

А. В. ТОЛСТОВ

ТОМТОР

кладовая «редкостей»

Еще не так давно о промышленном развитии страны судили по объему выплавленного чугуна и стали. Но время «железа и угля» прошло: в последние десятилетия в мире идет неуклонный рост потребления так называемых редких элементов, связанный с появлением и развитием новых технологий и новых отраслей промышленности. Покупая сегодня сложную оргтехнику, устраивая фейерверк или пользуясь сотовым телефоном, мы даже не задумываемся о том, что они созданы с применением редких элементов – самария, неодима, церия, стронция и т.д. Уже сегодня отечественная промышленность испытывает дефицит в таких элементах, несмотря на относительно небольшие потребности, которые к тому же удовлетворяются почти исключительно за счет импорта. При этом в России разведаны и готовы к освоению колоссальные запасы редких элементов, разработка которых может обеспечить «сырьевую независимость» страны на сотни лет вперед

ТОЛСТОВ Александр Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). В 1985–2012 гг. работал в ПГО «Якутскгеология», ПНО «Якуталмаз» и АК «АЛРОСА». В 1986 г. открыл аномально рудоносные породы на участке Буранный массива Томтор. Заслуженный геолог Якутии; удостоен Премии им. А. Н. Косыгина (2003) и звания «Почетный разведчик недр» (2011). Автор и соавтор более 110 научных работ, в том числе 9 монографий

Ключевые слова: Томтор, щелочно-ультраосновные породы, карбонатиты, кора выветривания, редкоземельные элементы, ниобий.

Key words: Tomtor, alkaline-ultrabasic rocks, carbonatite, crust of weathering, rare earth elements, niobium

© А. В. Толстов, 2013

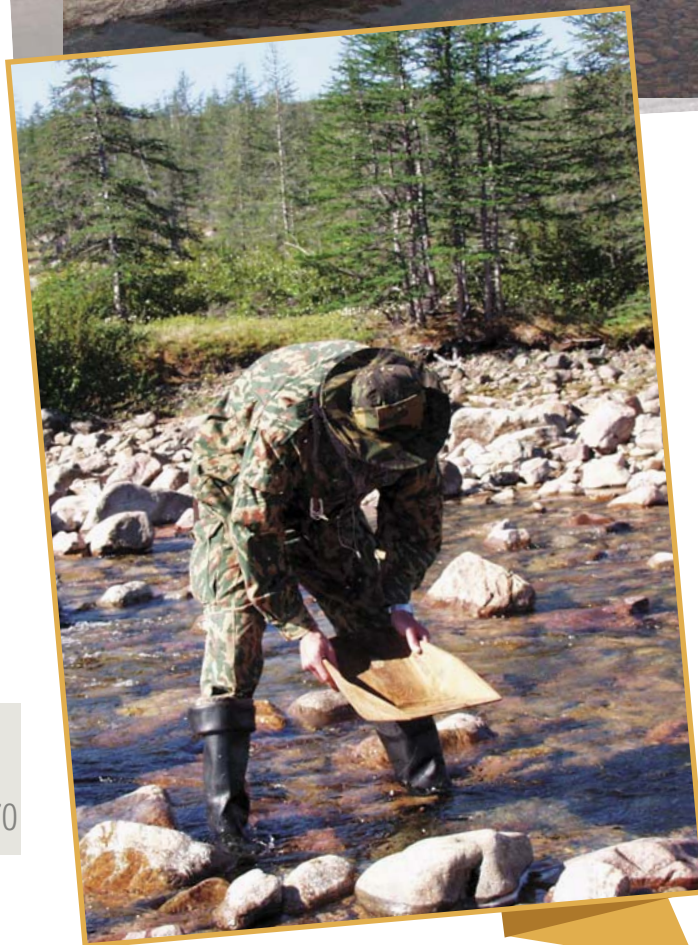
НАУКА из первых рук <http://scfn.ru/papers/tomtor-kladovaya-redkostey/>

Рудный массив Томтор расположен на самом севере Якутии, в 250 км от побережья Северного Ледовитого океана. Открыли его еще в конце 1950-х гг. прошлого века ленинградские геологи С. А. Гулин и Э. Н. Эрлих. Примечательно, что один из фактических первооткрывателей Томтора Сергей Гулин послужил прообразом Сергея Гурина, главного героя культовой книги о жизни советских геологов той поры – романа О. Куваева «Территория».

Уникальность массива – в гигантском месторождении комплексных руд: на сегодняшний день государственным балансом учтены запасы десяти химических элементов, но все же визитная карточка Томтора – это ниобий, иттрий, скандий и лантаноиды, присутствующие здесь в огромных количествах и в уникальных концентрациях.

Главные минералы руд Томтора – ниобиевый пирохлор и редкоземельные фосфаты. Обычно их содержание в породах не превышает 1–5%. Однако на Томторе эти минералы являются, по сути, породообразующими, составляя от 10 до 80%! Фактически, речь идет о настоящем ниобий-редкоземельном концентрате, для получения которого из обычной руды требуются мощные обогатительные фабрики. Здесь же, на Томторе, это «дело рук» самой природы!





Будни геолога-поисковика, с одной стороны, непросты – тяжелый труд вдали от обжитых мест, один на один с зачастую недружелюбной природой. С другой стороны, именно в этих неизведанных уголках человеку открывается нетронутая цивилизацией красота

К сожалению, несмотря на интерес, проявленный к уникальному месторождению с самого его открытия, удаленность Томтора на тысячи километров от промышленных районов стала объективной причиной, препятствующей его освоению. И даже теперь, спустя полвека после открытия, настоящее и будущее этого гигантского «редкого» месторождения остаются весьма неопределенными.

Так нужен ли Томтор сегодняшней России, учитывая кардинальные перемены, произошедшие в ее минерально-сырьевой базе и структуре мировой экономики?

В «редкоземельном» веке

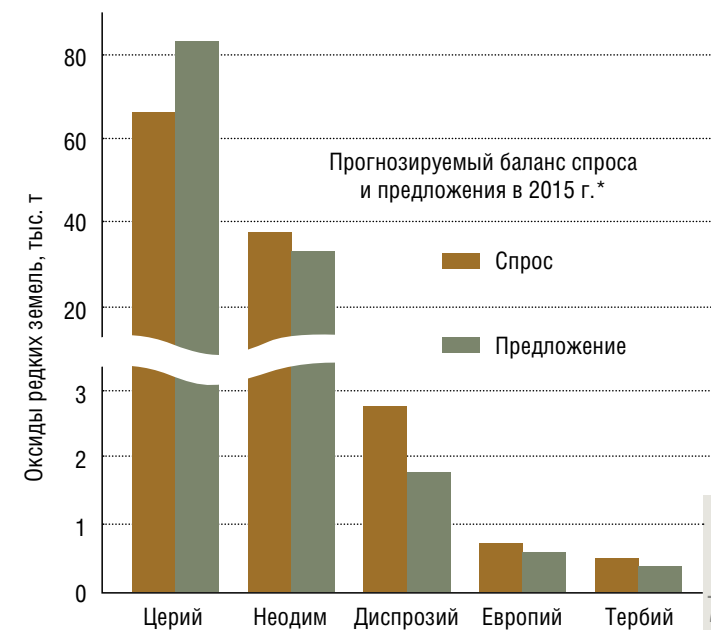
Само словосочетание «редкие элементы» достаточно условно и традиционно используется с тех пор, когда большая часть их действительно была редкой даже не столько по содержанию в недрах, сколько по применению в промышленности. Со временем в этой «модной» группе побывало более пятидесяти химических элементов, включая те, которые сегодня используются в качестве основных конструкционных материалов при производстве предметов обихода и товаров повседневного спроса (например, титан, молибден, олово и др.).



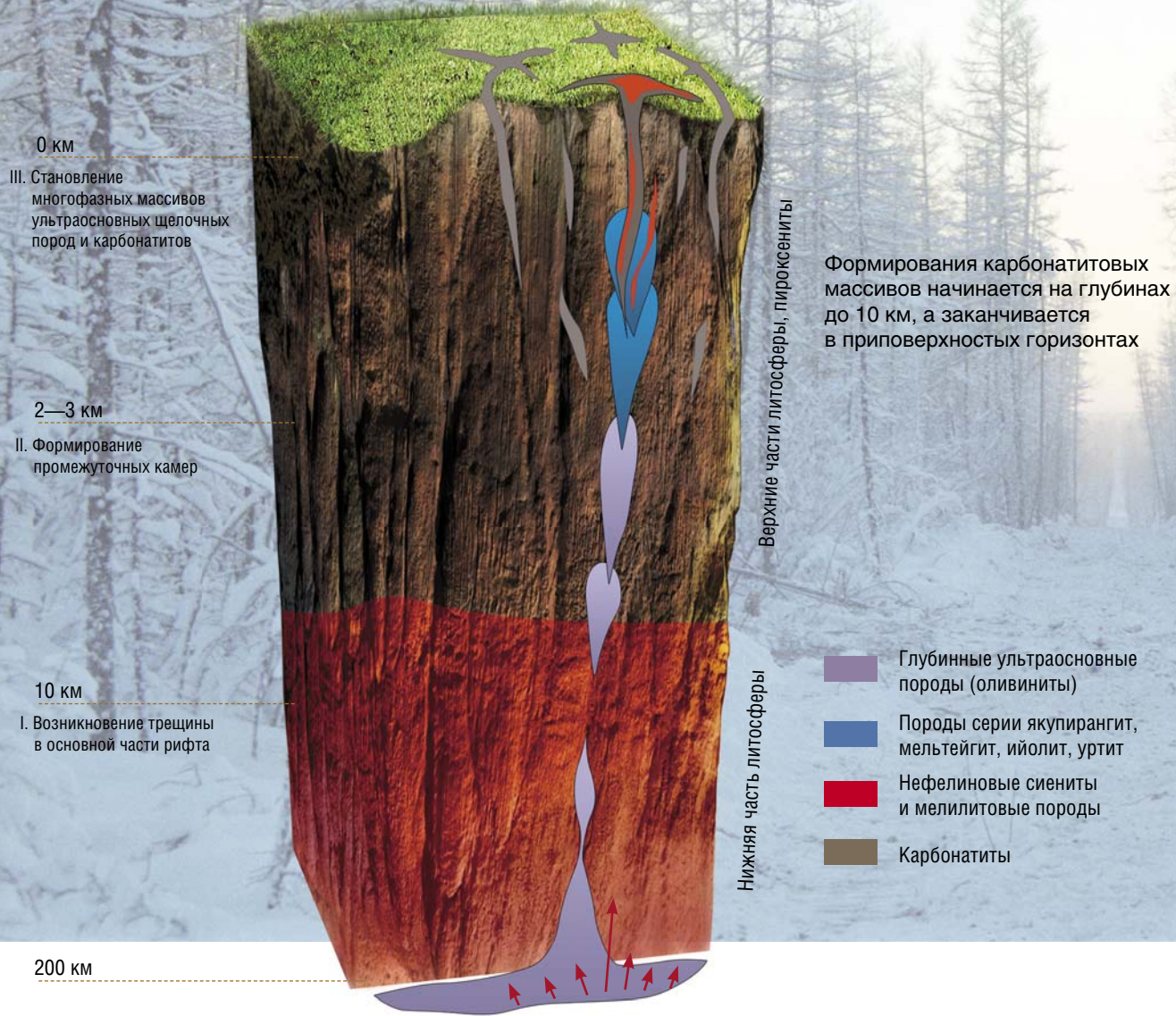
ПО ЗАПАСАМ – ВТОРЫЕ

Мировой рынок редких элементов отличает парадоксальная диспропорция: львиную (до 90 %) долю рынка ниобия контролирует Бразилия, а редкоземельных элементов – Китай, на протяжении последних полутора десятков лет поставлявший их по всему миру по низким ценам. В 2010 г., когда случился «редкоземельный» кризис, Китай был вынужден резко ограничить экспорт, чтобы удовлетворить возросший внутренний спрос на это сырье. Последовавший многократный рост цен на редкие элементы показал всем развитым странам, что в условиях монополизированного рынка очень недальновидно ориентироваться исключительно на импортное сырье, как это до сих пор делается в России.

По разведанным запасам редкоземельных элементов наша страна сегодня занимает второе место в мире после Китая, а по ресурсам мы безусловные лидеры. У нас имеются крупнейшие месторождения ниобия и редких земель (Томторское, Чуктуконское) и тантала (Катугинское). Большая часть запасов этих элементов учитывается в Государственном балансе в виде попутных компонентов комплексных руд (преимущественно апатита). В результате, благодаря добыче этих руд, с баланса ежегодно списывается более 80 тыс. т редкоземельных оксидов, в то время как реально в виде товарных продуктов их извлекается не более 1,5—2,5 тыс. т. Таким образом, в отходы поступает количество редкоземельных элементов, в 20 раз превышающее потребности отечественной экономики. Однако в России отсутствуют производственные мощности, необходимые для переработки таких отходов, а строительство новых в современных условиях экономически нецелесообразно



Открытие новых сфер приложения изменило структуру потребления редких элементов: наиболее дефицитными становятся неодим, празеодим, тербий и диспрозий, которые используются в производстве электромобилей. Судя по прогнозам специалистов, спрос на некоторые из этих элементов не будет удовлетворен в течение ближайших лет. По: (Похиленко, Толстов, 2012)



Месторождения редких элементов часто связаны с карбонатитами, как в случае Томтора.

Карбонатитами называют глубинные породы, в состав которых входит более половины карбонатов. Эти породы формируются в тесном родстве с ультраосновными щелочными породами путем дифференциации магмы в глубинных магматических очагах. Очаги обычно приурочены к магмоподводящим разломам, которые расположены на глубинах 1—10 км и перекрыты толщей земной коры, затрудняющей подъем магмы.

Процессы дифференциации магмы, приводящие к образованию карбонатитов, идут в особых условиях: очаг должен залегать не слишком глубоко, чтобы давление не препятствовало процессам образования карбонатитов, но и не слишком близко к поверхности, чтобы не допустить их быстрого остывания. В дальнейшем карбонатитовая и ультраосновная магма внедряются в приповерхностные слои, где и формируют жильные образования. Обычно размеры таких карбонатитовых тел не превышают 1 км в диаметре, однако Томтор в этом смысле уникален: диаметр его центрального тела составляет около 6 км.

Массивы карбонатитов приурочены к наиболее проницаемым участкам, т. е. к местам разветвления, сочленения и пересечения разнонаправленных тектонических разломов. Из всех комплексов ультраосновных щелочных пород наиболее рудоносны именно карбонатиты. Но наиболее богатыми являются продукты приповерхностного изменения (выветривания) карбонатитов, которые и формируют промышленные типы руд, содержащие целый комплекс полезных ископаемых: ниобий, фосфор, железо и редкоземельные элементы

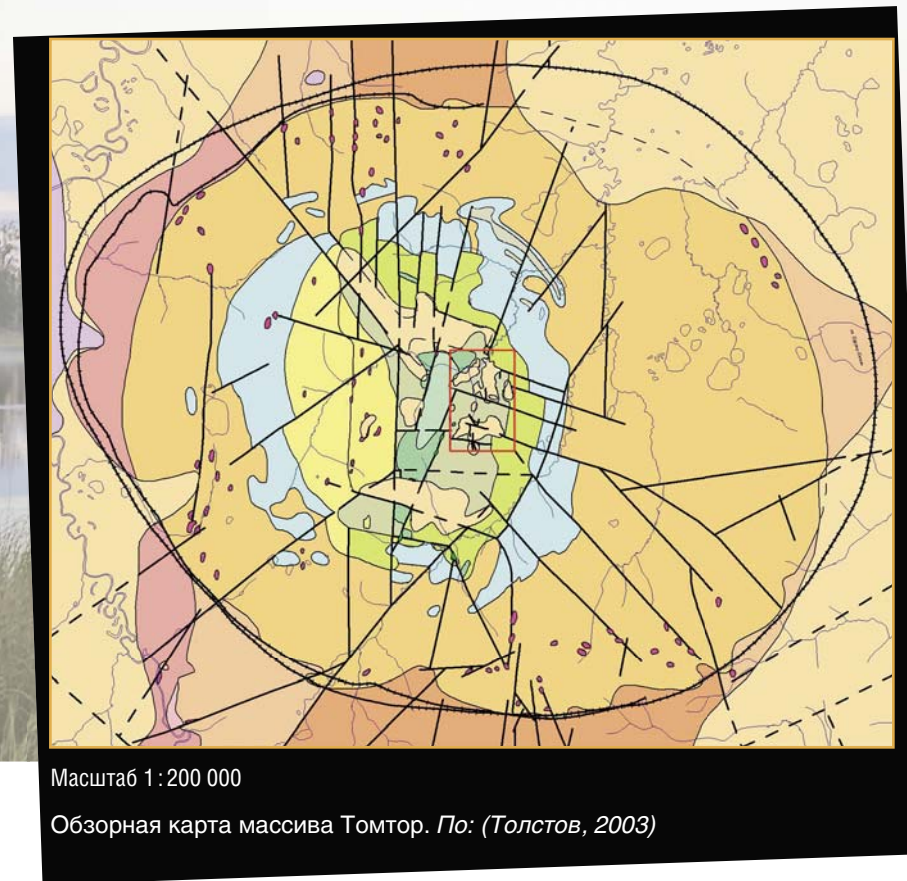
Эти пузырьки – газо-жидкие включения в пироксене, типичном минерале ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, видны лишь при очень большом увеличении. Экспериментальным нагреванием можно точно установить условия образования той или иной породы: температура гомогенизации, при которой такие включения в минерале становятся однородными, и считается температурой образования этого минерала. Так было установлено, что «пузырьки» в пироксене образуются лишь на больших глубинах и при высоких (свыше 1000 °С) температурах

Сейчас «редкими» принято называть большую группу из 35 элементов, в которую входят редкие металлы (тантал, ниобий, литий, бериллий, цирконий и др.) и 17 редкоземельных элементов (скандий, иттрий, лантан и лантаноиды).

По утверждению специалистов, промышленно-экономический уровень развития современных государств определяется масштабами потребления не столько чугуна и стали, сколько именно редких металлов. Без преувеличения можно сказать, что в современном мире все аэрокосмические, ядерные, сверхжаростойкие, сверхмагнитные, сверхлегкие, сверхтвердые и сверхпрочные конструкционные материалы создаются либо

на основе, либо с использованием редких элементов. Многие редкие металлы, долгое время почти не находившие применения, в настоящее время вызвали к жизни целые области современной промышленности, науки и техники, такие как солнечная энергетика, сверхскоростной транспорт на магнитной подушке, инфракрасная оптика, оптоэлектроника, информационные и компьютерные технологии и многое другое.

Современный мировой рынок редких элементов характеризуется своеобразным парадоксом, заключающимся в относительно низкой стоимости элементов цериевой группы (лантан и церий), обеспеченных хорошей сырьевой базой (преимущественно Китаем),



Масштаб 1 : 200 000

Обзорная карта массива Томтор. По: (Толстов, 2003)

и чрезвычайно высокой стоимости другой группы, куда входят иттриевые редкоземельные элементы и скандий, что объективно сдерживает их потребление.

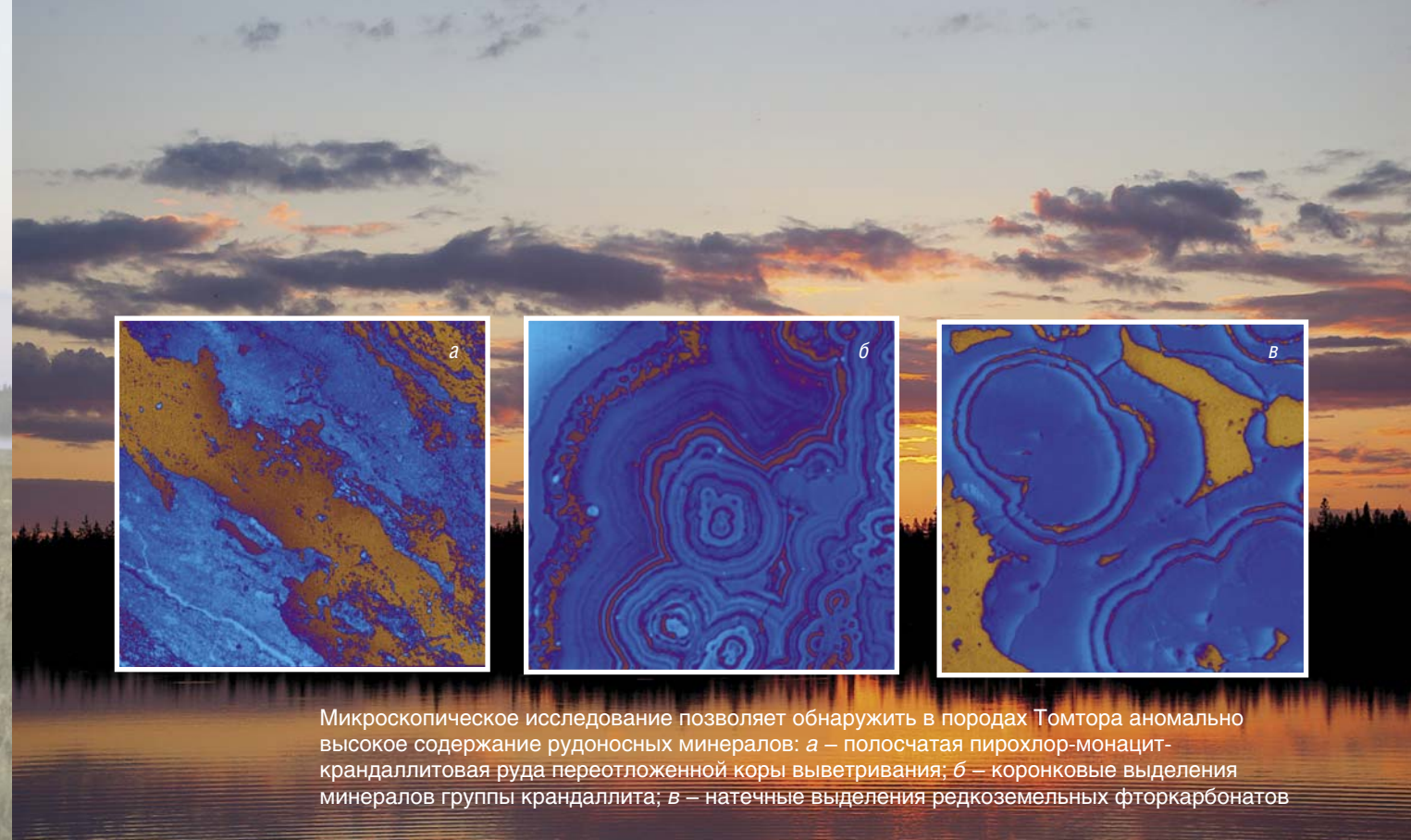
В целом же в современном мире наблюдается кардинальная диспропорция в потреблении редких элементов на душу населения в различных странах, исчисляемая разами и даже порядками. Потребление редких элементов на тонну стали в пересчете на душу населения – это своеобразный показатель промышленной «развитости» государства. И для большинства развивающихся стран (в том числе и России) этот показатель сегодня в несколько раз (а по некоторым редким металлам – и на порядок!) ниже, чем для развитых.

Лидер среди гигантов

В СССР научно-техническая революция в промышленности началась гораздо позже, чем в развитых странах, и к началу 1980-х гг. наша страна значительно отставала по потреблению редких элементов. Например, потребление ниобия в расчете на душу населения было в 8 раз меньше, чем в Италии, и в 7 раз меньше, чем в ФРГ; потребление циркония – в 9 раз меньше, чем в Японии и т. п. При этом в СССР львиная доля этих элементов шла в оборонную промышленность.

В дальнейшем эта тенденция только усугублялась, особенно в последней четверти прошлого века, когда единая редкометалльная промышленность СССР развалилась, и ее предприятия оказались в пределах разных государств (Казахстана, России и Эстонии). Ясно, что разорванные экономические связи уже не могут быть восстановлены в прежнем виде.

- Отложения, перекрывающие породы массива Томтор
- Туфы, лавы, базальтовые покровы триасового (200—250 млн лет) периода
 - Песчаники, гравелиты и угли пермского (250—300 млн лет) периода
 - Песчаники и кварциты вендского (570—680 млн лет) времени
 - Карбонатные отложения рифейского (680—1650 млн лет) времени
- Глубинные образования массива Томтор
- Рудная группа
- Карбонатитовые брекчии
- Редкометалльная подгруппа
- Анкеритовые карбонаты
 - Анкерит-шамозитовые породы
- Фосфорно-редкометалльная подгруппа
- Карбонаты полиминеральные рудоносные: кальцит, доломит
 - Апатит-микроклин-слюдястые породы
- Безрудная группа
- Карбонаты полиминеральные (кальцитовые, доломитовые)
 - Кальцит-микроклин-слюдястые породы безрудные
 - Кальцит-флогопит-магнетитовые породы (железные руды)
- Силикатные породы
- Ультраосновные породы (жилы и трубки взрыва)
 - Сиениты (щелочные и нефелиновые)
 - Фоидолиты (нефелин-пироксеновые породы)
- Геологические границы
- Достоверные тектонические нарушения
 - Предполагаемые тектонические нарушения
 - Внешние границы массива Томтор по геофизическим данным (магниторазведка, гравиразведка)
 - Границы участка Буранный



Микроскопическое исследование позволяет обнаружить в породах Томтора anomalно высокое содержание рудоносных минералов: а – полосчатая пироксеновая руда; б – коронковые выделения минералов группы крандаллита; в – натечные выделения редкоземельных фторкарбонатов

Целенаправленные исследования по оценке перспективности рудных запасов Томтора начались лишь спустя три десятилетия после открытия месторождения. Первая геолого-экономическая оценка была проведена в начале 1980-х гг. сотрудниками Научно-исследовательского института геологии Арктики (Ленинград) Э. Н. Эрлихом, Г. И. Поршневым и Л. Л. Степановым. В середине 1980-х гг. на Томторе силами производственного геологического объединения «Якутск-геология» проводились поисковые работы, в ходе которых автором статьи обнаружены неизвестные ранее пироксеновая руда, крандаллитовые руды. Открытие колоссальных запасов этих руд с их уникальной рудоносностью кардинальным образом изменило отношение к этому месторождению, признанному одним из крупнейших в мире. Однако в наступившие вскоре драматические «перестроечные» годы минеральные богатства Томтора вновь оказались невостребованными

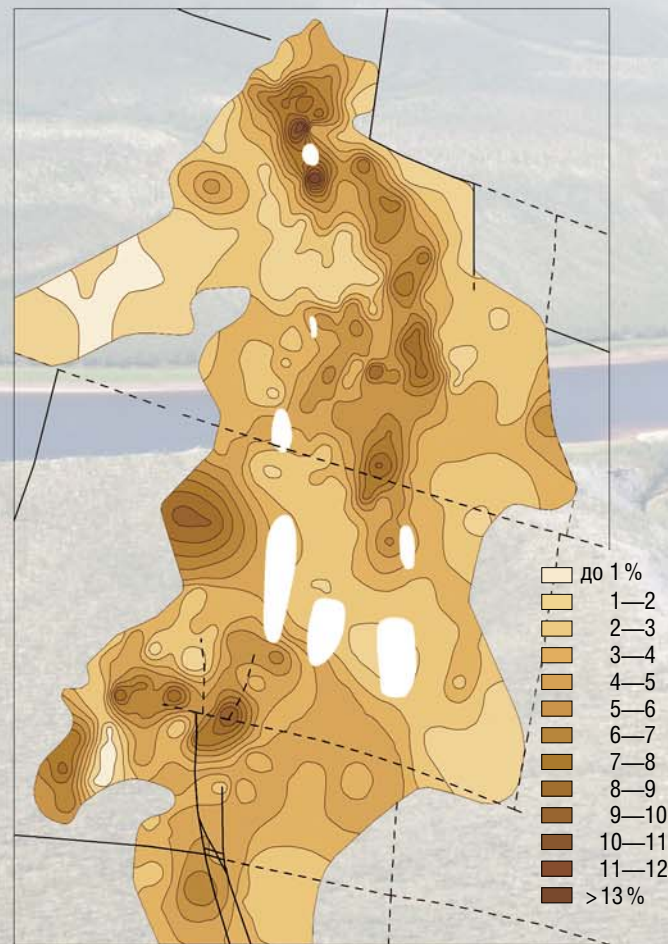
В наши дни добыча редкоземельной руды в России ведется в ограниченных объемах только на ООО «Ловозерский ГОК» (Мурманская обл.) с получением лопаритового концентрата, который перерабатывается на ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край). Конечные продукты практически полностью экспортируются в Эстонию. Оба российских предприятия находятся в частной собственности, их основные фонды существенно изношены, в связи с чем в ближайшей перспективе можно ожидать снижения объемов производства.

Российские предприятия удовлетворяют свои потребности в редкоземельных металлах и ниобии почти исключительно за счет импорта, при этом уже с 2012 г. в России наблюдается нарастающий дефицит редких земель, составляющий на сегодня около 300 т в год. В ближайшее десятилетие это может стать основным сдерживающим фактором развития российских высокотехнологичных отраслей.

Наращивание мощностей по получению редких элементов, конечно, возможно за счет ныне действующего Ловозерского ГОКа, но это поможет удовлетворить текущие потребности отечественных предприятий лишь в легких лантаноидах, имеющих относительно невысокую ликвидность на рынке. Кардинальное изменение ситуации возможно лишь при вводе в эксплуатацию новых уникальных объектов, способных удовлетворить любые потребности рынка.

Нужно сказать, что Россия обладает колоссальной минеральной ресурсной базой редких элементов, которая преимущественно сосредоточена в северных и восточных регионах страны. Кольская, Маймеча-Котуйская, Восточно-Саянская, Сете-Дабанская и Уджинская карбонатитовые провинции составляют основу сырьевого потенциала железа, фосфора и редких элементов.

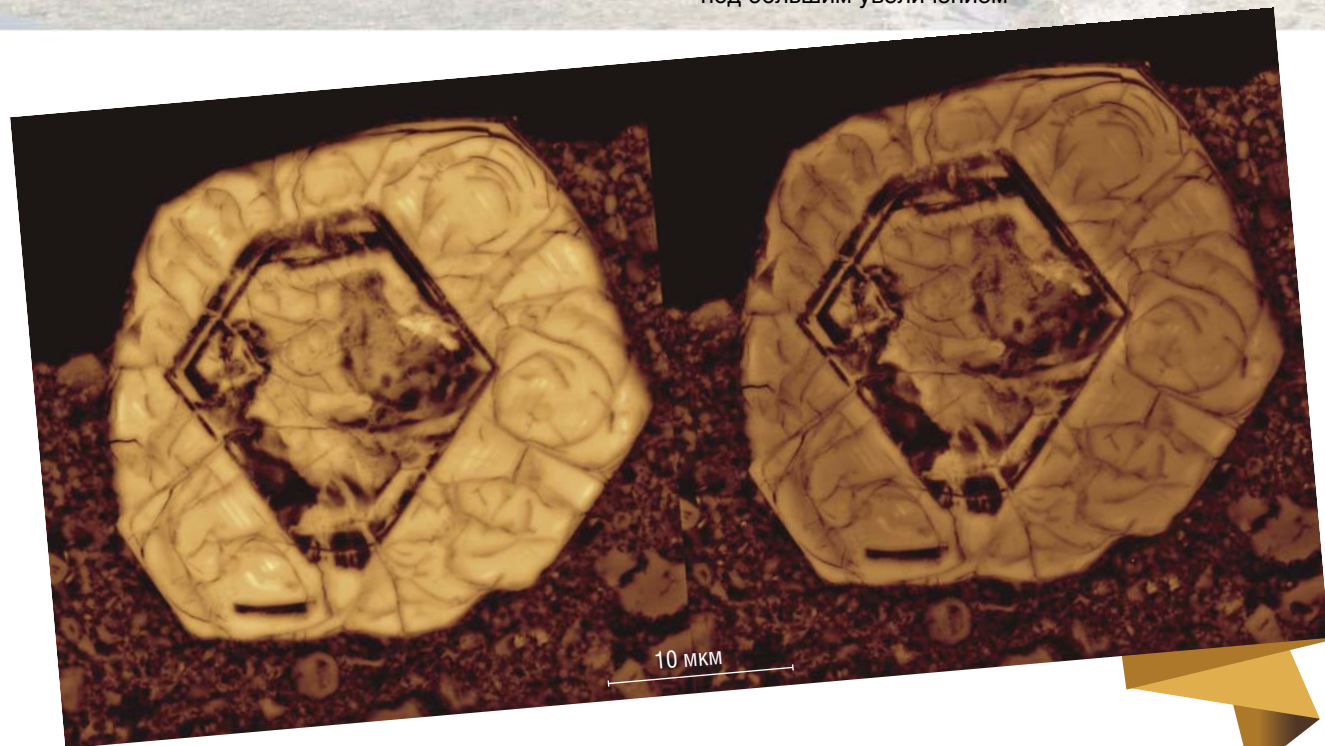
Но и на фоне этих месторождений Томтор выглядит безусловным лидером. Как известно, естественные концентрации редких элементов



значительно варьируют и обычно измеряются граммами на тонну (скандий), тысячными и сотыми долями (тантал), достигая десятых долей процентов (ниобий, церий, лантан). Концентрации же, представляющие промышленный интерес, – в несколько раз выше. Содержание оксидов редких элементов в рудах Томтора поражает воображение, достигая для ниобия 1–24 %, иттрия – 0,1–3,5 %, скандия – 0,01–0,15 % и для других редкоземельных металлов – 1–39 %.

Для сравнения будет уместно привести данные для такого известного месторождения, как Араша (Бразилия), которое дает около 90 % мировой добычи ниобия: в его рудах содержание оксида ниобия достигает всего лишь 1,0–2,5 % при практическом отсутствии попутных редких земель. Руды еще одного крупнейшего редкоземельного месторождения Баюнь-Обо (Китай) содержат до 10 % оксидов редких металлов, однако в них полностью отсутствует ниобий. Согласно же оценке запасов томторских руд, выполненной в 1999 г.

Природные процессы выветривания и метаморфизации пород на месторождении Томтор фактически выполнили работу обогатительных фабрик, которая требуется для получения рудного концентрата из более бедных руд типичных редкометалльных месторождений. Слева – содержание пентаоксида ниобия в рудах на участке Буранный месторождения Томтор; внизу – главный ниобиевый минерал пирохлор под большим увеличением



с учетом требований Государственной комиссии по запасам, бортовое содержание оксида ниобия (т. е. минимальное, при котором руда еще считается кондиционной) составляет для Томтора 3,5 %, что выше средних концентраций для руд Араши! При этом запасы таких кондиционных руд только одного участка Буранный составляют 42,7 млн т.

Таким образом, по ресурсам и концентрациям ниобия и редких земель Томтор сегодня по праву можно назвать мировым лидером среди «редкометалльных гигантов». Его освоение позволит обеспечить необходимый прирост производства всей линейки редкоземельной продукции, а также высоколиквидных «попутных» оксидов алюминия и титана.

Рождение Томтора

Каким же образом образовались уникальные редкоземельные руды Томтора? Было выдвинуто несколько гипотез об их происхождении, среди которых можно выделить три основные: отложение в озерах (осадочный генезис); преобразование излившихся лавовых потоков (эффузивно-осадочный генезис); концентрирование тяжелых нерастворимых редких элементов в результате поэтапного выноса породообразующих элементов при последовательной смене окислительного и восстановительного процессов.

Согласно последней гипотезе (Лапин, Толстов, 1991, 1993), главными этапами рудообразования являлись выветривание первично рудоносных карбонатитов, последующее переотложение и структурно-вещественное преобразование материнских пород в неравновесных

условиях системы вода–порода (эпигенетическое преобразование). На последнем этапе образовавшиеся руды были захоронены под осадочными отложениями, что убергло их от размыва.

В итоге вырисовывается следующая картина. Сам массив Томтор формировался как глубинный магматический очаг достаточно долго. Установлено, что процесс его образования занял более двухсот миллионов лет (в период от 600 до 350 млн лет назад) и состоял, скорее всего, из 2–3 независимых этапов. Сформировавшийся в результате сложно построенный массив был выведен на дневную поверхность лишь в девонском периоде, когда в морях только появились первые рыбы.

В это время климат нынешней заполярной Якутии был похож на климат экваториальной Африки, и благодаря таким температурным условиям породы, особенно неоднородные по составу рудоносные полиминеральные карбонатиты, подверглись значительным преобразованиям. В результате на массиве сформировалась железисто-фосфатная «шляпа» мощностью до 300 м, буровато-ржавого цвета из-за оксидных минералов железа (гематита и лимонита).

В дальнейшем растворимые карбонатные породы стали вымываться и выноситься в процессе карстообразования, в результате чего карбонатиты потеряли от 50 до 90 % первоначального объема. Таким образом произошло накопление рудных элементов, обогащенных ниобием и редкоземельными металлами.

В центральной части массива на месте участков, подвергшихся карстообразованию, на рубеже каменноугольного и пермского периодов образовались обширные впадины. К этому добавились тектонические подвижки

в результате неоднократных землетрясений, последовавших в каменноугольный период. Все эти процессы обусловили перераспределение рыхлого вещества: порода верхних участков размывалась и откладывалась во впадинах. Так в центре массива появились три локальных участка (Северный, Буранный и Южный), аномально обогащенных рудными минералами с четкой ниобий-редкоземельной специализацией.

В последующее раннепермское время впадины рельефа заполнили пресноводные водоемы, в которых накапливались органические осадки, что привело к радикальной смене окислительных условий на восстановительные. Вследствие этого трех- и четырехвалентные оксидные соединения железа и марганца в рыхлых продуктах выветривания перешли в подвижные двухвалентные соединения; в результате выноса последних произошел дальнейший значительный рост концентраций нерастворимых форм ниобия, фосфора и редкоземельных элементов.

Пермские озерные впадины затем были заполнены галечниками и песками с прослоями угля, которые образовали геохимический барьер, позволивший в триасовом периоде сохранить сформированные руды от размыва или выноса. В юрский период благодаря наступлению обширного Северного моря на всей площади массива Томтор образовались морские отложения мощностью свыше 100 м.

Такая картина рудообразования, очевидно, является достаточно типичной для всех карбонатитовых массивов центрального типа (Лапин, Толстов, 1991). Это позволяет выработать критерии поисков уникальных руд в переотложенных корах выветривания в уже известных подобных массивах как в России, так и за рубежом.

В дело идет все

Уникальные руды Томтора представляют собой природную смесь концентратов, поэтому весьма сложны для механического обогащения. По этой причине за основу технологии переработки руды выбрана гидрометаллургическая схема обогащения, которая обеспечивает получение кондиционных концентратов при высоком извлечении полезных компонентов.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н. М. Федоровского (Москва) и в Государственном научно-исследовательском проектно-институте редкометаллической промышленности «Гиредмет» (Москва) при существенном участии специалистов Института химии и химической технологии СО РАН (Красноярск) разработана двухстадийная схема переработки руды: щелочное разложение с выведением фосфатов и последующая азотно- или солянокислая обработка с хлорированием твердого остатка и экстракцией редкоземельных эле-

«...Считаю, что нужно подготовить „дорожные карты“ развития новых отраслей по аналогии с „дорожными картами“ улучшения инвестиционного климата, это в том числе композиты и редкоземельные металлы...»

Из послания Президента РФ В. В. Путина Федеральному собранию. Москва, Кремль, 12.12.2012 г.

ментов. Эта технология позволяет вовлечь в полезную переработку до 75 % рудных компонентов!

Беспрецедентность этой схемы в том, что из одной тонны руды удастся получить почти 1,2 т товарных продуктов! Как такое возможно? Дело в том, что при переработке руды помимо редкометалльного сырья попутно получают глинозем (алюминий), титан и даже такой продукт повседневного спроса, как тринатрий-фосфат – основу стирального порошка. К продуктам производства можно отнести и применяющиеся в технологическом процессе щелочной алюминатный раствор, соляную кислоту и промежуточные соединения бария и стронция, которые восстанавливаются на определенных стадиях переработки и могут использоваться многократно.

Условия залегания переотложенных руд Томтора позволяют отрабатывать их карьером, проектируемая мощность которого составляет первоначально 10 тыс. т сухой руды с постепенным доведением до 100 тыс. т ежегодно. Следует добавить, что ниобий-редкоземельные руды являются радиоактивными вследствие повышенного содержания урана, тория и калия-40. Однако непосредственно на поверхности месторождения радиоактивность относительно невысока (от 2 до 22 мкр/ч) и остается в рамках естественного радиационного фона.

Негативному влиянию при разработке месторождения может, предположительно, подвергнуться территория в радиусе не более 2,5 км от карьера. Большинство химических элементов присутствуют в руде в виде труднорастворимых, а зачастую не растворимых в воде минеральных соединений, миграция которых возможна лишь в окисленном и (или) в коллоидном либо взвешенном состоянии только в период паводков.

Поэтому основная опасность загрязнения окружающей природы токсичными радиоактивными элементами и тяжелыми металлами связана преимущественно с ветровым разносом минеральных частиц из карьера и отвалов. В районе месторождения в течение года преобладает субмеридиональное направление ветра, что можно учесть при планировании формы и размера будущего карьера и тем самым свести к минимуму распространение опасной (в том числе радиоактивной) пыли.

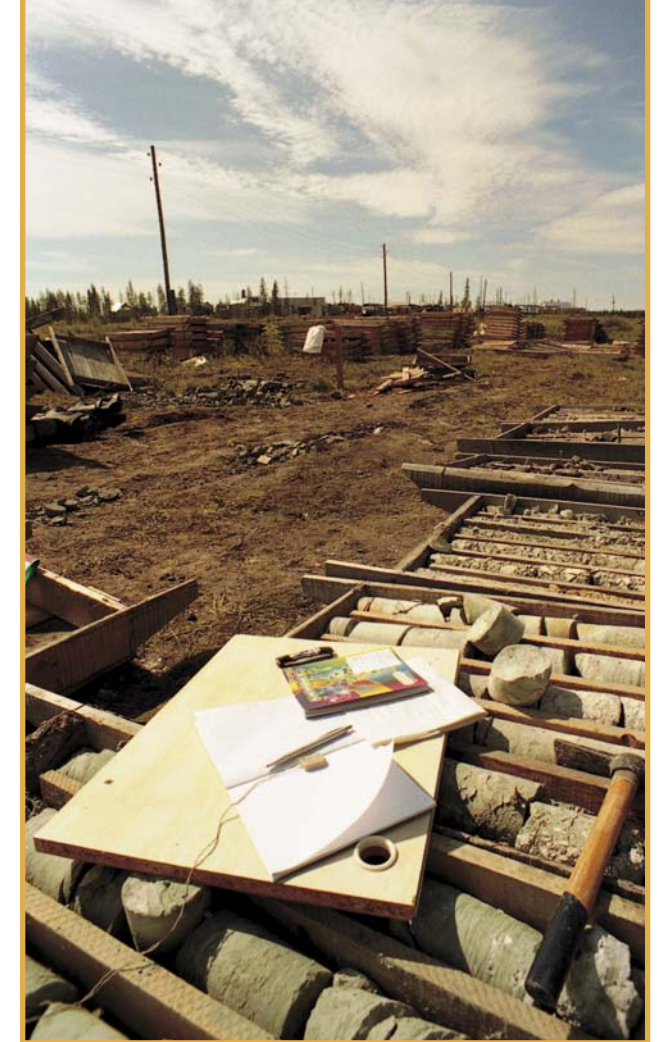
Итак, на открытом почти полвека назад редкоземельном месторождении Томтор проведены все необходимые геолого-разведочные и изыскательские работы, полностью разработана и технологическая схема обогащения уникальных руд: месторождение готово к эксплуатации. Если оно будет введено в строй, окупаемость основных фондов будущего предприятия по состоянию на 2012 г. составит около пяти лет. При этом нужно отметить, что высокая капиталоемкость российских «рудных» проектов не позволяет реализовать их без привлечения государственного финансирования и поддержки в виде особых форм лицензирования, недропользования и налогообложения, и в этом смысле Томтор не является исключением.

Удаленность от густонаселенных районов в настоящее время не является фатальной проблемой: в районе месторождения, в 80 км к западу разведаны и отрабатываются алмазные россыпи, на которых сегодня успешно действуют алмазодобывающие предприятия ОАО «Алмазы Анабара» и ГГП «Нижнеленское», перерабатывающие миллионы кубометров горной породы за промысловый сезон, а предполагаемые объемы добычи руды на Томторе на порядок ниже этих цифр. Также имеется принципиальная возможность транспортировки руды до устья р. Анабар и далее водным транспортом до Красноярска.

Эксплуатация этого месторождения уже на первом этапе позволит отказаться от импорта в Россию ниобия и редких металлов, а в перспективе, даже превратить Россию в крупного игрока на мировом редкометалльном рынке наравне с Китаем и Бразилией.

Немаловажно и то, что реализация этого проекта обеспечит поддержку геополитических интересов России в освоении сибирского Севера и арктического региона в целом, вдохнет новую жизнь в эти пока малоосвоенные обширные территории нашей страны. С началом освоения Томторского месторождения появится возможность использовать в Якутии кластерную модель промышленного развития региона, с вовлечением расположенного в 150 км к западу от Томтора Попигайского месторождения лонсдейлитов (сверхплотной модификации алмаза) и месторождений углеводородов.

В любом случае, при условии интенсификации экономического роста России и возрастания потребности отечественного рынка в редких элементах, в самом ближайшем будущем альтернативы освоению Томторского месторождения не существует. Этот проект естественным образом должен стать частью и залогом успешной реализации программы роста и инновационного развития самых современных отраслей народного хозяйства страны.



Литература

Кравченко С. М., Беляков А. Ю. Новичок среди гигантов // *Природа*. 1992. № 4. С. 50–55.

Кравченко С. М., Беляков А. Ю., Кубышев А. И., Толстов А. В. Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды – новый тип редкометалльного сырья // *Геология рудных месторождений*. 1990. Т. 32, № 1. С. 105–109.

Лапин А. В., Толстов А. В. Новые уникальные месторождения редких металлов в корах выветривания карбонатитов // *Разведка и охрана недр*. 1993. № 3. С. 7–11.

Толстов А. В. Проблемы геолого-экономической оценки Томторского месторождения: *Материалы Междунар. симпозиума «Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов в XXI веке»*. М., 1998. С. 135–137.

Толстов А. В. Проблемы оценки и освоения ниобий-редкоземельных руд Томторского месторождения: *Материалы XIV Междунар. совещ. по геологии россыпей и кор выветривания*. Новосибирск, 2010. С. 656–660.

Эрлих Э. Н. Новая провинция щелочных пород на с-в Сибирской платформы // *Зап. ВМО*. 1964. Т. 93, № 6. С. 682–693.