

*МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ,
ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОСВОЕНИЯ*

УДК 553.3

**МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И
ПРОБЛЕМЫ ИХ ОСВОЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Н.Л. Добрецов, Н.П. Похиленко

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

Рассмотрен ряд геологических аспектов уточнения границ Арктического морского сектора России, связанных в первую очередь с доказательством континентального происхождения спорных территорий. Проводится анализ геологического строения российских арктических территорий, особенностей их геодинамической эволюции, а также дается краткая информация о размещении и объемах запасов стратегически важных твердых полезных ископаемых. Основная часть статьи посвящена характеристике перспектив развития минерально-сырьевой базы ключевых для Арктических регионов России видов минерального сырья: алмазов, металлов платиновой группы и никеля, редких металлов, золота и бокситов.

Обоснование перспектив наращивания запасов алмазного сырья проводится на основе: характеристики новых потенциально алмазоносных регионов; анализе специфики фанерозойской эволюции строения и состава литосферной мантии Сибирской платформы с определяющей ролью воздействия на ее глубинные уровни Сибирского суперплюма на границе пермского и триасового периодов, что определяет уровень алмазоносности разновозрастных кимберлитов; специфики новых подходов и методов при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы в геолого-поисковых обстановках арктических территорий Сибири.

Анализ состояния запасов никеля и платиноидов в Норильском районе указывает на необходимость вовлечения в эксплуатацию более бедных руд и техногенных месторождений (отвалы Норильского и Талнахского месторождений). Однако кардинальное решение проблемы связывается с выявлением новых крупных месторождений в пределах массива Джелтул и Хараелахской мульды.

Развитие сырьевой базы золотодобывающей промышленности связывается с перспективами вовлечения в ресурсный потенциал масштабного золото-мышьякового оруденения в черных сланцах, широко развитых в северо-восточных регионах Российской Арктики, однако здесь камнем преткновения является отсутствие эффективных и экологически безопасных технологий переработки подобных руд.

Крупнейшей кладовой редких металлов, определяющей состояние запасов этого сырья для всей арктической территории России, является месторождение Томтор с его поистине уникальными запасами ниобия, скандия, иттрия и других элементов. Это гигантское месторождение имеет весьма сложное строение и историю формирования. Разработана технология переработки уникальных руд этого месторождения, позволяющая извлекать в ценные продукты более 60 % всех составляющих руды.

Перспективы наращивания запасов высококачественных бокситов Российской Арктики связываются с Тиманским регионом, где существуют возможности выявления этого сырья в вендских и нижне-каменноугольных отложениях.

Обосновывается необходимость формирования государственной политики, направленной на закрепление арктического направления как одного из важнейших приоритетов в долгосрочной концепции развития страны.

Минеральные ресурсы, алмазы, золото, благородные редкие металлы, бокситы, никель, Арктика.

MINERAL RESOURCES AND DEVELOPMENT IN THE RUSSIAN ARCTIC

N.L. Dobretsov and N.P. Pokhilenko

The paper concerns issues of geology and metallogeny of the Russian Arctic, namely, limits of the Russian oceanic Arctic in the context of the continental origin of territories under jurisdictional dispute; geology and tectonic history of the region; distribution of mineral deposits; outlook for diamond, PGE, Ni, rare metals, gold, and bauxite resources development.

Advanced diamond exploration and development can be expected proceeding from geology of new potentially diamondiferous areas, the Phanerozoic history and composition of lithospheric mantle beneath the Siberian craton, which were controlled by the Siberian superplume at the Permian–Triassic boundary, and from new exploration approaches adapted to the prospecting conditions of Arctic Siberia.

According to the available knowledge of Ni and PGE mineralization in the Noril'sk region, it is reasonable to develop depleted ores and tailings (mining dumps at the Noril'sk and Talnakh deposits). However, the key solution consists in new large discoveries within the Dzheltula and Kharaelakh volcanic and plutonic complexes.

Gold production enhancement may be associated with black shale-hosted Au-As mineralization in the northeastern Russian Arctic, but the problem is in the lack of efficient and environmentally safe dressing technologies for these ores.

Most of rare metals in the area (Nb, Sc, Y, and other elements) are stored in the giant Tomtor field, which has a complex structure and history. A special technology designed for the Tomtor ores ensures more than 60% extraction of ore components.

Good prospects for the bauxite potential are expected from the Timan district, where bauxite may occur in Vendian and Early Carboniferous formations.

It is suggested to include the development of the Russian Arctic as a priority target in the national economic strategy.

Metallogeny, diamond, gold, noble metals, bauxite, nickel, Arctic

ВВЕДЕНИЕ

В вводной части статьи приведем основные задачи геологической науки, изложенные в докладе Н.Л. Добрецова на VI съезде геологов России и скорректированные применительно к Арктике.

1. Развитие фундаментальной науки о Земле и планетах (РАН и университеты).
2. Комплексное изучение регионов на новом уровне геологических знаний для реализации программы освоения минеральных ресурсов в Арктике на современном этапе.
3. Разработка новых геолого-геофизических методов прогноза и поисков, адаптированных к сложным условиям Арктических регионов.
4. Оценка перспектив регионов на выявление новых МПИ, экономически и стратегически наиболее важных.
5. Создание современной информационной базы геологических данных на основе ГИС-технологий, мониторинг прогноза и поисков МПИ.
6. Подготовка к промышленному освоению конкретных территорий и рудных узлов.
7. Подготовка кадров высшей квалификации организациям МПР и компаниям для решения задач (2)—(6).
8. Улучшение нормативно-правовой базы.

Получение и развитие прикладных результатов невозможно без развития фундаментальной науки о Земле. Но мы остановимся в основном на задачах (2)—(4), частично будет затронут вопрос (6), перекликающийся с (2).

Остальные проблемы (создание современной информационной базы, подготовка кадров, улучшение нормативно-правовой базы) освещены в других работах. В статье использованы разработки институтов Сибирского отделения, а также опубликованные материалы ВНИИ океангеологии [Додин и др., 2002, 2008; Поселов и др., 2002; Додин, 2008].

СТРОЕНИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Специфической нормативно-правовой и геологической задачей изучения Арктического морского сектора России является уточнение его границ вблизи Северного полюса. Контур структур спорной территории, попадающей под юрисдикцию России в случае доказательства ее континентального происхождения, и геофизические разрезы показаны на рис. 1 [Поселов и др., 2002].

Главными спорными территориями являются хр. Ломоносова и прилегающие котловины Подводников и Макарова. Они на тектонической схеме Ю.Е. Погребницкого [1976] показаны как пограничный пермско-триасовый пояс, а в работах [Зоненшайн, Натапов, 1987; Кабаньков и др., 2004; Хаин и др., 2009] — как продолжение Новосибирско-Врангелевской фронтальной зоны, где тектонически совмещены палеозойские и киммерийские пластины. Здесь нужны серьезные геологические исследования, включая геофизическое профилирование и опорное бурение.

Из разрезов (см. рис. 1) видно, что котловина Макарова имеет мощность консолидированной коры 5—10 км и, скорее всего, океанический характер в соответствии также с геодинамической картой СССР [Зоненшайн и др., 1988] и современными данными [Косьюко, 2007]. Хребет Ломоносова продолжается от шельфа о-вов Де-Лонга с уменьшением мощности коры от 35—30 до 25 км и имеет определенные сходства с континентальными складчатыми системами [Поселов и др., 2002]. Для поднятия Менделеева континентальное происхождение более очевидно [Lebedeva-Ivanova et al., 2006; Хаин и др., 2009].

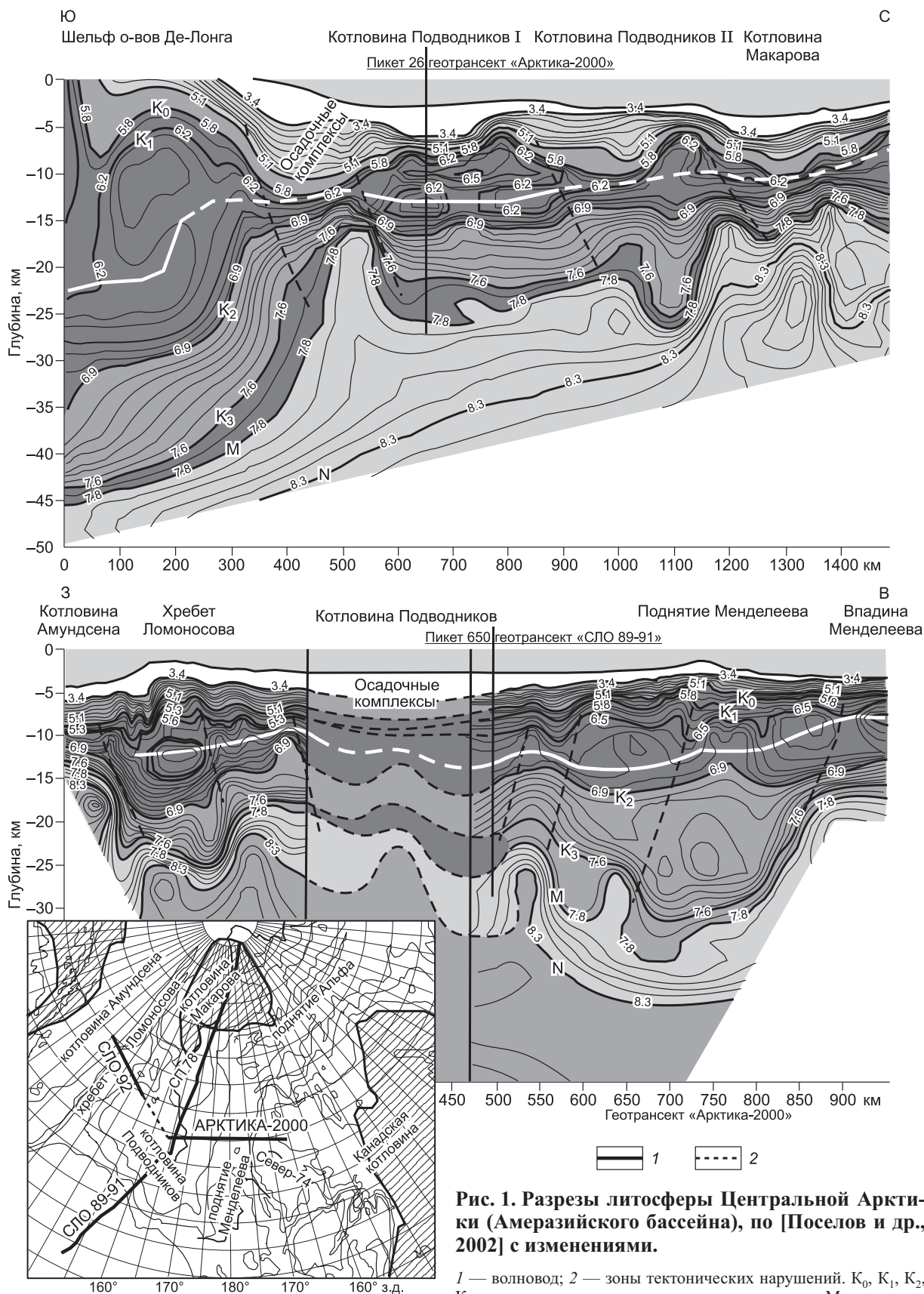


Рис. 1. Разрезы литосферы Центральной Арктики (Амеразийского бассейна), по [Поселов и др., 2002] с изменениями.

1 — волновод; 2 — зоны тектонических нарушений. К₀, К₁, К₂, К₃ — поверхности кристаллических комплексов; М — поверхность Мохо (граница раздела коры и мантии); N — поверхность переходного слоя в верхней мантии.

На врезке показано положение сейсмических профилей, по которым построены разрезы. Заштрихованы области с океанической корой котловин Канадской, Амундсена, Макарова.

В создании геологической структуры Арктики главную роль сыграли пермско-триасовый и мел-палеогеновый этапы [Sekretov, 2002; Хаин и др., 2009]. В пермско-триасовый этап завершено формирование Уральского складчатого пояса, образованы Предуральский и Верхоянский осадочные бассейны, заложены рифты в Западной Сибири, послужившие началом развития Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, а также палеоокеанические структуры Колымо-Чукотского складчатого пояса, завершившие свое формирование в мелу. В ранней перми произошло столкновение Карского блока с Таймыром, а в поздней перми—раннем триасе сформированы огромные поля траппов и трапповых интрузий на Сибирской платформе, в Западной Сибири, на Таймыре, Карском море [Добрецов, 1997, 2005; Dobretsov, Vernikovskiy, 2001; Dobretsov et al., 2008] и крупные месторождения Cu, Ni, Pt-Pd, связанные с ними [Додин, 2008]. Большинство структур этого этапа перпендикулярны арктическому шельфу, но часть структур Новой Земли, Карского моря, Таймыра, Чукотской области показывают разворот пермско-триасовых структур к широтному направлению, параллельному простиранию арктического шельфа.

В мел-палеогеновый этап образованы основные структуры арктического обрамления Ледовитого океана и многие месторождения золота, урана, редких металлов, а также завершено формирование структуры Западно-Сибирского осадочного бассейна и газовых месторождений его северной части [Конторович, 2009], Хатангско-Енисейского прогиба, основных структур Колымо-Чукотского пояса [Хаин и др., 2009]. Верхояно-Колымо-Чукотская тектоническая область оформилась в течение поздней юры—неокома в результате замыкания Алазейско-Южноанюйского океана [Natal'in et al., 1999; Кузьмичев и др., 2005] при столкновении Чукотско-Аляскинской палеозойской плиты с Сибирским кратоном [Соколов и др., 2001; Парфенов и др., 2003; Хаин и др., 2009]. С этим этапом связаны гранитоидные купола и синколлизионные гранитоиды среднемелового возраста в бассейне Колымы и на Чукотке. Они перекрыты вулканитами или прорваны интрузиями альб-позднемелового возраста, относящихся к Охотско-Чукотскому окраинно-континентальному поясу. И с теми, и с другими связаны золоторудные и полиметаллические месторождения [Гельман, 1996; Akinin, Calvert, 2002; Парфенов и др., 2003]. В пределах шельфов Восточно-Сибирского и Чукотского морей установлены синнадвиговые и синсдвиговые бассейны среднемелового возраста, а также синсдвиговые рифтогенные грабены позднемелового—палеогенового возраста [Franke et al., 2004; Хаин и др., 2009].

РЕСУРСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АРКТИКИ

Схема размещения важнейших месторождений полезных ископаемых в Российской Арктике показана на рис. 2, по данным Д.А. Додина [2008], севернее полярного круга и несколько южнее в Республике Саха (Якутия), Магаданской области и Чукотском округе. Здесь сосредоточены значительные запасы стратегически важных полезных ископаемых. Разработка их месторождений дает 95 % от общей российской добычи газа и около 70 % нефти, о чем подробнее сказано в статье А.Э. Конторовича (см. настоящий выпуск); коренных и россыпных алмазов — 99 %; платиновых металлов — 98 %, никеля — более 80 %, хрома и марганца — 90 %; меди, сурьмы, олова, вольфрама, редких металлов — 50—90 %; золота — около 40 % [Додин, 2008; Додин и др., 2008].

Эти цифры и масштабы месторождений (нефти, газа, алмазов, платины, никеля, золота и др.) однозначно свидетельствуют, что без освоения арктических и субарктических месторождений невозможно обойтись не только России, но и всему миру. Но это освоение — очень сложная задача, требующая тщательной геолого-эколого-экономической проработки и нестандартных подходов (см. статьи Конторовича и др., Кислякова и др., Мельникова и др. в настоящем выпуске). Некоторые из них обсуждены в настоящей статье. Остановимся подробнее на перспективах развития минерально-сырьевой базы алмазов, платиновых металлов и никеля, редких металлов (месторождение-гигант Томтор), а также золота и титанских бокситов.

Алмазы. Открытие Якутской алмазоносной провинции явилось одним из наиболее ярких геологических событий XX в., и в нем определяющую роль сыграл сформулированный задолго до открытия научный прогноз, в котором были указаны районы поисков и характер предполагаемых коренных источников алмазов. В создании коллективом советских геологов этого прогноза, основанном на детальном анализе всей имевшейся на тот период геологической информации, выдающаяся роль принадлежала В.С. Соболеву, впоследствии организатору и руководителю Сибирской школы алмазной геологии [Arima et al., 2008].

Динамика добычи алмазов в Якутской провинции и ее районах показана на диаграмме (рис. 3). С 1999 г. добыча колеблется около 40 млн карат, в денежном выражении превысив 2.5 млрд долларов. Но с истощением запасов в трубах Мир и Удачная (с окончанием отработки открытым способом) эти показатели могут резко упасть. Падение продаж «сырых» алмазов в условиях финансового кризиса — явление временное. Поэтому как никогда актуальной является задача открытия новых крупных промышленных месторождений с высококачественными алмазами. Перспективными районами являются Тунгусская (юго-западное обрамление Тунгусской синеклизы и Чадобецкого поднятия), Лено-Анабарская субпро-

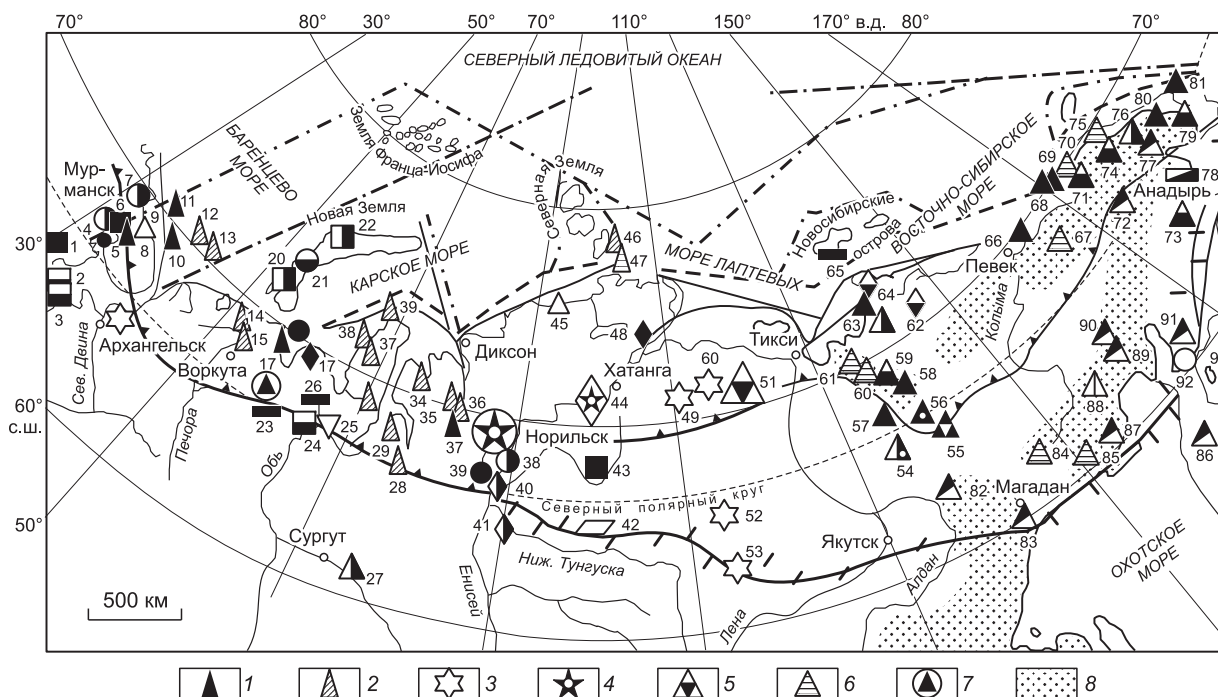


Рис. 2. Схема размещения важнейших месторождений Арктики и Субарктики [Додин, 2008].

Месторождения: 1, 2 — нефти и газа; 3 — алмазов; 4 — Pt-Cu-Ni (Норильск, Кольский полуостров); 5 — редкометалльное (Томтор); 6 — оловянные (Депутатское и др.); 7 — бокситы среднего Тимана; 8 — районы россыпной золотоносности.

винции (Кютюндинский прогиб и его обрамление), южная часть Центрально-Сибирской субпровинции (название субпровинций, по [Додин, 2008]) и новый кимберлитовый район к югу от г. Якутск [Соболев и др., 1981; Pokhilenko, Sobolev, 1995; Pokhilenko, 2008; Смелов и др., 2010].

Перспективы юго-западного обрамления Тунгусской синеклизы и Чадобецкого поднятия, Кютюндинского прогиба и его обрамления определяются, прежде всего, минералогическими критериями, разработанными в конце 60-х — начале 70-х годов на основании изучения особенностей состава минеральных включений в алмазах и концентратов тяжелой фракции кимберлитов Якутии [Соболев и др., 1969; Соболев, 1971; Sobolev et al., 1973]. Как показано на рис. 4, в пиропсах из конгломератов каменноугольного возраста этих районов очень много низкокальциевых высокохромистых пиропов, которые обязательны для высокоалмазных кимберлитов и полностью отсутствуют в мезозойских кимберлитах этих районов. Эта особенность связана с существенными различиями строения литосферы на среднепалеозойское и мезозойское время и объясняется воздействием на ее нижние горизонты Сибирского суперплума на границе пермского и триасового периодов. Оно привело не только к существенному утонению (с 250 до 130—140 км) литосферной мантии, но и к значительным изменениям ее состава, выразившимся в увеличении доли пироксенитов, снижению содержаний MgO, Cr₂O₃, NiO, исчезновению (окислению, переходу в CO₂) алмазов [Похиленко и др., 1993; Похиленко, Соболев, 1998; Pokhilenko, 2008]. Минералогическое районирование Кютюндинского массива и его обрамления показывает, что наиболее перспективные участки располагаются: между широтным коленом р. Оленек и верховьев р. Молодо; в верховьях рек Кютюндэ и Хорбусуонка [Соболев и др., 1981; Pokhilenko, Sobolev, 1995; Pokhilenko, 2008].

Открытые площади Якутии были благоприятны для поиска кимберлитов и хорошо опоискованы эффективным комплексом минералогических и геофизических методов, благодаря чему здесь было найдено большое число кимберлитовых тел. Однако по мере опоискования находки кимберлитов сокращались, и постепенно выработалось мнение, что перспективы открытых площадей близки к исчерпанию.

Сложность поисков новых высокоалмазных трубок в вышеназванных перспективных районах, в частности, южной части Центрально-Сибирской провинции состоит в том, что здесь эти трубки не обнажаются на поверхности, так как перекрыты более молодыми отложениями (рис. 5). Требуется разработка новых геолого-геофизических методов. Ключевым может оказаться поиск карстовых полостей в подошве молодых (карбоновых и юрских) отложений, перекрывающих с разрывом карбонатные отложения нижнего палеозоя. Опыт показывает, что такие карстовые полости являются эффективными концентраторами как алмазов, так и минералов-спутников, и в случае присутствия тех и других в выполняющих

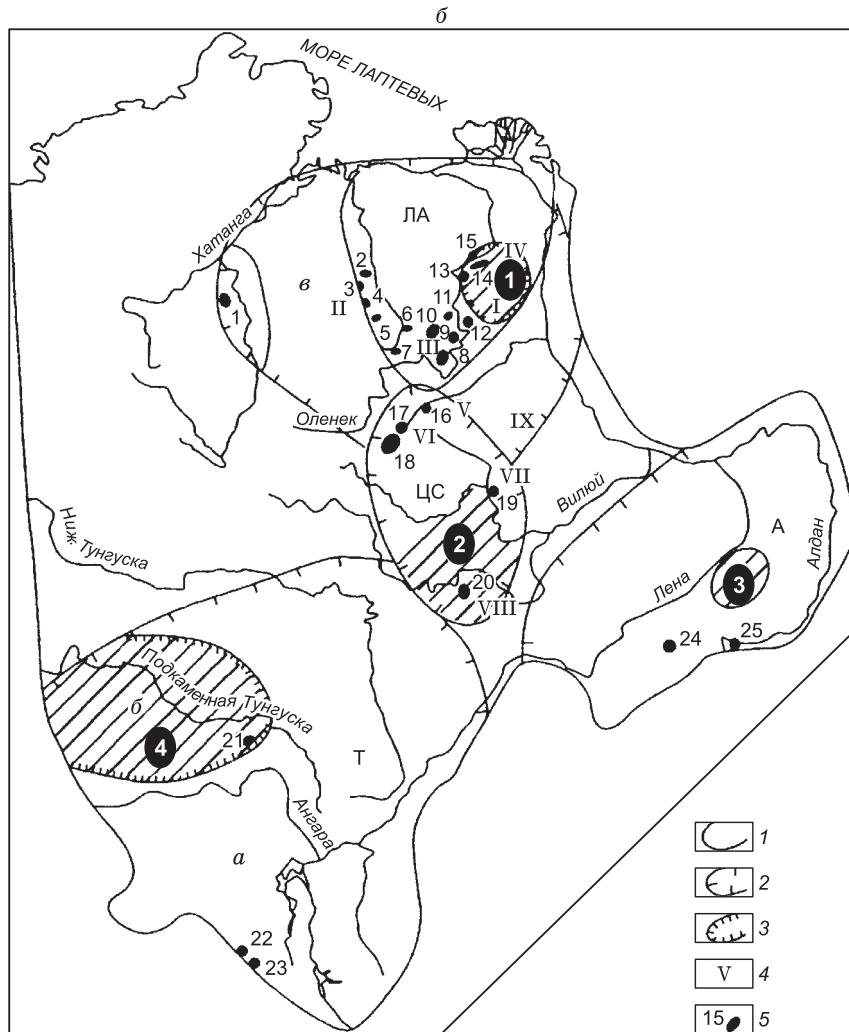
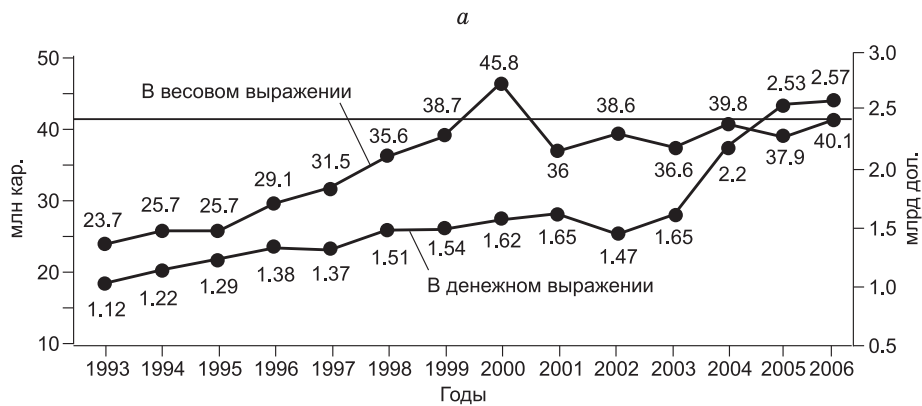


Рис. 3. Диаграмма добычи алмазов в 1993—2006 гг. (а), схема важнейших ареалов (субпровинций) Якутской алмазоносной провинции (б).

1—3 — границы алмазоносных: 1 — Сибирской провинции, 2 — субпровинций (ЦС — Центрально-Сибирской, ЛА — Лено-Анабарской, Т — Тунгусской, А — Алданской), 3 — областей (а — Южно-Тунгусской, б — Байkitской, в — Анабаро-Оленекской, г — Кютюндинской); 4 — алмазоносные районы: I — Котуй-Меймечинский, II — Куонапский, III — Среднеоленинский, IV — Нижнеоленинский, V — Верхнемунский, VI — Далдыно-Алаkitский, VII — Среднемархинский, VIII — Малоботубинский, IX — Моркокинский, X — Анабарский; 5 — kimberлитовые поля: 1 — Котуй-Меймечинское, 2 — Орто-Баргинское, 3 — Старореченское, 4 — Ары-Майахское, 5 — Дьюкенское, 6 — Лучаканское, 7 — Куранахское, 8 — Чомурдахское, 9 — Огонер-Юряхское, 10 — Западно-Укуитское, 11 — Восточно-Укуитское, 12 — Верхнемоторчунское, 13 — Мерчимденское, 14 — Верхнемолодинское, 15 — Куйское, 16 — Верхнемунское, 17 — Далдынское, 18 — Алаkit-Мархинское, 19 — Накынское, 20 — Мирнинское, 21 — Чадобецкое, 22, 23 — Ингашино, 24 — Верхнеалданское, 25 — Ингилийское.

Заштрихованы наиболее перспективные районы для открытия новых месторождений: 1 — Кютюндинский Лено-Анабарской субпровинции; 2 — южная часть Центрально-Сибирской субпровинции; 3 — район г. Якутск; 4 — Тунгусская субпровинция (Чадобецкое поднятие), по [Додин, 2008] с изменениями.

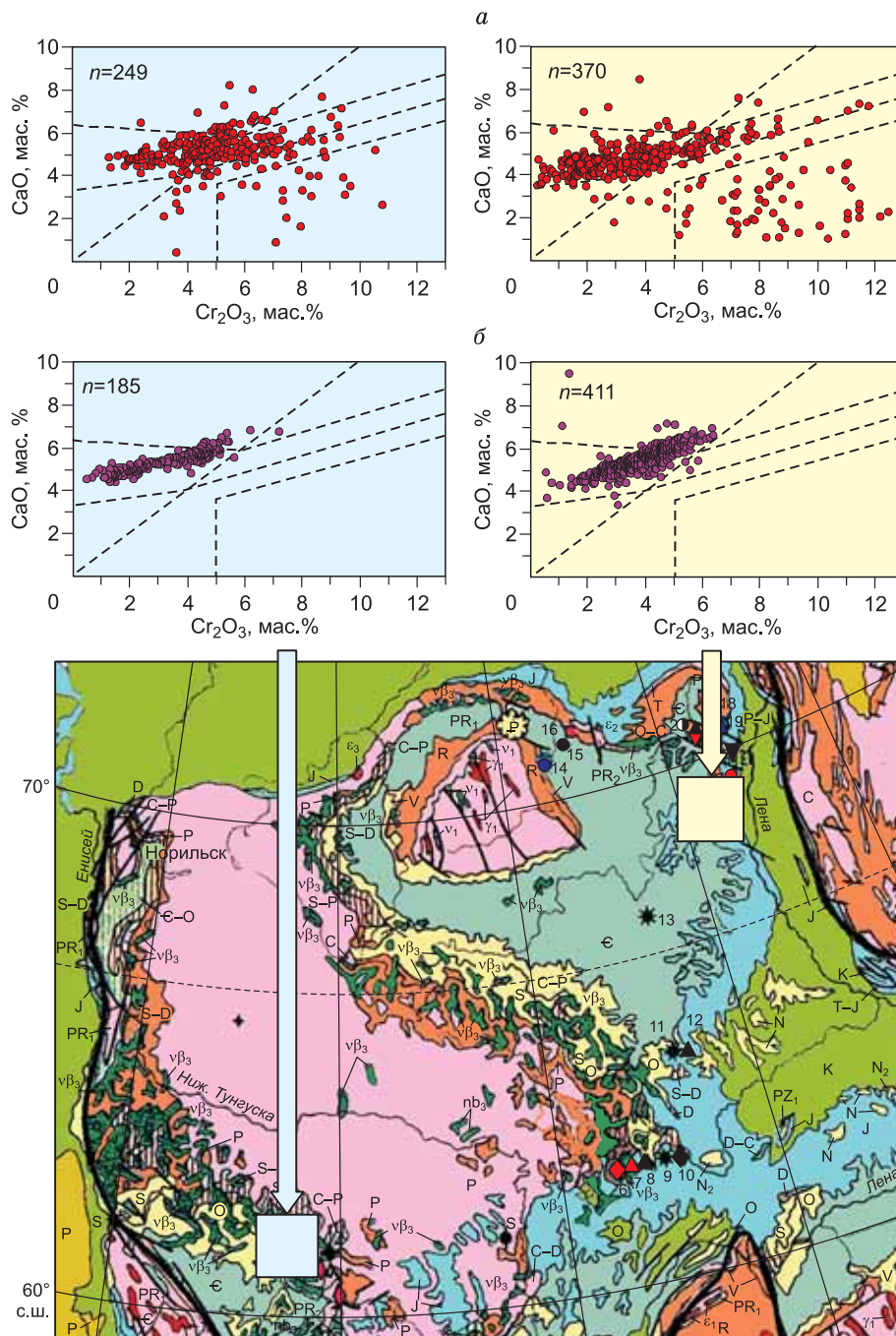


Рис. 4. Минералогические критерии алмазности прогнозируемых кимберлитов среднепалеозойского возраста для перспективных районов западной части Тунгусской субпровинции (слева) и района Кютюндинского прогиба (справа).

Диаграммы состава пиропов из конгломератов каменноугольного возраста (а) и мезозойских кимберлитов (б), по данным Н.П. Похиленко, Н.В. Соболева, ИГМ СО РАН.

полости отложениях можно локализовать участки вероятного обнаружения коренных источников алмазов и оптимизировать детальные геофизические работы и бурение [Прокопчук и др., 1985; Афанасьев, 1989; Афанасьев и др., 2001, 2008].

Обычно карстовые аномалии обнаруживаются наземной магнитной съемкой [Кривонос, Федоров, 1971] и давно изучаются с точки зрения перспектив россыпной алмазности [Прокопчук и др., 1985]. В южной части Центрально-Сибирской провинции (в верхнем течении р. Тюнг и по р. Арга-Тюнг) в 1990-х годах сотрудниками Института минералогии и петрографии СО РАН совместно с их коллегами из

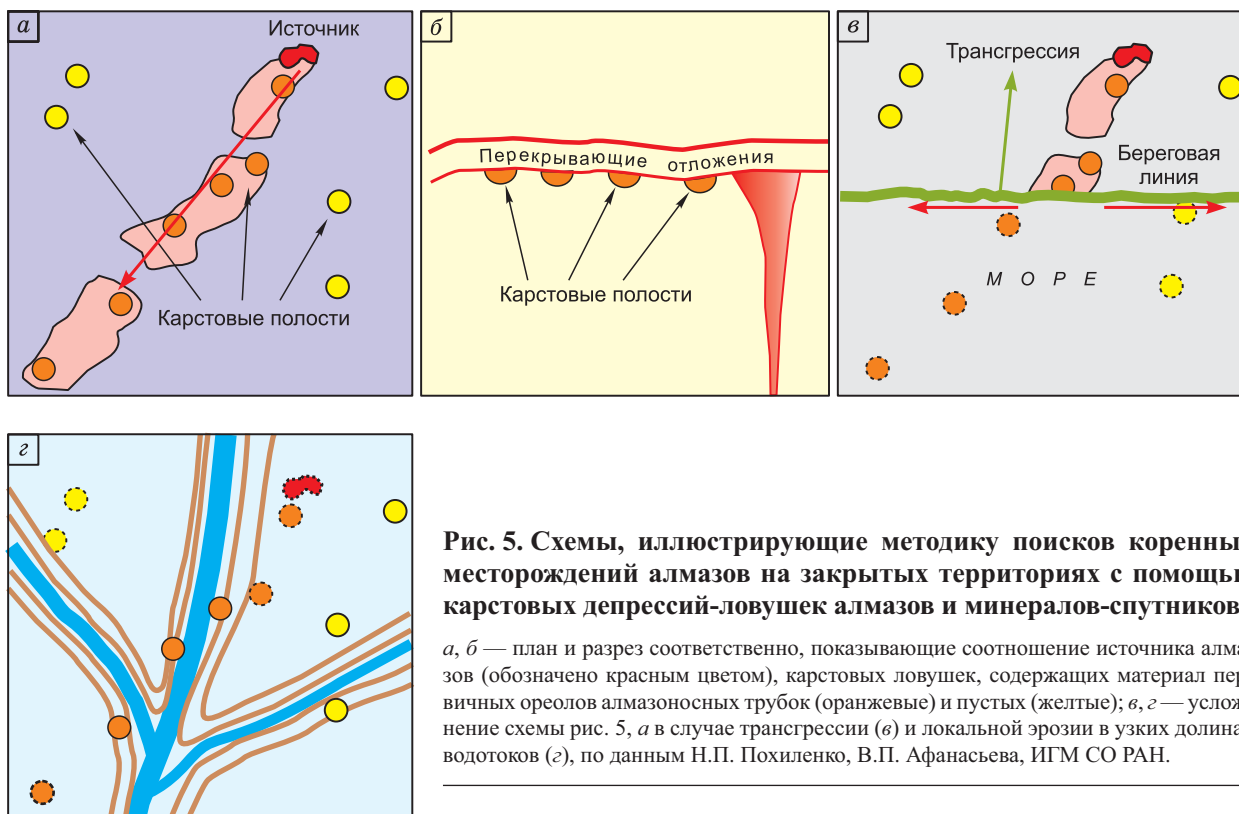


Рис. 5. Схемы, иллюстрирующие методику поисков коренных месторождений алмазов на закрытых территориях с помощью карстовых депрессий-ловушек алмазов и минералов-спутников.

а, б — план и разрез соответственно, показывающие соотношение источника алмазов (обозначено красным цветом), карстовых ловушек, содержащих материал первичных ореолов алмазоносных трубок (оранжевые) и пустых (желтые); *в, з* — усложнение схемы рис. 5, *а* в случае трансгрессии (*в*) и локальной эрозии в узких долинах водотоков (*з*), по данным Н.П. Похиленко, В.П. Афанасьева, ИГМ СО РАН.

АК «АЛРОСА» были выявлены локальные anomalно высокие концентрации кимберлитовых минералов, а также найдены алмазы. Источниками этих минералов и алмазов является группа карстовых воронок, расположенных в верхней части бассейна р. Тюнг. Локальные находки индикаторных минералов, связанных с продуктивными карстовыми ловушками, широко распространены в Муно-Мархинском междуречье и делают этот район первоочередным для поисков алмазов по новой методике, используя карстовые депрессионные ловушки как вторичные концентраторы алмазов и индикаторных минералов. В свою очередь, карстовые депрессии являются, как правило, реликтами юрских отложений на обширных площадях, где юрские отложения уже денудированы [Афанасьев и др., 2001].

Использование имеющихся геофизических данных в сочетании со шлиховым опробованием и анализом обнаруженных индикаторных минералов позволило сотрудникам Института геологии алмазов и благородных металлов СО РАН (г. Якутск) в сотрудничестве с производственниками ГУГПП «Якутскгеология» сформулировать прогноз и открыть новый кимберлитовый район в 100 км к югу от Якутска в обжитом районе. Проведенное геологами-производственниками разбуривание наиболее перспективных геофизических аномалий позволило обнаружить тр. Манчары в бассейне р. Тамма. Результаты предварительного изучения состава хромпироповых гранатов из этой трубки, равно как и пиропов из осадочных отложений, развитых на левом берегу р. Лена (к западу от г. Якутск) пока не дают оснований к отнесению новой трубки и коренных источников пиропов к алмазоносным, и здесь требуются дополнительные исследования [Sobolev et al., 1973; Похиленко и др., 1993; Соболев, Похиленко, 2004; Смелов и др., 2010]. В то же время можно с полной уверенностью говорить, что выявление множественных геофизических аномалий, наряду с находками индикаторных минералов кимберлитов в окружающих водотоках (реки Кенкеме, Чакня), позволило обосновать и оконтурить новый кимберлитовый район, где не исключено обнаружение алмазоносных тел [Смелов и др., 2010].

Никель и платиноиды. Вышеупомянутый Сибирский плюм обусловил формирование в триасе уникальных Норильских месторождений никеля, меди, платины и палладия, а также по обрамлению плюма, в ассоциации с контрастными бимодальными сериями, золоторудных и серебро-сурьмяных, Ni-Co-As руд и медно-молибденовых месторождений, в том числе на Таймыре и в Забайкалье (рис. 6) [Добрецов, 2005; Борисенко и др., 2006].

ГМК «Норильский никель» является одним из главных поставщиков на рынок Ni, Pt и Pd (на сумму от 2.5 до 4 млрд долларов). Проблема для компании и России состоит в том, что богатые руды в Норильском районе близки к исчерпанию, в Мончегорском и Печенгском уже исчерпаны, а переход на бедные вкрапленные руды в условиях Арктики может оказаться нерентабельным. Для решения этой стратегической задачи, по мнению Д.А. Додина [2008], должна быть разработана и реализована программа Но-

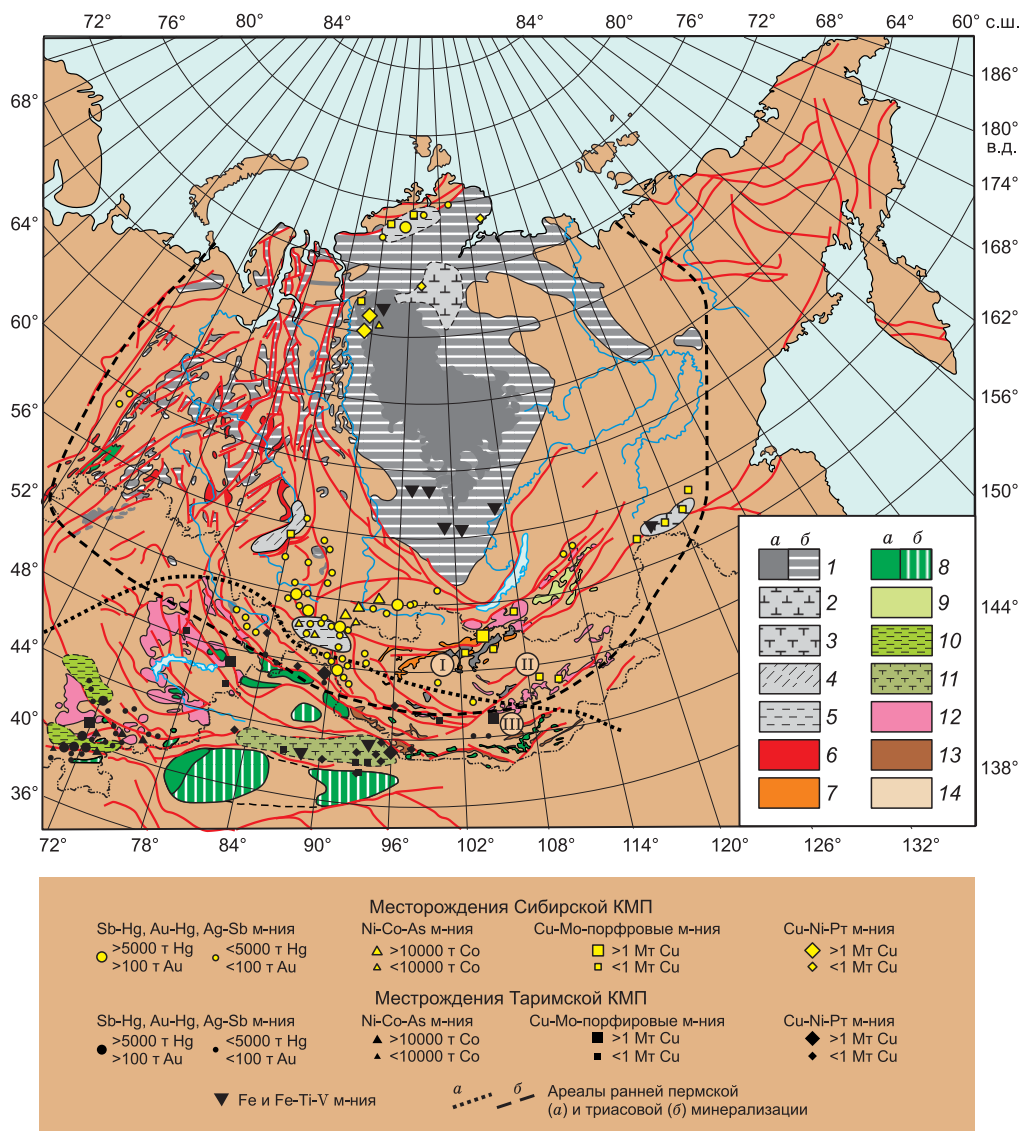


Рис. 6. Вероятные ареалы Сибирского (P₂—T₁) и Таримского (P₁) суперплюмов и связанных с ними месторождений, по [Борисенко и др., 2006] с дополнениями.

Сибирский суперплюм: 1 — траппы обнаженные (а) и перекрытые осадками (б); 2 — ареал меймечитов; 3—5 — ареалы распространения интрузий и даек ультрабазитов и габбро (3), долеритов и керсантитов (4), щелочных основных пород (5); 6, 7 — бимодальные вулканические формации риолит-андезитбазальтовая (6) и риолит-андезит-трахитовая (7). Таримский суперплюм: 8 — траппы обнаженные (а) и перекрытые осадками (б); 9 — трахибазальты; 10, 11 — ареалы распространения интрузий щелочных базитов (10) и дунит-троктолитов (11); 12, 13 — бимодальные вулканические формации риолит-андезитбазальтовая (12) и риолит-андезит-трахитовая (13); 14 — невулканические регионы. Вулканические пояса: I — Северная Монголия, II — Центральная Монголия, III — Южная Монголия.

рильск—2010. Составной ее частью может быть освоение малосульфидных платинометалльных руд в верхних горизонтах Талнахской интрузии и техногенных руд (отвалы Норильского и Талнахского месторождений). Но важнейшее направление — поиски и разведка новых месторождений богатых руд. Определенные перспективы имеются к северу от Талнаха в центральной части Хараелахской мульды, с использованием модифицированной рудной сейсморазведки и детальным геохимическим доизучением ранее пробуренных скважин [Додин, 2008].

Но, по мнению сотрудников ИГМ СО РАН [Рябов и др., 2005], наиболее перспективным объектом является массив Джелтул, расположенный 400 км к ЮЮЗ от Норильска вдоль Норильско-Талнахской рудоконтролирующей зоны, 150 км к СВ от Туруханска. В южной части массива Джелтул и его сателлита на участке размером 10 × 15 км обнаружены не только сульфидные медно-никелевые руды с платиноидами, но и руды Pt-Cu-Ni в желваках самородного железа. Желваки, наблюдаемые в обнажениях, размером

до 30—50 см и более в поперечнике содержат платиноиды в концентрациях, аналогичных Талнахским богатым рудам. Требуется скорейшая разведка этого месторождения с одновременной разработкой технологии переработки руд этого нового типа.

В Мончегорском районе весьма перспективным является платиноносный Федорово-Панский массив, где запасы платиноидов в верхних горизонтах платиноносных рифов стиллуотерского типа оцениваются Д.А. Додинным и др. [2008] на трех участках суммарно 121 т до глубины 150 м и 242 т до глубины 300 м. Вероятность нахождения здесь руд стиллуотерского типа была предсказана В.С. Соболевым еще в 1979 г. (с участием Н.Л. Добрецова после посещения им массива Стиллуотер (США) в 1978 г.).

Другие месторождения. Что касается золоторудных месторождений Таймыра, Магаданской обл. (см. рис. 2), Енисейского кряжа и Якутии, то наиболее перспективными являются масштабные золото-мышьяковые оруденения в черных сланцах. Но здесь требуется разработка новых прогрессивных технологий. В частности, в числе первоочередных месторождений — Наталкинское и Майское на северо-востоке России, Нежданинское и Кючуйское в Якутии, ряд новых месторождений на территории Енисейского кряжа. Здесь главные проблемы лежат в плоскости новых технологий переработки «упорных» мышьяковых руд и утилизации отходов, содержащих мышьяк и серу.

Региональные особенности распространения золоторудных и редкометалльных месторождений в Арктике и Субарктике рассмотрены в статье Ю.Г. Сафонова (см. настоящий выпуск). Мы рассмотрим только один пример — месторождение Томтор.

Богатейшее редкометалльное месторождение Томтор расположено в Республике Саха (Якутия) в 120 км восточнее алмазного ГОКа компании «Алмазы Анабара», разрабатывающего уникальные россыпи правого борта бассейна р. Анабар с высококачественными алмазами, и в 300 км от побережья Северного Ледовитого океана. Руды этого месторождения содержат ниобий, иттрий, скандий и большую группу редкоземельных элементов (La, Ce, Nd и др.). Приобретает стратегическое значение скандий, добавка которого в количествах 0.3—0.4 % в алюминий обеспечивает возможность лазерной сварки легированных скандием алюминиевых деталей в самолето- и ракетостроении. Богатейший участок Буранный представляет собой переотложенную кору выветривания на массиве щелочных пород и карбонатитов с более бедной редкометалльной минерализацией (рис. 7, 8).

Месторождение Томтор уникально не только по содержаниям и запасам редких металлов, но и по сложности и многоэтапности своего формирования (см. рис. 7), а также сложной, насыщенной драматизмом творческого и межведомственного противостояния историей его открытия [Эрлих, 2009]. Наиболее обоснованной представляется точка зрения об отнесении массива Томтор к ультраосновной—щелочной—карбонатитовой (УЩК) формации, развиваемая вслед за первооткрывателями [Поршнева, Степанов, 1980; Эпштейн и др., 1994] в работах [Энтин и др., 1990; Багдасаров, 1997, 2009]. Первоначально был сформирован массив, сложенный сиенитами (преобладают) и пироксенитами (якупирангиты-мельтейгиты, ийолиты-мельтейгиты), по возрасту близкие к аналогичным комплексам Восточного Саяна (700—650 млн лет) [Багдасаров, 1997; Толстов, Тянь, 1999; Парфенов, Кузьмин, 2001]. Затем последовали многочисленные экструзии пикритов и нефелинсодержащих пикритоидов (альнеитов), за которыми произошло внедрение карбонатитов и образование связанных с ними метасоматитов (2 и 3 интрузивных фазы с возрастом 450 и 430 млн лет). В конце девона—в раннем карбоне сформировалась древняя кора выветривания (наиболее интенсивно по карбонатитам), она дважды (в P₂ и J₁₋₂) была захоронена и частично переотложена. С эпохами переотложения (до конца юрского периода) ассоциируются интрузивно-экструзивная деятельность, проявленная в форме трубочно-дайковой фации мезозойских пикритов-альнеитов, эруптивных карбонатно-апатитовых пород и метасоматитов [Ковальский и др., 1969; Багдасаров, 2009].

Содержание Nb₂O₅ в рудах участка Буранный (см. рис. 8) в 10 и более раз превышает его содержание в других российских месторождениях и в 3 раза — в богатейшем месторождении мира Араша (Бразилия) (таблица). Содержание Sc₂O₃ в богатых участках составляет 0.1—0.3 % и это единственное круп-

Установленные содержания редких металлов в рудах важнейших месторождений (мас.%)

Месторождение	Редкие металлы			Редкоземельные металлы	
	оксид ниобия	оксид РЗМ	цериевая группа	иттриевая группа	в т. ч. иттрий
Томтор, уч. Буранный	7.0	10.0	9.0	1.00	0.420
Ловозерская группа (Корнасурт, Умбозеро)	0.24	1.2	1.17	0.026	0.008
Чуктукон, редкоземельные руды	0.5	7.0	6.58	0.42	0.130
Чуктукон, ниобиевые руды	1.2	3.0	2.76	0.24	0.084
Катугинское	0.3—1.0	0.37	0.2	0.17	0.08
Боянь-Обо, Внутренняя Монголия, КНР	0.1	6.0	5.86	0.14	0.030
«Ионные руды», Южные провинции КНР	Mo, U, V, Co, Re	0.15	0.03	0.05	0.07

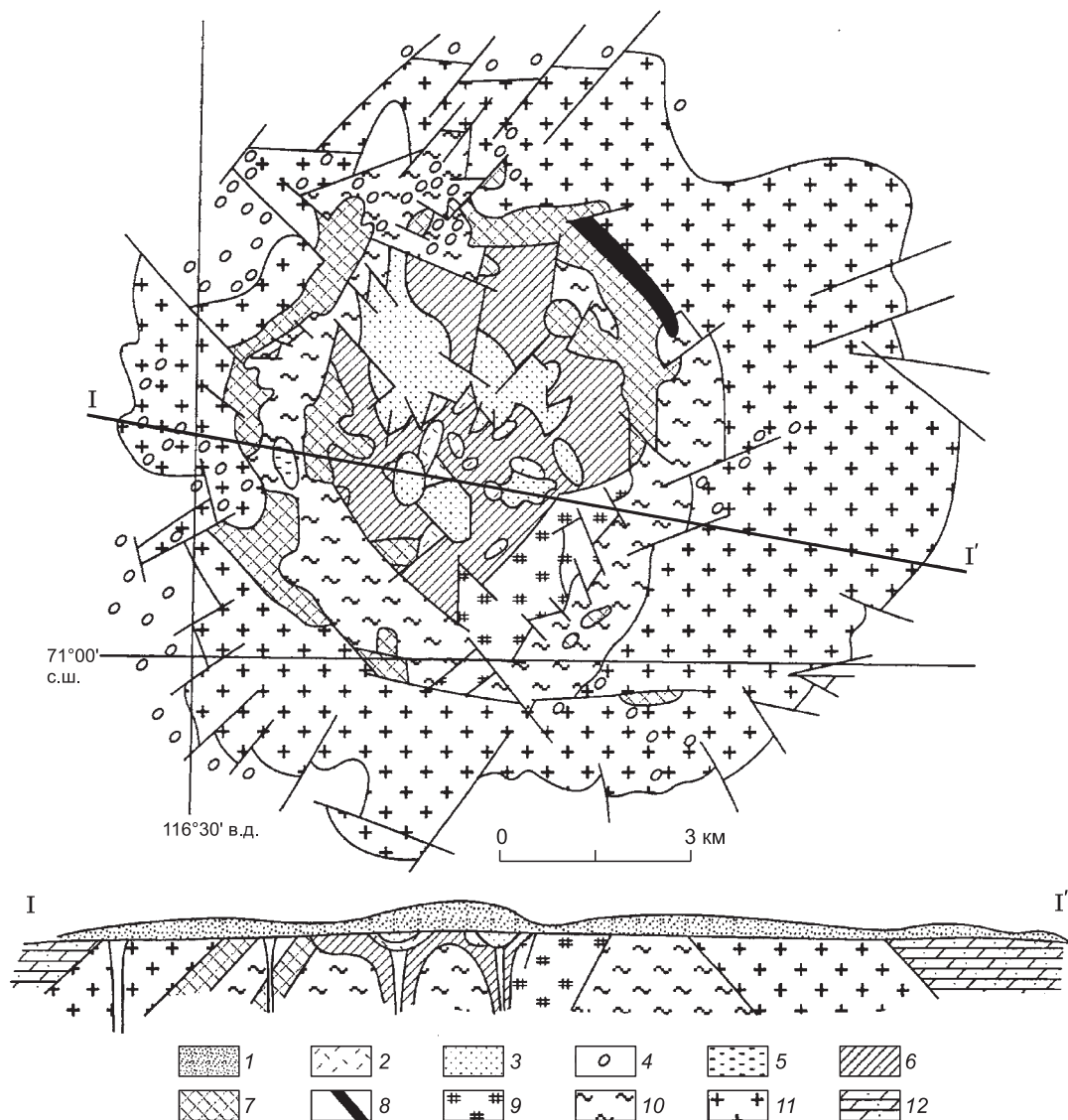


Рис. 7. Карта-схема и разрез I—I' Томторского массива щелочно-ультраосновных пород и карбонатов (на схеме без платформенного чехла юрских отложений). Составлена А.Н. Орловым с использованием материалов Амакинской экспедиции [Парфенов, Кузьмин, 2001].

I — юрские алевролиты, песчаники, аргиллиты и конгломераты; 2, 3 — вулканогенно-осадочный комплекс: 2 — франколит-монацит-пирохлоровые метасоматиты (верхний продуктивный горизонт, возникшие в коре выветривания на фосфатно-редкоземельно-редкометалльных карбонатах III (400 млн лет), 3 — пермские туфобрекчии, туфогравелиты, туфы с прослоями углей (кальдеры проседания на трубках взрыва); 4—6 — вулканогенный комплекс: 4 — пикриты, альнеит-тингвайты и связанные с ними карбонаты II, III (430—370 млн лет), 5 — карбонаты II, III (430—370 млн лет), 6 — лавы фонидитового состава, рудные лавы, туфы и туфобрекчии, карбонаты II, III (нижняя рудная толща, 450—440 млн лет); 7—12 — плутонический комплекс: 7 — нельсониты, камафориты I апатит-магнетит-пироксен-форстеритового состава с жилами карбонатов I (660—650 млн лет), 8 — апатит-титаномагнетитовые рудные тела, 9 — послейюлитовые нефелиновые сиениты (650 млн лет), 10 — ийолиты, мельтейгиты, якупирангиты, уриты, карбонаты I (700 млн лет), 11 — нефелиновые сиениты периферической зоны массива (700 млн лет), 12 — рифейские доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники, гравелиты и конгломераты.

ное месторождение в России. На ряде участков руда представляет собой природную (переотложенную) смесь ниобиевого и редкоземельного концентратов [Эпштейн и др., 1994].

Институт химии и химической технологии СО РАН при финансировании АК «АЛРОСА» разработал комбинированную гидропирометаллургическую технологию глубокой переработки томторских руд [Пашков и др., 1995; Кузьмин и др., 2006], схема которой представлена на рис. 9. Редкоземельные минералы вскрывают в две стадии, обработкой руды 45%-м раствором гидроксида натрия с последующим солянокислым растворением гидрооксидов скандия, РЗЭ и иттрия. Из маточного раствора скандий извле-

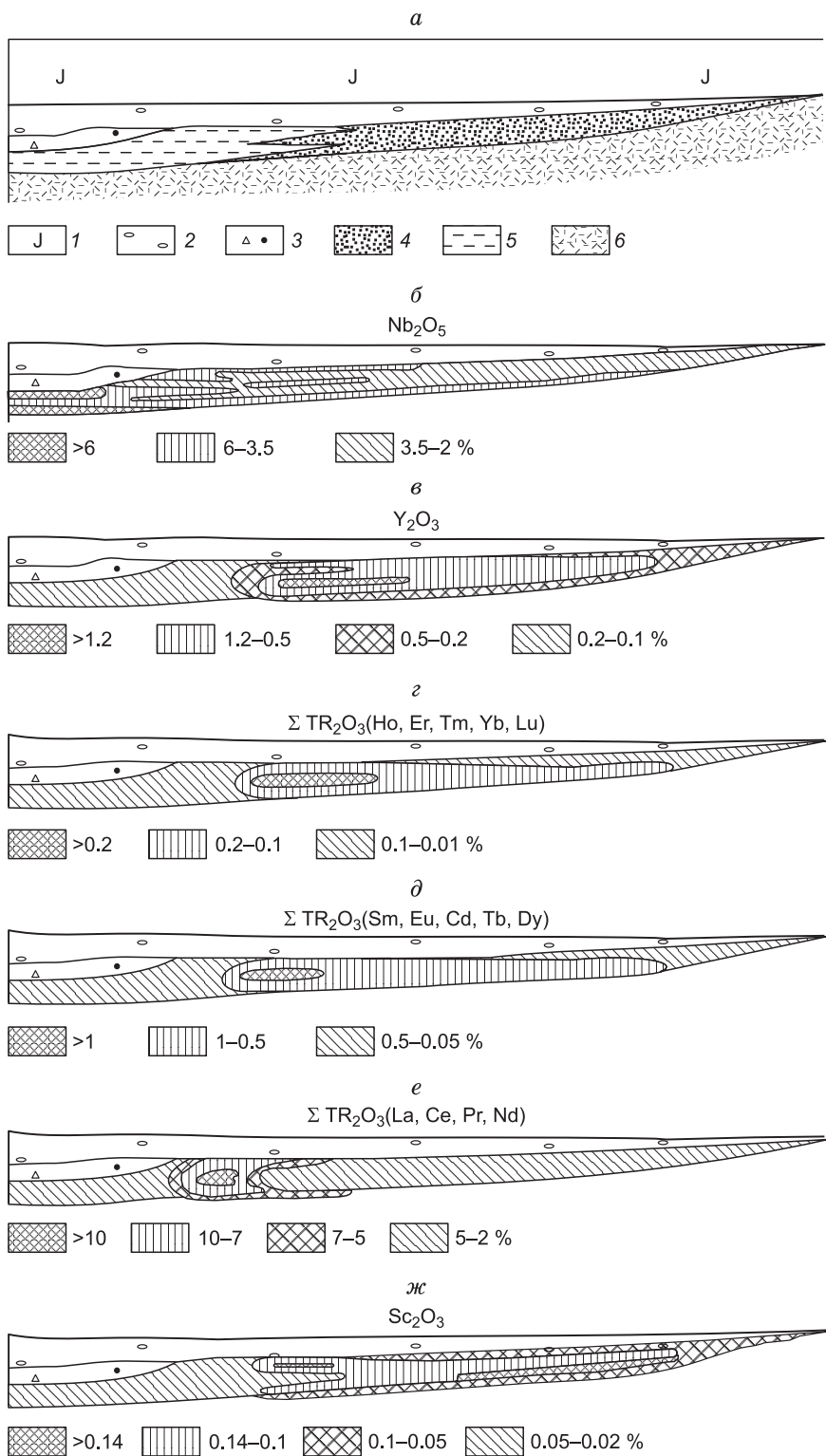


Рис. 8. Фрагмент геологического разреза участка Буранный месторождения Томтор (а) и особенности распределения редкометалльного оруденения в породах рудного пласта (б—ж) [Эпштейн и др., 1994; Додин, 2008].

1 — юрские морские осадочные отложения; 2, 3 — пермские отложения; 2 — аллювиальные угленосные, 3 — делювиально-аллювиальные красноцветные; 4, 5 — озерные отложения: 4 — песчаные, 5 — алевроитовые и пелитовые; 6 — породы кровли коры выветривания.

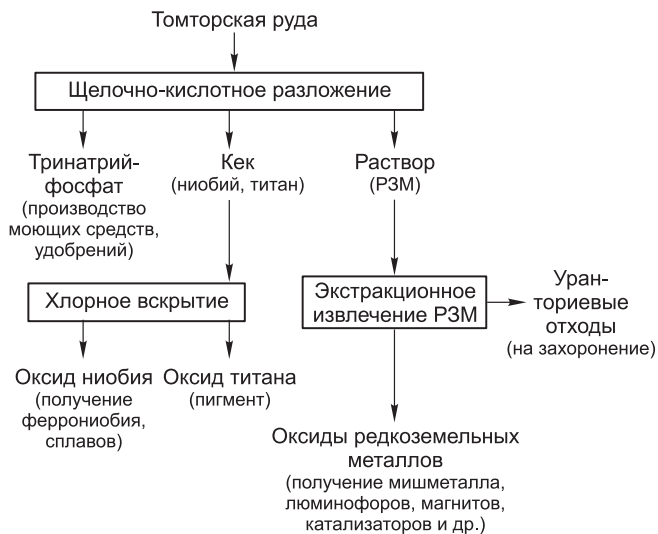


Рис. 9. Схема комбинированной гидропирометаллургической технологии глубокой переработки редкометалльных руд месторождения Томтор, по [Пашков и др., 1995; Кузьмин и др., 2006].

кают противоточной экстракцией 80%-м раствором трибутилфосфата. На этой стадии происходит очистка металла от РЗЭ, алюминия, щелочноземельных элементов и др. От другой группы примесей (железо, уран и др.) скандий очищают на стадиях промывки экстракта и реэкстракции растворами соляной кислоты различной концентрации. Для повышения глубины очистки проводят повторное экстракционное извлечение скандия. На завершающей стадии скандиевый реэкстракт нейтрализуют раствором аммиака, скандий осаждают щавелевой кислотой.

осадок промывают водой и прокаливают. Чистота полученного оксида скандия по предложенной технологии составляет 99,9, сквозное извлечение металла — 82 %.

Технология позволяет извлекать в ценные продукты более 60 % всех составляющих руды. Она реализована в опытно-промышленном масштабе на Красноярском горно-химическом комбинате, куда руда

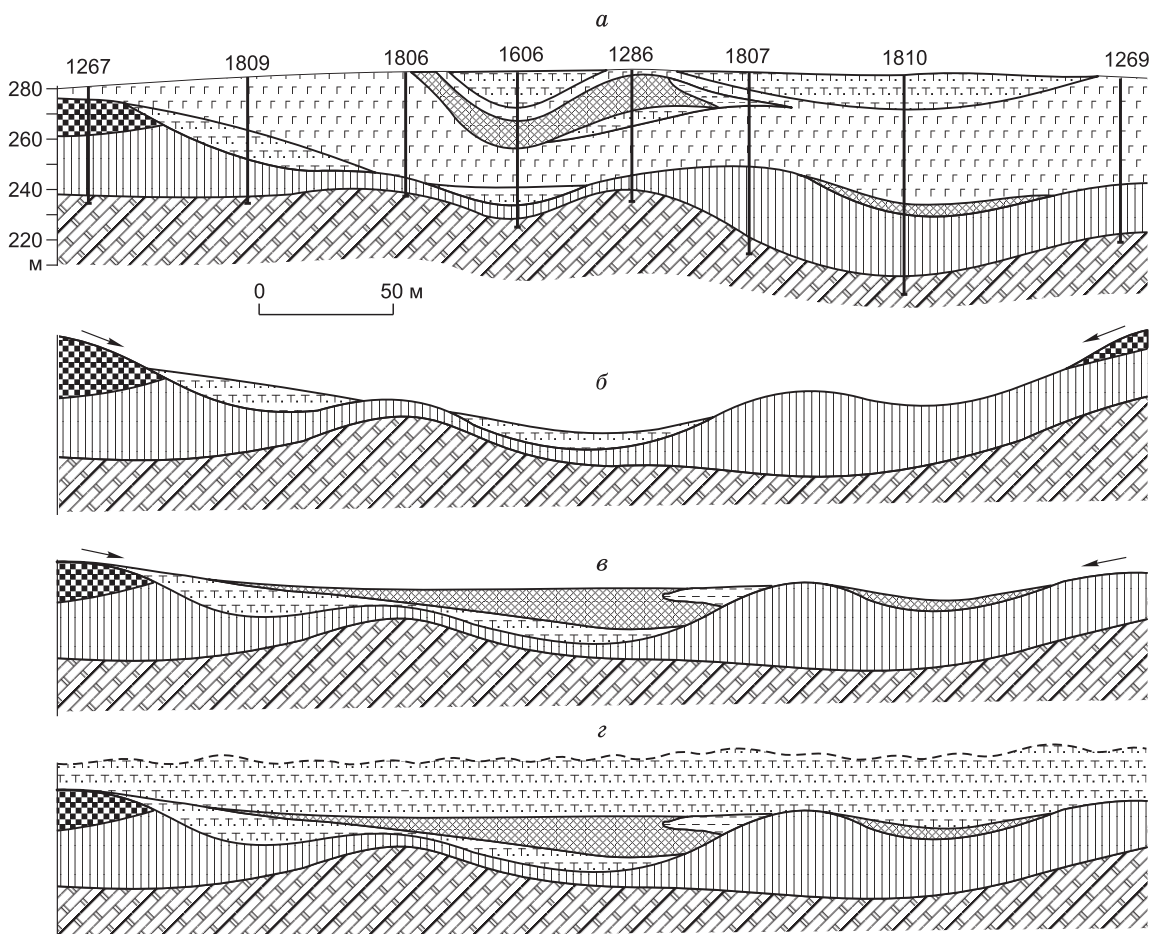


Рис. 10. Геологический разрез Венса-Ворсквинского месторождения бокситов в районе скв. 1268 (а), палеогеоморфологическое положение бокситоносной формации к моменту проявления локальных пульсаций вулканической деятельности (б), субсинхронного переотложения бокситов (в) и проявления основной фазы кыновского вулканизма (г).

Соотношение горизонтального и вертикального масштабов 1:1, по [Юшкин и др., 2003].

может доставляться зимником до моря и далее летом по морю и р. Енисей до Красноярска. К сожалению, в настоящее время руководство комбината остановило работы по созданию опытного производства. В то же время разработка Томторского месторождения способствовала бы освоению других крупных месторождений региона: Ключус (золоторудное), Мангазейское (серебряное), а также золото-сурьмяных месторождений.

Наконец, кратко охарактеризуем перспективы освоения и развития Тиманских бокситовых залежей как один из наиболее перспективных источников глинозема для алюминиевой металлургии России [Юшкин и др., 2003; Лаженцев, 2006; Вахрушев и др., 2009]. В настоящее время разрабатываются карьеры Среднетиманского бокситового района, поставка бокситов с которых на заводы страны в 2005 г. превысила 2 млн т, из них более 1 млн т на Уральский алюминиевый завод.

Разрабатываются девонские бокситы латеритного типа вблизи линии железной дороги. Разрез Венсано-Воросквинского месторождения приведен на рис. 10. Первоочередная задача — увеличение мощности Среднетиманского рудника до 6.5 млн т бокситов в год и строительство Сосногорского глиноземного завода. Но более крупные запасы бокситов сосредоточены в вендских и нижнекаменноугольных отложениях. Поставлена задача найти здесь высококачественные бокситы и разработать технологии переработки сернистых бокситов. Дальнейшее развитие добычи бокситов планируется в рамках программы «Урал Полярный—Урал Промышленный», чтобы полностью вытеснить поставку импортных бокситов и глинозема для российских алюминиевых заводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, повторим предлагаемые новые законопроекты, подготовленные в Минприроды РФ:

— по уточнению процедуры проведения конкурсов и аукционов (аукционы как основная форма, конкурсы по решению Правительства РФ, инвестиционные конкурсы);

— по расширению границ горных отвалов (в случае, если выявленное месторождение выходит за границы лицензионного участка);

— уточнение оснований для досрочного прекращения права пользования недрами;

— введение нормы о бесплатном предоставлении геологической информации;

— поправка для повышения комплексности отработки месторождений и повышения качества геолого-разведочных работ, в том числе уточнение требований к содержанию технических проектов;

— поправка о формах и механизмах участия субъектов РФ в деятельности по финансированию ГРР.

Многие из них очень важны и для освоения минеральных ресурсов Арктики, в частности, по уточнению процедуры проведения конкурсов и аукционов (с учетом специфики Арктики), повышения комплексности отработки месторождений, что исключительно важно в арктических условиях. Но еще важнее, чтобы Правительство РФ определилось, какие инфраструктурные проекты для освоения арктических месторождений будут реализованы в ближайшие 10 лет (с учетом инерционности таких проектов).

Чтобы сохранить и развивать наше присутствие в Арктике, руководство страны должно закрепить арктическое направление как один из важнейших приоритетов и выбрать среди арктических проектов первоочередные, обеспечив для них скорейшее создание необходимой инфраструктуры и необходимые изменения в нормативно-правовой базе.

ЛИТЕРАТУРА

Афанасьев В.П. Типизация шлихоминералогических поисковых обстановок Якутской алмазоносной провинции // Сов. геология, 1989, № 1, с. 24—33.

Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П., Кривонос В.П., Яныгин Ю.Т. Роль карста в формировании россыпной алмазоносности Муно-Мархинского междуречья (Якутская алмазоносная провинция, Россия) // Геология рудных месторождений, 2001, т. 43, № 3, с. 262—267.

Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С., Титов А.Т., Толстов А.В., Корнилова В.П., Соболев Н.В. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика, 2008, т. 49(2), с. 120—127.

Багдасаров Ю.А. Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Восточная Якутия) // Геохимия, 1997, № 9, с. 62—68.

Багдасаров Ю.А. Петрогеохимические критерии лампроитового семейства магматических пород и особенности формирования массива Томтор (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (10), с. 1178—1185.

Борисенко А.С., Сотников В.И., Изох А.Э., Оболенский А.А. Пермотриасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 166—182.

Вахрушев А.В., Любинский И.Ф., Котова О.Б. Новые методы и средства комплексной переработки алюминиевого сырья Коми // Материалы XV геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, Геопринт, 2009, с. 349—351.

Гельман М.Л. Фанерозойские гранитометаморфические купола на Северо-Востоке России: магматизм, метаморфизм и мигматизация в позднемезозойских куполах // Тихоокеанская геология, 1996, т. 15, № 1, с. 84—93.

Добрецов Н.Л. Пермотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение мантийного суперплюма // Докл. РАН, 1997, т. 354, № 4, с. 497—500.

Добрецов Н.Л. Крупнейшие магматические провинции Азии (250 млн лет): сибирские и эмейшаньские траппы (платобазальты) и ассоциирующие гранитоиды // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (9), с. 870—890.

Добрецов Н.Л. Геологические следствия термохимической модели плюмов // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (7), с. 587—604.

Додин Д.А. Минерагенция Арктики. СПб., ВНИИОкеангеология, 2008, 293 с.

Додин Д.А., Говердовская Т.Г., Додина Т.С., Чередникова О.Н. Рудно-магматические комплексы Центральной Арктики // Российская Арктика: геологическая история, минерагенция, геоэкология. СПб., 2002, с. 226—237.

Додин Д.А., Иванов В.Л., Каминский В.Д. Российская Арктика — крупная минерально-сырьевая база страны // Литосфера, 2008, № 4, с. 76—92.

Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М. Тектоническая история Арктики // Актуальные проблемы геотектоники. М., Наука, 1987, с. 31—57.

Зоненшайн Л.П., Межеловский Н.М., Натапов Л.М. Геодинамическая карта СССР и прилегающих акваторий м-ба 1:2 500 000. М., Мингео СССР, 1988.

Кабаньков В.Я., Андреева И.А., Иванов В.Н., Петрова В.И. О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении // Геотектоника, 2004, № 6, с. 86—98.

Ковальский В.В., Никишов К.Н., Зольников Г.В., Маршинцев В.К. Кимберлитовая формация Якутии // Строение земной коры Якутии и закономерности размещения полезных ископаемых. М., Наука, 1969, с. 189—207.

Конторович В.А. Мезозойско-кайнозойская тектоника и нефтегазоносность Западной Сибири // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (4), с. 461—474.

Косько М.К. Восточно-Арктический шельф России: геология и тектонические основы нефтегазо-геологического районирования: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. СПб., ГУ, 2007, 34 с.

Кривонос В.Ф., Федоров П.Т. Новые данные о природе локальных магнитных аномалий трубчатого типа на восточном склоне Анабарской антеклизы // Геология и геофизика, 1971 (6), с. 96—104.

Кузьмин В.И., Ломаев В.Г., Пашков Г.Л., Овчинников С.В., Кузьмина В.Н., Дорохова Л.И. Переработка руд месторождений кор выветривания карбонатитов — будущее редкометалльной промышленности России // Цветные металлы, 2006, № 12, с. 62—68.

Кузьмичев А.Б., Склярков Е.В., Бараш И.Г. Пиллоу-базальты и глаукофановые сланцы на острове Большой Ляховский (Новосибирские острова) — фрагменты литосферы Южно-Анъюского палеоокеана // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (12), с. 1367—1381.

Лажнецов В.Н. Север: наука и перспективы инновационного развития. Сыктывкар, Научный Совет РАН по вопросам регионального развития, Коми научный центр УрО РАН, 2006, 400 с.

Парфенов Л.М., Кузьмин М.М. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М., Наука, 2001, 571 с.

Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.Н., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология, 2003, т. 22, № 6, с. 7—41.

Пашков Г.Л., Кузьмин В.И. Технология вскрытия и извлечения ценных компонентов из редкометалльных руд Томторского месторождения // Сборник тезисов докладов Международной конференции «Редкоземельные металлы: переработка сырья, производство соединений и материалов на их основе». Красноярск, 1995, с. 71—74.

Погребницкий Ю.Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // Сов. геология, 1976, № 12, с. 3—22.

Поршнев Г.И., Степанов П.П. Геологическое строение и фосфатноносность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитоносность севера Сибири. Л., НИИГА, 1980, с. 84—100.

Поселов В.А., Грамберг И.С., Мурзин Р.Р., Буценков В.В., Каминский В.Д., Сорокин М.Ю., Погребницкий Ю.Е. Структура и границы континентальной и океанической литосферы Арктического бассейна // Российская Арктика: геологическая история, минерагенция, геоэкология / Под ред. Д.А. Додина, В.С. Суркова. СПб., Океангеология, 2002, с. 121—133.

Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Некоторые аспекты эволюции литосферной мантии северо-восточной части Сибирской платформы в связи с проблемой алмазности разновозрастных кимберлитов //

- Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов: Материалы конференции, посвященной 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный, 1998, с. 65—68.
- Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Бойд Ф.Р., Пирсон Д.Г., Шимизу Н.** Мегакристаллические пироповые перидотиты в литосфере Сибирской платформы: минералогия, геохимические особенности и проблема происхождения // Геология и геофизика, 1993, т. 34 (1), с. 71—84.
- Прокопчук Б.И., Левин В.И., Метелкина М.П., Шофман И.Л.** Древний карст и его россыпная минерагения. М., Наука, 1985, 175 с.
- Рябов В.В., Шевко А.Я., Гора М.П.** «Аномальные» образования в траппах Сибирской платформы — показатели геодинамической обстановки формирования платобазальтов // Литосфера, 2005, № 4, с. 163—177.
- Смелов А.П., Андреев А.П., Алтухова З.А., Бабушкина С.А., Бекренев К.А., Зайцев А.И., Избеков Э.Д., Королева В.О., Мишнин В.М., Округин А.В., Олейников О.Б., Сурнин А.А.** Кимберлиты трубки Манчары: кимберлитовое поле Центральной Якутии // Геология и геофизика, 2010, т. 51, №1, с. 151—157.
- Соболев Н.В., Похиленко Н.П.** Минералогические критерии и методы поисков коренных месторождений алмазов // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50). СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2004, с. 332—335.
- Соболев Н.В., Белик Ю.П., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Кривонос В.Ф., Поляков В.Н., Соболев В.С.** Хромсодержащие пиропы в нижнекаменноугольных отложениях Кютюнгинского прогиба // Геология и геофизика, 1981 (2), с. 153—157.
- Соколов С.Д., Бондаренко Т.Е., Морозов О.Л., Ганелин А.В., Подгорный И.И.** Покровная тектоника Южно-Ануйской сутуры (Западная Чукотка) // Докл. РАН, 2001, т. 376, № 1, с. 30—84.
- Толстов А.В., Тянь О.А.** Геология и рудоносность массива Томтор. Якутск, Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999, 164 с.
- Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И.** Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (4), с. 443—460.
- Энтин А.Р., Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Василенко В.Б., Орлов А.Н., Тянь О.А., Ольховик Ю.А., Олыштынский С.П., Толстов А.В.** О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика, 1990 (12), с. 42—50.
- Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А.** Геология Томторского уникального редкометалльного месторождения // Геология рудных месторождений, 1994, т. 36, № 2, с. 83—110.
- Эрлих Э.Н.** Найти месторождение // Звезда, 2004, № 10, с. 181—201.
- Юшкин Н.П., Бурцев И.Н., Остащенко Б.А., Малышев Н.А., Беляев В.В.** Девон в минерально-сырьевом потенциале Тимано-Североуральского региона. Сыктывкар, Геопринт, 2003, 40 с.
- Akinin V.V., Calvert A.T.** Cretaceous mid-crustal metamorphism and exhumation of the Koolen gneiss dome, Chukotka, Russia // Tectonic evolution of the Bering shelf-Chukchi sea-Arctic margin and adjacent landmasses / Eds. E.L. Miller, A. Grantz, S. Klemperer. Boulder, Colorado, 2002, p. 147—165.
- Arima M., Harte B., Sobolev N.V.** Preface: a special issue in honour of Vladimir Sobolev // Europ. J. Miner., 2008, v. 20, p. 303—304.
- Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.A., Kirdyashkin A.G., Vernikovskiy V.A., Gladkov I.N.** Modelling of thermochemical plumes and implications for the origin of the Siberian traps // Lithos, 2008, v. 100, p. 66—92.
- Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A.** Mantle plumes and their geological manifestations // Int. Geol. Rev., 2001, v. 43, p. 771—788.
- Franke D., Hinz K., Reichert C.** Geology of the East Siberian sea, Russian Arctic, from seismic images: structures, evolution and implications for the evolution of the Arctic Ocean basin // J. Geophys. Res., 2004, v. 109, № 7, p. 1—19.
- Lebedeva-Ivanova N.N., Zamansky Yu.Ya., Langinen A.E., Sorokin M.Yu.** Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82° N: evidence of continental crust // Geophys. J. Int., 2006, v. 165, p. 527—544.
- Natal'in B.A., Amato J.M., Toro J., Wright J.E.** Paleozoic rocks of northern Chukotka Peninsula, Far East: implications for the tectonics of the Arctic Region // Tectonics, 1999, v. 18, № 6, p. 977—1003.
- Pokhilenko N.P.** Permo-Triassic superplume and its influence to the Siberian lithospheric mantle // Proc. VIII Intern. Workshop «Deep-seated magmatism, its sources and plumes». Irkutsk, Inst. Geogr. Publ. House, 2008, p. 41—53.
- Pokhilenko N.P., Sobolev N.V.** Mineralogical mapping of the North-East section of the Yakutian kimberlite province and its main results // Ext. Abstr. v. of 6th IGC, Novosibirsk, 1995, p. 446—448.
- Sekretov S.B.** Structure and tectonic evolution of the southern Eurasia basin, Arctic ocean // Tectonophysics, 2002, v. 351, p. 193—243.
- Sobolev N.V., Lavrent'ev Y.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V.** Crome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contr. Miner. Petrol., 1973, v. 40, p. 39—52.

Поступила в редакцию
22 июня 2009 г.