет назад.

Первый набор был проведен в конце 1999 г. из числа студентов 4-го курса специальности 2510 «Химическая технология монокристаллов, материалов и изделий электронной техники». Многие студенты захотели специализироваться в области технологии драгоценных камней. Набор проводился на конкурсной основе по итогам собеседования. Была организована группа из 6 человек, которая начала заниматься по новому направлению в весеннем семестре 2000 г. Начиная с сентября 2000 г., на нашу кафедру ведется ежегодный набор студентов на эту специализацию в количестве 10 человек. Открытие новой специализации весьма благотворно сказалось на конкурсе. Значительно возросло число заявлений о поступлении на кафедру, в том числе и на контрактной основе.

Цель новой специализации — подготовка специалистов в области ювелирных технологий как природных, так и искусственных драгоценных камней. Наши выпускники способны выращивать разнообразные искусственные драгоценные камни, облагораживать природные ювелирные камни и развивать технологии их получения, облагораживания и обработки.

В соответствии с поставленной задачей была разработана программа обучения студентов, принятых на эту специализацию, был разработан новый учебный план, претворение которого в жизнь в силу его специфики оказалось непростым делом, поскольку его пришлось вписывать в действующий учебный план специальности. Активное участие в разработке и внедрении программы для специализации принял участие проф. МГГА Мельников Е.П. и доц. РХТУ Кулешов О.Г.

Кроме стандартных курсов, обязательных для выпускников специальности 2510, студенты, начиная с 8-го семестра,



Е.В. Жариков проводит занятия со студентами

получают знания по таким спецкурсам как: минералогия, геммология, технология драгоценных камней, оборудование для производства и обработки драгоценных и поделочных камней, основы технологий обработки камня, коммерческая геммология, основы ювелирного дела.

Минералогия — первый и собственно базовый курс для этой специализации. Лекции по этому курсу делятся на три больших раздела. В первом разделе — вводном — студенты знакомятся с понятиями минералогии, ее целями и задачами, методами диагностики (полевыми и лабораторными), получают представления о генезисе, типоморфизме минералов и т.д. Во втором разделе — систематической минералогии — студенты знакомятся с современной классификацией минералов и ее особенностями. Для полноценного освоения учащимися минералогического материала на кафедре была создана минералогическая коллекция, которая постоянно пополняется. В настоящий момент коллекция кафедры насчитывает более 370 минералогических разновидностей. В третьем разделе даются определение петрографии и ее общие понятия — представления о горной породе как минеральном агрегате, ее текстуре и структуре.

На пятом курсе с 9-го семестра студенты слушают курсы геммологии и технологические курсы. Геммология — важнейший спецкурс, который состоит из двух частей. В первой части даются основные определения и понятия, аппаратура, методы диагностики и принципы оценки качества и цены ювелирных камней. Во второй рассматриваются драгоценные и полудрагоценные камни с их свойствами и диагностическими признаками. Часть лекций по этому курсу читается в РХТУ, а часть лекций и практических занятий проводится в ГИНАЛМАЗЗОЛОТО ведущими в этой области специалистами — Р.Б. Зезиным и Л.К. Бицовой.

Технология драгоценных камней — это наиболее обширный курс, охватывающий вопросы получения искусственных драгоценных камней и методики облагораживания как искусственных, так и природных драгоценных камней. Занятия по этому курсу проводят как преподаватели кафедры — Ахметшин Э.А. и Санкова Ю.В., так и специалисты из крупнейшего в этой области исследовательского института России ВНИИСИМСа — Цинобер Л.Б., Сучкова Е.М., Репина О.В., Ивичева С.Н., Иванова О.А.

Цель курса «Основы технологий обработки камня» — ознакомление студентов с основными методами и технологиями обработки ювелирных камней. По этому курсу проводятся как лекционные, так и практические занятия, на которых

учащиеся знакомятся с азами огранки и изготовления кабашов ювелирных камней. Для проведения практических занятий по этому курсу на кафедре химии и технологии кристаллов была организована лаборатория по обработке кристаллов. Занятия проходят в этой лаборатории под руководством преподавателя кафедры Ахметшина Э.А.

С 10-го семестра читаются основы коммерческой геммологии и ювелирного дела. Коммерческая геммология — это собственно раздел курса геммологии, посвященный рынку ювелирных камней, его развитию и оценке драгоценных камней и ювелирных изделий. Эти занятия проводит преподаватель кафедры геммологии МГГА Федоров А.В.

Заключительный курс «Основы ювелирного дела» — дает основные представления о технологиях изготовления ювелирных изделий. Практические и лекционные занятия по курсу проводятся в ГИНЦВЕТМЕТе в творческой мастерской «Свят-Озеро» Кулешовым О.Г. и Мадатяном А.Г. Студенты под руководством опытных мастеров разрабатывают дизайны, а затем изготавливают ювелирное изделие.

Отличительной чертой выпускников нашей кафедры является то, что это специалисты не только по диагностике и оценке ювелирных камней. Они имеют обширные знания в области кристаллохимии, методов исследования структуры и свойств кристаллов, обладают необходимыми навыками в области роста синтетических кристаллов, облагораживания и обработке ювелирных камней.

Кроме занятий по специальным предметам студенты принимают активное участие в научно-исследовательской работе. Основными направлениями исследований, проводимых на кафедре, являются работы по обработке ювелирных камней, их облагораживанию и синтезу. Для проведения работ в этом направлении лаборатория по обработке кристаллов была оснащена специальными инструментами и оборудованием. Так, был закуплен дорогостоящий набор геммологического оборудования для диагностики камней и мощный компьютер, позволяющий в режиме реального времени заниматься моделированием формы и окраски драгоценных камней.

На кафедре была разработана методика по матированию ювелирных камней и применению этой технологии для со-

здания новых форм фантазийной огранки. В процессе проведения этих исследований был сконструирован и собран оригинальный прибор для оценки качества и скорости матирования — диффузный рефлектометр. Полученные при проведении этих исследований материалы были использованы при написании дипломной работы одним из студентов и защищены с отличием. В настоящий момент ведутся работы по созданию новых форм огранки — получения профилейных граней (асферических, конусных, концентрических и др.). Эти разработки кафедры уже были высоко оценены на крупнейшей в нашей стране специализированной выставке — Московской международной ювелирной и часовой выставке «Ювелир — 2003» номинацией «За раскрытие красоты драгоценных камней».

В области облагораживания ювелирных камней активно ведутся исследования по термодиффузионному окрашиванию топазов и пропитке их полимерными композитами совместно с Институтом экспериментальной минералогии РАН под руководством проф. Балицкого В.С.

Среди самых интересных тем по синтезу перспективных материалов, пожалуй, самой актуальной является синтез карбида кремния. Муассонит (карбид кремния) имеет колоссальные перспективы как полупроводниковый, оптический и ювелирный материал с набором уникальных свойств. Эти работы ведутся совместно с несколькими институтами, в том числе с Физико-энергетическим институтом (г. Обнинск).

Студенты специализации проходят практику во ВНИИСИМСе, в процессе которой получают знания и навыки по выращиванию кристаллов, их диагностике и оценке. В этой работе со студентами активную помощь нам оказывают зам. директора ВНИИСИМСа по науке Полянский Е.В., уч. секретарь института Яроцкая Е.Г., а также начальник отдела экспериментальной минералогии Марьин А.А. и другие сотрудники института. Совместно с ВНИИСИМСом ведутся новейшие изыскания в области синтеза перспективных кристаллов аспирантами кафедры химии и технологии кристаллов. В 2002 г. кафедра химии и технологии кристаллов стала действительным членом Общества геммологов России.

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

© И.Г. Черненко, 2004

И.Г. Черненко (ГПП «Центргеология»)

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И МАЛЫЙ БИЗНЕС

В последнее время экономические условия деятельности малых и средних компаний, работающих в отраслях недропользования, ухудшились. В частности, такие предприятия в нефтедобыче, как правило, осваивают в основном мелкие и средние месторождения с остаточными, трудноизвлекаемыми запасами или ведут работы на истощенных и малорентабельных залежах. Монотоварный характер производства делает малые и средние предприятия особо чувствительными и уязвимыми к постоянно меняющимся условиям хозяйствования: колебаниям цен на рынке, налоговым изменениям и т.п.

Как известно, рентный доход представляет собой сверхнормативный чистый доход от разработки месторождения.

Справедливое изъятие рентных доходов является важной задачей для экономики России и повышения эффективности природопользования. Природно-ресурсная рента к тому же является фактором территориального развития.

Основным способом изъятия ренты в действующей налоговой системе являются вывозные таможенные пошлины, а также налог на добычу полезных ископаемых, введенный с 1 января 2001 г. (гл. 26 НК РФ), взамен регулярных платежей за добычу полезных ископаемых, отчислений на воспроизводство минерально-сырьевой базы и акциза на нефть.

Базой для исчисления налога на добычу полезных ископаемых является стоимость добытого полезного ископаемого. Для всех недропользователей установлена единая ставка, дифференцированная лишь по видам полезных ископаемых, а для нефти — и по уровню мировых цен. Многие ученые и экономисты-практики уже отметили, что налог на добычу не учитывает природной индивидуальности каждого месторождения, не отражает особенностей и текущего состояния нефтегазового сектора, а также степень выработанности месторождений. Месторождение как объект добычи и себес-