

УДК 553(99)

## МИНЕРАГЕНИЯ АРКТИКИ

© 2009 г. Д. А. Додин

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии  
и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология)  
190121, г. Санкт-Петербург, Английский просп., 1

E-mail: okeangeo@vniiio.ru

Геологический институт РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7

Поступила в редакцию 27.02.2009 г.

В статье впервые рассматриваются закономерности размещения, формирования и масштабы развития важнейших типов полезных ископаемых Северной полярной области Земли. Показано, что она представляет собой планетарный Арктический минерагенический пояс, основным структурным элементом которого является одноименный складчатый пояс длительного развития. Убедительно доказано, что главные черты минерагении Арктики определяются ее особым циркумполярным расположением в структуре нашей планеты, а также своеобразием генерирования и транспортировки рудного и органического вещества, его локализацией в крупных и уникальных объектах. Арктические минерагенические гиганты – Уренгойское, Прадхо-Бэй, Октябрьское, Рэд-Дог и ряд других во многом определяют развитие мировой экономики. Приведена авторская модель формирования, возможности и методы открытия некоторых подобных объектов в недрах Арктики.

**Ключевые слова:** Арктика, минерагения, рифтинг, субдукция, минерагенические провинции, минерально-сырьевая база.

### ВВЕДЕНИЕ

Арктический складчатый пояс был выделен значительно позже подобных крупных структур земной коры. Н.П. Херасков [62], В.Е. Хайн [60], М.В. Муратов [47, 48], Б.Х. Егиазаров [34, 35], И.П. Атласов [3], Б.В. Ткаченко [58] и ряд других исследователей отмечали, что “кроме меридиональных складчатых и подвижных поясов – Тихоокеанского, Урало-Монгольского и Атлантического, существуют широтные пояса – Арктический, Средиземноморский и Южный широтный пояс (или пояс Нереис)” [35, с. 47]. Признавая огромную значимость этих работ для познания тектоники Арктики, автор, однако, следует в своем понимании геологических объемов Арктического пояса за Ю.Е. Погребицким [15, 51], прослеживающим последний от Фенноскандинавии до Камчатки (рис. 1).

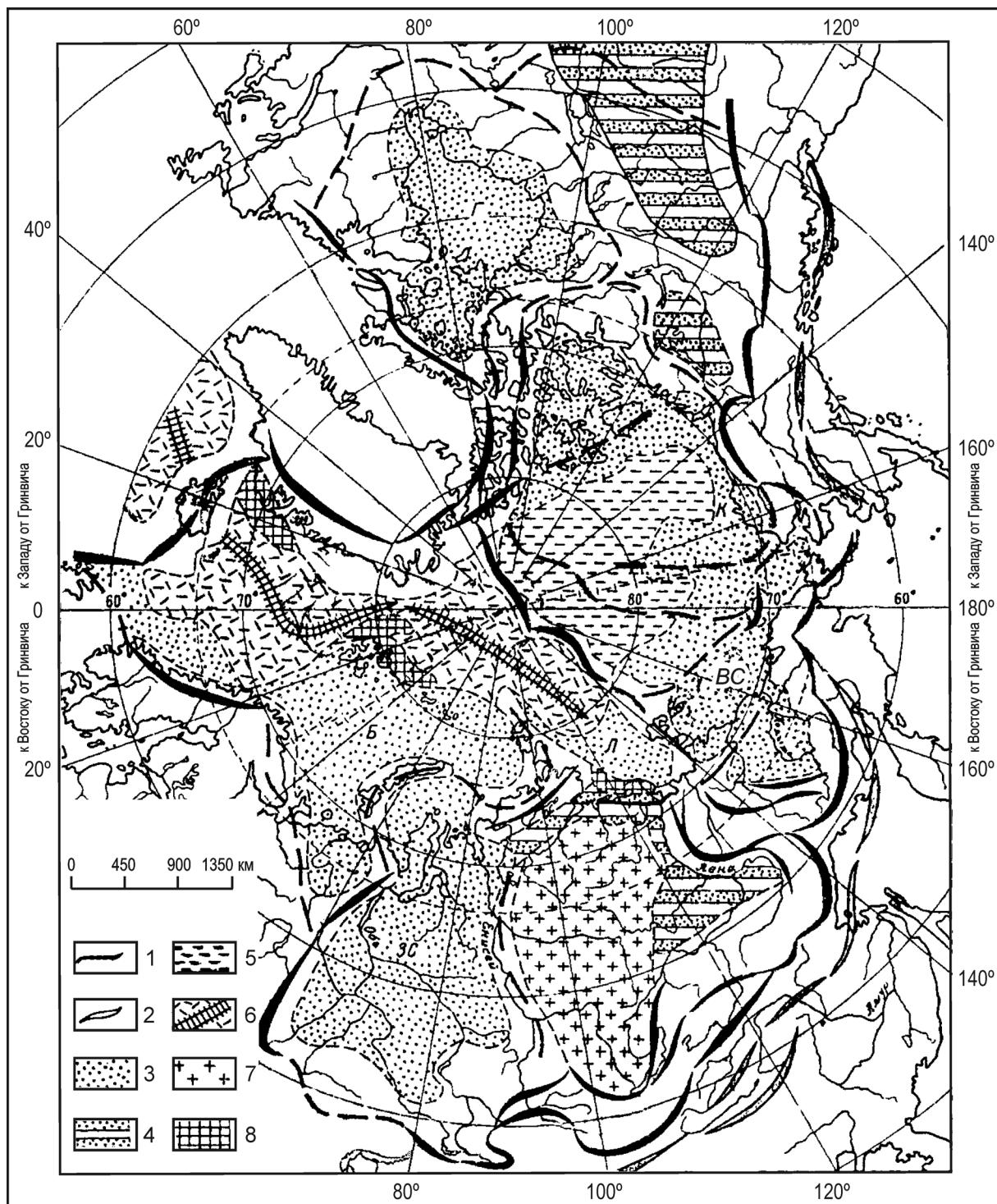
Арктический металлогенический пояс вероятно впервые оконтурил Г.А. Твалчрелидзе [57], основываясь на тектоническом районировании М.В. Муратова [47].

В 1990 г. автором с коллегами был выделен и рассмотрен Арктический циркумполярный минерагенический пояс и его главные составляющие – минерагенические провинции [24]. При этом основным структурным элементом намеченной планетарной металлогенической структуры является Арктический складчатый пояс длительного развития. Наличие в Арктике уникальных месторож-

дений меди, никеля, золота, платиновых и редких металлов, нефти, газа, железа, урана, апатита, редких земель позволяет чрезвычайно высоко оценить минерально-сырьевую потенциал арктических регионов [1, 14, 21–23, 25]. Только в российской части пояса сосредоточено запасов (%): золота – 40, нефти – 80, газа, никеля, сурьмы, олова, вольфрама, ртути, апатита, флогопита – 50–90, хрома и марганца – 90, платиновых металлов – 98, рудных алмазов – 99, флогопита ~80, вермикулита – 85. Доля общемировых запасов, (%): алмазов и природного газа – 30, никеля – 20, апатита – 50, ниobia – 35, меди, платиновых металлов и олова – 10–15, нефти (без учета шельфа) и кобальта – 10, вольфрама и ртути – 6–8. Доля общероссийской добычи (%): алмазов, сурьмы, апатитового концентрата, флогопита, вермикулита, редких металлов и редких земель – 99–100, платиноидов – 97, газа – 95, никеля – 90, нефти и меди – 60–80 [22, 23, 25].

Главные черты минерагении Арктики во многом определяются ее особым циркумполярным расположением в структуре нашей планеты, а также своеобразием транспортировки и генерирования рудного и органического вещества и его локализацией в немногочисленных, но крупных и уникальных объектах (золото Аляски и Колымы, никель, медь и платиноиды Норильска, алмазы Якутии и Канады, олово Янского района, полиметаллы Рэд-Дога и др.).

Наиболее важные в промышленном отношении минерагенические структуры располагаются



**Рис. 1.** Главные структуры Арктической депрессии. По [51], с упрощениями.

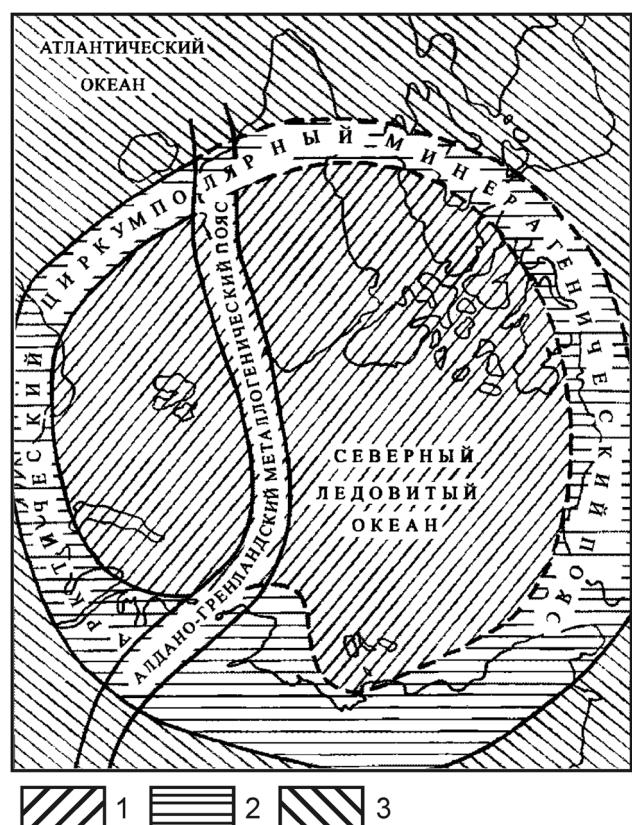
1 – линейные орогенные структуры; 2 – реконструированные пермо-триасовые звенья пограничного орогенного пояса; 3 – материковые седиментационные бассейны: Б – Баренцевский, ЗС – Западно-Сибирский, Л – Лаптевский, ВС – Восточно-Сибирский, К – Канадский, Г – Гудзонский; 4 – замкнувшиеся части бассейнов; 5 – область седиментации на океанической коре; 6 – типоморфный океанический бассейн со срединным хребтом; 7 – Среднесибирское щитовое поднятие; 8 – реликты обрушенных щитовых поднятий.

на стыке этого и субмеридиональных планетарных поясов – Атлантического, Монголо-Уральского, Тихоокеанского, Алдано-Гренландского (с Енисейско-Североземельским трансрегиональным поясом). Таким образом, Северная Полярная область Земли представляет собой своеобразную решетку пересекающихся рудных поясов. Глобальные особенности поясов – целостных блоков литосферы – приуроченность к глубинным планетарным разломам, переход с суши на шельф и в океан, аномальное строение земной коры, многоэтапность геосинклинальных и активизационных циклов, тектоно-магматических и минерагенических процессов, осложненных или преобразованных явлениями рифтогенеза, раздвига или субдукции, приводит к полигенности, полихронности и полиформационности провинций минерального и топливно-энергетического сырья. Огромные размеры арктического шельфа, сложность его геологического развития, значительная мощность осадочного чехла создают уникальные возможности для нефтегазонакопления и, иногда, россыпейобразования.

Широкое развитие в Арктике щитов и платформ с присущими им вулкано-плутоническими комплексами, характеризующимися определенными наборами полезных ископаемых (медно-никелевые и платинометалльные руды, алмазы, апатиты, редкие металлы и редкие земли, железо, титан и др.) делает особенно актуальной проблему оконтуривания и изучения минерагении периплатформенных поясов, которые иногда позволяют проследить связи арктической (исключительно своеобразной, по мнению автора) и другой (Центрально-Европейской, Уральской, Центрально-Сибирской, Центрально-Канадской) металлогенации. Причем эти связи проявляются в изменении не только контуров (конфигурации) минерагенических провинций, но и их состава (качественного и количественного) и возраста [53].

Так, в развитие этого положения, установленные нами минерагенические особенности краевых структур Сибирской платформы и Гренландского архейского кратона дают основание выделить Алдано-Гренландский планетарный (часть Гренландско-Тихоокеанского золото-благороднометалльного мегапояса [40]) преимущественно благороднометалльный (с другими подчиненными типами оруденения) пояс протяженностью около 9 тыс. км (рис. 2). Пояс включает Алдано-Становую, Прибайкальскую, Ангаро-Патомскую, Енисейского кряжа, Таймыро-Североземельскую (составные части Алдано-Североземельского пояса) и Восточно-Гренландскую платиноносно-золотоносные провинции. По мере усиления арктической составляющей в металлогении пояса, месторождения отдельных провинций обогащаются благородными металлами (Сухой Лог → Олимпиада → Жильный → Голышевское (Северная Земля)) [53].

Внутри протерозойско-палеозойских структурно-формационных комплексов Алдано-Североземельского и других поясов обрамления Сибирской платформы в целом выделяется по меньшей мере шесть глобальных зон распространения разновозрастных продуктивных уровней (обычно полигоризонтных) черных сланцев, содержащих различное оруденение: 1) ранних байкалид (сибирид или карелид) с разнородными графитсодержащими терригенно-карбонатными и вулканогенными образованиями (хангарульская, муйская серия и др.), метаморфизованными в амфиболитовой фации (графит, силлманит, рутил, железо, золото, медь); 2) поздних байкалид (по рифей включительно) с широким развитием черносланцевых толщ (золото, медь, платиноиды, полиметаллы); 3) ранних каледонид (преимущественно венд и ранний кембрий) – это вулканогенные породы спилито-диабазо-кварцкератофировой, кремнисто-сланцевой и кремнисто-карбонатной формаций с довольно мощными пачками черных графитистых и шунгитовых сланцев с сульфидами, золотым, платиноидным ору-



**Рис. 2.** Схема внутреннего строения Арктическо-планетарного минерагенического пояса.

Зоны: 1 – внутренняя глубоководно полиметаллически-сульфидно-нефтегазоносная, 2 – средняя полиметаллоносно-нефтегазово-золотоносная, 3 – краевая золотоносно-алмазоносная.

денением и другими полезными ископаемыми; 4) поздних каледонид, отличающихся флишиоидными и молассоидными формациями с рядом мощных пачек черных графитисто-глинистых сланцев позднекембрийско-ордовикского возраста (полиметаллы, золото, медь, платиноиды и т.д.); 5) орогенного этапа каледонид с графитисто-кремнисто-глинистыми формациями силура–раннего девона; 6) верхоянских мезозой – терригенных слабоуглеродсодержащих формаций [20, 23, 24].

Черносланцевые формации характеризуются, как правило, устойчивой для больших территорий крупных минерагенических провинций геохимической специализацией с повышенными фоновыми содержаниями ряда металлов, сульфидов (до интенсивной пиритизации), а иногда также магнезиально-железистых карбонатов (пистомезит, брейнерит, доломит, анкерит, сидерит и др.), наличием карбонатных конкреций. Устанавливается полная тождественность изотопного состава углерода из углистых филлитов и графитовых плагиогнейсов [19].

Рассматриваемые металлогенические пояса являлись мощным катализатором мантийных флюидов. Повышенные (до 0,006%) содержания гелия и других газов в природных объектах структур Сибирской платформы [24] позволяют считать, что это – длительно живущая флюидоподводящая система, обеспечивающая интенсивный щелочной метасоматоз осадочно-вулканогенных толщ и формирование мощных протяженных эндогенных геохимических полей.

Арктические регионы, существенно различающиеся по своей геотектонической природе, объединяются в единое целое принадлежностью к континентально-окраинной планетарной зоне. Общим в их строении является наличие поздне- и послепалеозойских рифтов, рифтоподобных и рифтогенных структур, проникавших в континентальную мегаплита со стороны океана.

Свойственное рассматриваемой планетарной зоне своеобразие генерирования, транспортировки и концентрирования рудного вещества в верхних этажах коры, вероятно, в значительной мере определяется относительно слабой проявленностью здесь планетарных океаноформирующих процессов, некоторой как бы недоразвитостью Северного Ледовитого океана и связанных с ним несостоявшихся океанов, таких как Западная Сибирь и Лено-Енисейский прогиб. Этим же объясняется специфика строения арктического шельфа и, в меньшей мере, арктической континентальной окраины.

Устанавливаются сравнительно низкая суммарная рудопродуктивность некоторых арктических регионов и неполнота, “укороченность” свойственных им рядов рудных формаций. Последнее обуславливает присутствие здесь уникальных по масштабам рудных объектов и возможность от-

крытия новых, в том числе и ранее неизвестных вещественно-генетических типов [24].

Таким образом, благодаря своеобразию местонахождения и процессов становления рудогенерирующих магматических формаций и их сочетаний, Арктическая область Земли специфична в минерагеническом отношении. Относительная утонченность (утолщенность) гранитного слоя, состояние его вещества, глубина залегания раздела Мохоровичча определяют здесь характер процессов становления рудопродуцирующих магматических формаций.

### МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АРКТИЧЕСКОГО ПОЯСА

В строении пояса намечаются три крупные, близкие к концентрическим зонам: краевая – золотоносно-алмазоносная, средняя – полиметаллоносно-нефтегазово-золотоносно-платиноносная и внутренняя – глубоководная полиметаллическо-сульфидно-нефтегазоносная (рис. 2) с серией рудных и нефтегазовых провинций, угольных бассейнов, а также с Западно-, Центрально- и Восточно-Арктической шельфовыми областями россыпебразования. Название зон по ведущим полезным ископаемым несколько условно, хотя и отражает в общих чертах смену минерагенической специализации. В средней зоне также устанавливаются месторождения алмазов (Эбелях), а в краевой – платины (Сейнав-Гальмоэнанское), нефти (Самотлор) и газа. Тем не менее, выделенные зоны, совпадая с внешней, промежуточной и внутренней зонами Арктической геодепрессии [15, 51], в определенной мере отражают смену геодинамических и эндогенных режимов и положение провинций относительно горячих точек, плюмов и суперплюмов [17, 18].

Закономерности размещения и конфигурации рудных провинций в Арктике во многом согласуются с положением глобальных систем глубинных разломов, которые служат основными путями тепломассопереноса, проникновения магм и рудообразующих флюидов в земную кору. Линейные, дугообразные и кольцевые системы разломов являются, вероятно, фрагментами единой планетарной сети структур активизации. Весьма важной в отношении рудоносности является группа сквозных (в том числе поперечных или трансформных) разломов, которые пересекают территории с различной историей развития и разнотипным геологическим строением. Часто устанавливается цикличность в развитии систем разломов: от раздвигов и сбросов большой амплитуды, древних кольцевых структур к раздвигам и сбросам меньшей амплитуды и активизационным кольцевым и радиальным структурам, трансформным сдвигам рифтогенов. Наглядным примером является Норильско-Североземельский разлом, на который наложен Енисейско-Североземельский минерагенический пояс.

Наиболее важные в хозяйственном отношении минерагенические провинции, а также угленосные и нефтегазоносные бассейны показаны на рис. 3. Кроме того, устанавливаются Западная, Центрально- и Восточно-Арктическая шельфовые области с серией россыпных районов и узлов [38].

Складчатое обрамление Северо-Азиатской платформы с севера и востока представлено палеозойными: на севере – это Иннуйтская каледонораннегерцинская складчатая система; под прямым углом к ней примыкают каледониды Восточной Гренландии, переходящие к югу в каледонско-герцинские сооружения Аппалач. Минерагения этих заполярных территорий изучена очень слабо. В Восточно-Гренландской провинции, в связи с интрузиями посттретичных гранитоидов, установлено свинцово-цинковое месторождение Местер-Виг. В районе Конг-Оскар-фьорда строится молибденовый рудник с запасами до 150 тыс. т металла. Золото-платинометальное оруденение связано с магмовыми массивами – Скергаард и Кэп Едварт Холмс, в которых оно приурочено к маломощным (до 2 м) сложнопостроенным горизонтам – рифам, аналогичным стиллуотерскому и бушвельдскому. Особенности состава вмещающих рифы пород (повышенные железистость и титанистость, пониженная хромистость) позволяют выделить новый тип платинометальных месторождений – *гренландский*, или *скаргаардский*.

В Западно-Гренландской провинции, на юге острова, известны поля ураноносных пегматитов. В массиве докембрийских гранитов разрабатывается крупное месторождение Ивигтуут, откуда вывозится до 40–60 тыс. т криолита. На западном побережье имеются угольные шахты (о. Диско). В районе Якобсхавн известна небольшая лампроитовая трубка среднепротерозойского возраста, близкая по составу к алмазсодержащим лампроитам, а также ультрамафические лампрофиры в роях даек. Отмечается наличие трех “роев” кимберлитов в Западной Гренландии: район Хольстейнборг–Сарфартог – северная окраина архейского кратона (возраст 600 млн. лет); район Суккертоппен – центральная часть архейского кратона (600 млн. лет); район Пирамидфельед–Мидтернас–Нигердликасик – южная окраина архейского кратона (220 млн. лет). Из проб кимберлитов первого и третьего роев получено несколько микрональмазов; кимберлиты второго роя на алмазы не изучались. В связи с амфиболитами комплекса Мелани (около 3 млрд. лет) в Гренландии открыты крупнейшие осадочно-гидротермальные месторождения шеелита [63].

В южной части острова, восточнее г. Нарсарсук, кольцевой щелочно-сиенитовый массив Моцфельд (Motsfeld), прорывающий протерозойские граниты интрузива Юлианехаб, содержит (ориентировочно) 5 млн. т руды с пирохлором и колумбитом, количество  $Ta_2O_5$  – 0.13–0.15% и 130 млн. т руды с 0.4–1%

$Nb_2O_5$  [23]. Намечается отработка редкоземельно-эвдиалитовых руд в районе Иллимауссака.

Скандинавская полиметаллическая провинция характеризуется наличием разрабатываемых крупных месторождений железистых кварцитов (Зюдварангер, Тромо-Фосдален и др.), образующих мощные пластины с содержанием железа до 34%, мелких и средних объектов свинцово-цинковых, колчеданных и золотосодержащих арсенидных руд в связи с каледонскими массивами гранитоидов и габброидов (Сулительма, Скутерруд, Снарум, Конгсберг и др.), суперкрупного платиносодержащего хромового месторождения Кеми. По запасам (41.1 млн. т на 01.01.2007 г.) это месторождение, приуроченное к ультрамафит-мафитовому интрузиву вблизи г. Кеми, занимает четвертое место в мире. В 2006 г. было добыто 549 тыс. т товарной хромовой руды и произведено 243.4 тыс. т феррохрома [45]. В провинции известны также марганцевые, титановые и медно-никелевые руды [41].

Карело-Кольская провинция включает месторождения и рудопроявления медно-никелевых руд, апатита, железа, редких земель, мусковитовых, мусковит-редкометаллических и керамических пегматитов, алмазов. В прибрежно-морских осадках Онежского полуострова установлена непромышленная циркон-ильменит-гранатовая пляжевая россыпь, а на Терском берегу Кольского полуострова – серия редкоземельно-циркон-ильменит-гранатовых россыпепроявлений в осадках морских террас. Значительная часть месторождений апатита, а также медно-никелевых месторождений Печенгского, Мончегорского и других районов отработана. Однако перспективы территории на эти важнейшие полезные ископаемые не исчерпаны. Провинция также перспективна на нетрадиционные для нее коматитовые месторождения никеля и золота австралийского типа, платинометаллическое оруденение стиллуотерского типа, меденосных колчеданов в вулканитах, молибдена в грейзенах, полиметаллов в высокоглиноземистых сланцах и кварцевожильных зонах; известны кимберлитовые поля. В связи с возможностью создания на северо-западе России новой минерально-сырьевой базы платинодобываючи максимальный интерес представляет раннепротерозойский Федорово-Панский перидотит-тироксенит-габбро-норитовый массив с протяженными выдержаными горизонтами платинометальных руд – уникальный объект стиллуотерского типа [29, 30, 46]. Открыты и разведуются платиносодержащие месторождения хромита – Бураковское, Сопчеозерское и др. [27].

В пределах Карело-Кольского региона выделяются три структурно-металлогенические платиноносные зоны: Печенга-Имандра-Варзугская, Северо- и Южно-Карельские [56]. Широкое развитие в пределах провинции платиноносных расслоенных массивов – Мончегорского ( $2490 \pm 10$  млн. лет),

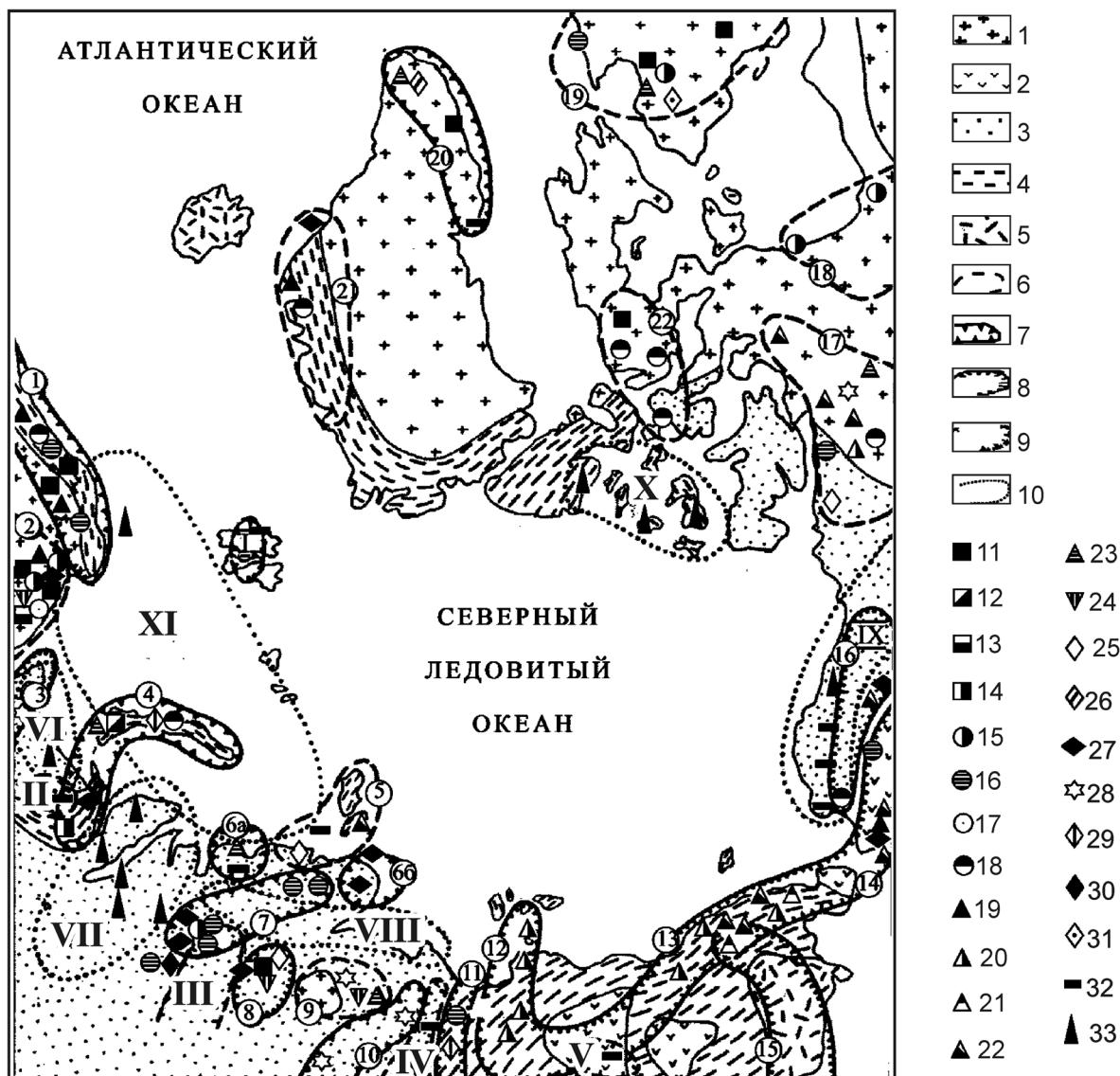


Рис. 3. Схема минерагенического районирования Арктического планетарного пояса. Составил автор.

1–5 – структурно-вещественные комплексы: 1 – докембрийских щитов, 2 – срединных массивов, 3 – платформ и плит, 4 – фанерозойских складчатых областей, 5 – зон активного мезо-кайнозойского вулканизма; 6–8 – минерагенические провинции: 6 – архейско-протерозойского, 7 – палеозойско-мезозойского, 8 – мезо-кайнозойского этапов; 9 – угленосные бассейны; 10 – провинции нефтегазонакопления; 11–33 – месторождения и проявления полезных ископаемых: 11 – железа, 12 – марганца, 13 – титана, 14 – хрома, 15 – никеля, 16 – меди, 17 – алюминия, 18 – свинца и цинка, 19 – молибдена и вольфрама, 20 – олова, 21 – ртуты и сурьмы, 22 – золота, 23 – редких металлов, 24 – апатита, 25 – слюды, 26 – флюорита и криолита, 27 – платиноидов, 28 – алмазов, 29 – хрусталия, 30 – графита, 31 – асбеста, 32 – угля, 33 – нефти и газа.

Цифры в кружках – металлогенические провинции: 1 – Скандинавская железорудно-полиметаллическая, 2 – Карело-Кольская (ураноносно)-апатит-никеленосно-платиноносная, 3 – Канинско-Тиманская бокситоносно-алмазоносная, 4 – Пайхайско-Новоземельская флюорит-марганец-полиметаллическая, 5 – Таймыро-Североземельская золотоносная, 6 – Быргрангская (6а – Западно- и 6б – Восточно-Таймырская) полиметаллическая, 7 – Таймыро-Норильская никеленосно-платиноносная, 8 – Котуй-Маймечинская флогопит-железорудно-(платиноносно)-апатитоносная, 9 – Анабарская (ураноносно)-алмазоносно-редкометалльно-железорудная и Уджинская железорудно-апатит-редкометалльная, 10 – Якутская алмазоносная, 11 – Верхоянская хрусталеноносно-полиметаллическая; 12–14 – Яно-Чукотско-Аляскинская олово-платиноносно-золотоносная (в том числе субпровинции: 12 – Яно-Индигирская, 13 – Колымо-Чукотская, 14 – Аляскинская); 15 – Корякско-Камчатская платиноносно-рутеноносная, 16 – Юконская золото-платиноносно-полиметаллическая, 17 – провинция больших канадских озер редкометалльно-алмазоносно-золоторудная, 18 – Черчилл никеленосная, 19 – Лабрадорская железорудно-никеленосная, 20 – Западно-Гренландская (алмазоносно)-редкометалльная, 21 – Восточно-Гренландская полиметаллически-золотоносно-платиноносная, 22 – Баффинова полиметаллическая. I–V – угленосные бассейны: I – Шпицбергенский, II – Печорский, III – Тунгусский, IV – Ленский, V – Зырянский; VI–XI – провинции нефтегазонакопления: VI – Тимано-Печорская, VII – Западно-Сибирская, VIII – Енисей-Хатангская, IX – Аляскинская, X – Северо-Канадская, XI – Баренцево-Карская.

Имандровского ( $2397 \pm 5$  млн. лет), г. Генеральской, Федорово-Панского ( $2516-2485 \pm 6-42$  млн. лет) [5, 6], Торнио-Нюранкаваара, Бураковского и др. – составных частей, сформированных в едином рифтогенном режиме рудно-магматических систем с платинометалльными малосульфидными, платиносодержащими медно-никелевыми, хромитовыми и ванадий-титаномагнетитовыми рудами, дает основание предполагать наличие в пределах Балтийского щита крупного ритмично-расслоенного, аналогичного Бушвельдскому, мафит-ультрамафитового plutона – Балтийского [55] с тремя названными выше металлогеническими зонами. Установленное тесное петрогенетическое родство породных рядов отдельных массивов предполагаемого Балтийского plutона отражает их формирование из единого магматического очага. Мотивированное предположение о существовании Балтийского расслоенного plutона значительно повышает перспективы платиноносности Кольской и Карельской субпровинций [30].

В пределах Канинско-Тиманской провинции к палеозойско-мезозойскому комплексу приурочены месторождения бокситов, железа (железистые и бокситовые латериты), титаноносных и алмазоносных погребенных россыпей. С активизационными процессами связаны проявления траппового и алмазоносного кимберлитового магmatизма. В провинции установлена серия промышленно-значимых алмазоносных кимберлитовых трубок (Зимнебережная площадь). Целый ряд исследователей переводят эту площадь в разряд провинции, называемой Архангельской [8]. По экспертным оценкам стоимость алмазов провинции оценивается в 16 млрд. долл. Основное структурное подразделение – Ломоносовский ГОК, торжественное открытие и запуск первой очереди которого состоялся 28.06.2005 г. [10]. В 2008 г. в провинции был добыт первый миллион каратов алмазов, часть которых поступила на международный рынок. О.А. Богатиков и др. убеждены, что “работы последних лет по геологическому изучению Архангельской алмазоносной провинции позволяют определенно прогнозировать новые открытия, которые, без сомнения, позволяют отнести Архангельскую провинцию к наиболее значимым алмазоносным регионам мира” [8, с. 407].

Минерагенические особенности Пайхайско-Новоземельской провинции определяются формированием позднепалеозойского терригенного интракратонного прогиба с экзогенным марганцевым оруденением, последующей среднепалеозойской тектоно-магматической активизацией (агаты и хризотил-асбест, самородная медь и ее сульфиды в связи со средне-позднедевонской базальт-долеритовой формацией) и раннемезозойским тектоценозом, завершающим развитие прогиба (большая часть эндогенного оруденения). Часть экзогенного марганцевого оруденения (высокосортные окисленные руды) обязана происхождени-

ем мезо-кайнозойскому выветриванию. Проявления гипса-ангидрита синхронны накоплению карбонатных нижнекаменноугольных толщ. Ведущими для провинции являются полиметаллы, марганец, флюорит, горный хрусталь, агаты; подчиненное значение имеют медь, гипс-ангидрит, благородные металлы, хризотил-асбест и железо. На восточном побережье архипелага обнаружены кайнозойские трубы взрыва, сложенные щелочными базальтоидами, потенциально алмазоносными. В целом, наиболее перспективными площадями провинции являются: район Маточкина Шара с полиметаллическим оруденением, Рогачевско-Тайнинский маргаценоносный район на юге Новой Земли, Южно-Новоземельская флюоритоносная зона, центральные районы Северного острова с проявлениями горного хрустала, районы о-вов Междушарского и Алебастровых с залежами гипса-ангидрита, район горы Черной на востоке архипелага с комплексным сурьмяно-мышьяково-благороднометалльным и по-литметаллическим оруденением, ЦентральноНайхайский потенциально никеленоносный район. Среди полиметаллических объектов наибольший интерес представляет Павловское месторождение Южного острова Новой Земли с прогнозными ресурсами более 3 млн. т свинца и цинка, сотен тонн серебра. Весьма существенно и наличие поля, представляющего собой “природный рудный концентрат со средними содержаниями цинка 45–58%, свинца – 10–30% и высокими концентрациями серебра, германия, кадмия, галлия, таллия” [23, с. 57]. Создание здесь территориально-промышленного комплекса, аналогичного Баффиновскому (месторождения Поларис и Нанисивик Канадской Арктики, [23] вполне реально. Строительство обогатительной фабрики, сходной с таковой на Аляске, построенной для получения концентратов из крупнейшего мирового месторождения Рэд-Дог [4, 31], не должно вызвать особых затруднений. В пределах Рогачевско-Тайнинского района площадью 800 км<sup>2</sup> [25] установлены залежи карбонатных руд мощностью до 130 м с ресурсами 3 млрд. т. В линейных зонах изменения выявлены сплошные пиролюзит-псиломелановые руды (500-600 тыс. т), прослеженные на 4 км и вскрытые до глубины 60 м. В 2006 г. Россия произвела всего лишь 5 тыс. т товарных марганцевых руд, импортировав 537 тыс. т таких руд, а также 350.8 тыс. т силикомарганца и 60.7 тыс. т ферромарганца [12, 43, 44]. Совершенно очевидно, что без ввода в строй крупных марганцевых месторождений – Усинского и Порожинского (расположены не в Арктике) Россия будет вынуждена импортировать значительные объемы марганцевых руд и продуктов их передела.

Продолжением провинции в южном направлении является Западно-Тагильская минерагеническая зона со знаменитым Платиноносным поясом и месторождениями железных руд, золота и меди Урала [37, 38].

Свальбардская (Шпицбергенская) провинция характеризуется наличием промышленных месторождений каменного угля палеозойского, мелового и палеогенового возраста, крупных скоплений фосфоритов и гипса в верхнепалеозойско-нижнемезозойских осадках, полупромышленных притоков горючего газа из триасовых отложений платформенного чехла, а также отдельных хрустальноносных, железорудных, полиметаллических и сульфидных проявлений в рифейских комплексах фундамента. Установлено месторождение нефти и газа "Бухта Петуния". Возможно также обнаружение месторождений нефти и газа (в первую очередь на шельфе, а также в пределах Западно-Шпицбергенского грабенообразного прогиба), горного хрустала, слюдоносных пегматитов, поделочных камней и асбеста. Намечаются перспективы золотоносности в связи со слюдисто-кварц-карбонатными метасоматитами фундамента. Требуют оценки минеральные источники столовых и лечебных вод. Наибольший интерес здесь, помимо нефтегазоносных бассейнов, будут представлять фосфориты, горный хрусталь, возможно, благородные и цветные металлы. В целом, внутреннее строение и минерагеническая зональность провинции изучены недостаточно.

Таймыро-Норильская никеленоносно-платиноносная провинция обязана своим формированием процессам позднепалеозойско-раннемезозойской тектономагматической активизации. В ее южной части – Кетско-Норильской субпровинции – выявлены крупные и уникальные платиноидно-медно-никелевые месторождения норильско-талнахского типа и малосульфидные, собственно платинометаллические объекты верхнеталнахского, а также суперкрупные техногенные – норильского типа [21, 26]. Здесь же открыты весьма перспективные проявления самородной меди арылахского типа. Северная, собственно таймырская, часть провинции характеризуется наличием ряда перспективных никеленоносных и платиноносных объектов. Она перспективна также на полиметаллы, серебро, золото, ртуть, флюорит, уран, редкие металлы, алмазы лампроитового типа. Для названной провинции достаточно четко прослеживается взаимодействие древних и молодых структур и процессов. Уникальные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения приурочены к шовной структуре северо-запада Сибирской платформы, отличающейся высокой подвижностью в докембрии, палеозое и мезозое. Положение провинции на стыке древнего Приенисейского перикратонного прогиба и более молодой Норильско-Таймырской системы поднятий и впадин в области предполагаемой сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньофа определяется наличием Таймыро-Тунгусского трога посткарельской стабилизации, структурно-вещественные комплексы которого и образуют фундамент региональ-

ной металлогенической единицы. Северо-западное направление имеет также и вендинский Таймыро-Тунгусский остаточный прогиб [21]. Вдоль названного трога располагается раннепротерозойский пояс меденоносных формаций, содержащих невысокие количества МПГ. На его месте в мезозое развился Норильско-Хараалахский прогиб, составной частью которого является одноименный малый рифтовый трог, с геодинамическим развитием которого связаны крупные и уникальные платиноидные месторождения норильско-талнахского и верхнеталнахского типов. Обоснованная шестиэтапная петролого-геодинамическая модель формирования этих гигантских месторождений охватывает период от протерозоя до мезозоя и включает процессы: а) коллизии; б) поддвига (скорее всего, раннепермского) древней океанической коры, обогатившей флюидные потоки водой, серой (в том числе тяжелой) и галогенидами; в) субдукции, обусловившей растяжение и рифтинг на платформе; г) абиссальной ликвации с отслоением высоко- и низкосернистого расплавов; д) камерной ликвации и кристаллизационной дифференциации; е) внутрирудного щелочного метасоматоза, а также образования мощных метасоматических и геохимических полей [28].

Таймыро-Североземельская провинция [21, 53] содержит разнотипные и разновозрастные проявления золота, в том числе в древних конгломератах, черносланцевых толщах и в россыпях, а также редкометалльно-слюдоносных пегматитов, молибдена, олова, вольфрама, меди и др. Из эндогенных проявлений золота наиболее важными являются кварцево-жильный и аповулканит-лиственит-березитовый типы. По значимости, особенно с учетом регионально развитых черносланцевых комплексов, провинция сопоставима с ведущими золотоносными районами мира. Сочетание коренных источников и промежуточных коллекторов – золотоносных конгломератов и россыпных объектов – может выдвинуть эту провинцию в разряд ведущих производителей золота в России. Установлены месторождения коксующегося угля, стратиформного золота и проявления полиметаллов, платиноидов, вольфрама, ванадия, молибдена. Совсем недавно ОАО ГМК "Норильский никель" приобрел Сырандасайское месторождение с ориентировочными ресурсами 5 млрд. т коксующихся углей. ГМК намерен к 2016 г. построить карьер с добычей 12 млн. т угля и обогатительную фабрику мощностью 10 млн. т [23].

Котуй-Маймечинская флогопит-железорудно-(платиноносно)-алмазоносная провинция охватывает бассейны рек Котуй и Маймечи площадью около 80 тыс. км<sup>2</sup> в арктической (менее – в субарктической) части Сибирской платформы – бывший Таймырский и Эвенкийский автономные округа. В нее входит зона сочленения Анабарской антеклизы, Тунгусской синеклизы и Енисей-Хатангского

прогиба. Это крупнейшая стабильная геоструктура с архей-нижнепротерозойским кристаллическим фундаментом и верхнепротерозойско-нижнепалеозойским чехлом осадочных пород. По мнению Л.С. Егорова [36], в фанерозое здесь имели место несколько эпизодов тектономагматической активизации.

В провинции установлено более 20 концентрически зональных массивов щелочно-ультраосновных пород размером от 1–2 до 2000 км<sup>2</sup> (Гулинский plutон). Они сложены оливинитами (дунитами), мелилитолитами, якупирангит-мельтейгитами, ийолитами, щелочными и нефелиновыми сиенитами, фоскоритами и карбонатитами. С массивами связаны апатитовые и магнетитовые руды, платинометалльное, хризолитовое и редкометалльное оруденение. По нашему мнению, наиболее важное значение в связи с сельскохозяйственной безопасностью страны имеют апатитовые руды, установленные в массивах Ессей, Ыраас, Маган, Гули и Далбыха. Прогнозные ресурсы апатитовых руд составляют миллиарды тонн при среднем содержании от 0.6 до 30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [7, 23, 25]. Очевидно, все установленные объекты нуждаются в переоценке, однако уже сейчас можно отметить, что месторождения провинции сопоставимы по запасам и качеству руд с хибинскими. При комплексном использовании апатитов провинции и серной кислоты ОАО ГМК “Норильский никель” можно получить ~1 млн. т условных туков фосфорсодержащих удобрений. При этом будет связана в полезное сырье большая часть серы, выбрасываемой на комбинате, что дает основание утверждать о возможности достижения условно безотходной технологии производства металлов и фосфорных удобрений в Маймеч-Котуйско-Норильском регионе [14, 15, 27, 52]. Наибольшие запасы магнетитовых руд связаны с интрузивами Маган и Ессей, а платинометалльных – с Гулинским и Крестовским массивами [21, 25, 42, 54, 55].

Анабарская(уреноносно)-алмазоносно-редкометально-железорудная и Уджинская железорудно-апатит-редкоземельно-редкометальная провинции расположены в Центральной Арктике. Первая из них совпадает с одноименным щитом – своеобразным небольшим (58 000 км<sup>2</sup>) сферически-треугольным выступом раннедокембрийского кристаллического фундамента Сибирской платформы в ее арктической части (рис. 3). В пределах провинции автором выделены Верхнекуонамское кимберлитовое поле, Попигайский алмазоносный район, Мальдянгарский редкометалльно-редкоземельно-золотоносно-фосфоритоносный узел, Котуйанская никеленосная, Южно-Анабарская меденосная, Киенг-Кыллахская золоторудная, Мэркуонская, Северо-Ченгелекская, Северо-Билляхская ураноносные и Вюрбю-Ламуйская платиноносная зоны [21].

Уджинская провинция находится между Анабарским щитом и Оленекским поднятием в пре-

делах Уджинского поднятия, трассирующего одноименный рифт-авлакоген [43]. Северная граница провинции при включении в ее состав Чюэмпинского, Уэлинского и Буолкалахского щелочно-ультраосновных массивов проводится по береговой линии моря Лаптевых, южная – по широте 69°30'. Провинция включает массивы щелочно-ультраосновных пород Томтор (второй по величине (250 км<sup>2</sup>) pluton в мире [65]), Богдо, а также зону Чимаара с локализованным в ней штокверком даек нефелиновых сиенитов и анкеритовых карбонатитов с редкоземельно-ниобиевым оруденением. С массивом Томтор связаны крупные месторождения железа (Онгучах ~1 млрд. т) и гигантские – ниobia, скандия, иттрия и редких земель [25, 36, 52, 64]. Породы массива Томтор формировались в течение длительного времени (800–240 млн. лет [66]) и включают карбонатиты (шток ~30 км<sup>2</sup>), якупирангиты-ийолиты и нефелиновые сиениты (>60% площади массива) с ксенолитами фельдшпатизированных мельтейгитов. Массив частично перекрыт древней (скорее всего допермской) корой выветривания мощностью около 280 м. В верхних частях коры расположены пластовые тела скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевых руд (верхний рудный горизонт – делювиально-озерные отложения), перекрытые среднепермскими отложениями. Наиболее богатый участок этой россыпи – Буранный (средние содержания: нибия – 4.9%, тантала – 0.005%, циркония – 0.29%, тория – 0.15%, урана – 0.01%, редких земель – 12.8%, иттрия – 0.87%, скандия – 0.065%, фосфора – 16.4%). Образованный в результате перемыва остаточных кор выветривания Верхний рудный горизонт является наиболее крупным подобным объектом мира. По расчетам Е.М. Эпштейна с коллегами [64], стоимость 1 т руды этой россыпи составляет около 8 тыс. долл. Россыпь вдвое богаче самых богатых месторождений мира по нибию (Араша, Бразилия) и редким землям (Маунт-Пас, США). Отработка месторождения (2010 – 2012 гг.) поможет обеспечить мировую промышленность редкими металлами и редкоземельными элементами на сотни лет и сделает нашу страну главнейшим в мире экспортёром нибия, скандия, иттрия и редких земель.

Якутская провинция – один из крупнейших алмазоносных регионов мира. По добыче алмазов (ювелирных и технических) наша страна занимает первое место в мире, уступая по их стоимости только Ботсване (2.57 млрд. долл. в 2006 г. против 3.21). Качество алмазов в месторождениях в среднем сопоставимо с таковым в большинстве стран мира, но содержание их, как правило, выше (до 8.43 кар/т в трубке “Интернациональная”). Добыча алмазов в России непрерывно растет (от 23 млн. кар в 1993 г. до 40.1 млн. кар в 2006 г. [12]. В Якутской провинции открыто более 2500 кимберлитовых тел, сгруппированных в 26 полей, образующих 9 алма-

зоносных районов: Малоботубинский, Далдыно-Алакитский, Муна-Тюнгский, Среднемархинский, Анабарский, Оленекский, Приленский, Моркокинский и Чона-Чурбайский [11, 23, 61]. Добыча алмазов только из разведанных месторождений при сохранении достигнутого уровня добычи обеспечит стабильную работу имеющихся горнодобывающих предприятий на 30–40 лет [44]. Тем не менее, многие предприятия должны уже переходить на подземную добычу. По этому поводу В.П. Дюкарев отмечает: “Исходя из годовой добычи и переработки руды (25–40 млн. т), АК “Алроса” обеспечена запасами сырья на срок до 30–40 лет. Вместе с тем, в структуре балансовых запасов намечается негативная ситуация в связи с увеличением доли алмазодобычи, осуществляющей подземным способом... Положение усугубляется тем обстоятельством, что наиболее продуктивные разновидности руды отвечают той части запасов, которые добываются и будут добываться подземным способом” [33, с. 32–33].

Запасы коренных месторождений составляют 93% всех запасов Якутии, а россыпных – 7%. В последних встречаются алмазы очень высокой стоимости. “Общий объем россыпной алмазодобычи составляет более 200 млн. долл.” [16]. Половина российского потенциала россыпных алмазов находится в бассейне р. Эбелях.

Значительная часть (в 2005 г. – 47.9%, в 2006 г. – 67.8% по сумме) добываемых в России алмазов экспортится в Бельгию, Великобританию, Израиль, ОАЭ, Китай, Индию и США, причем вывозятся “сырые” камни, а не бриллианты. Оставшаяся часть алмазов уходит на российские гравийные фабрики: “Кристалл-Смоленск”, “РуизДаймонд” и т.д. и некоторые другие, принадлежащие АК “Алроса”. Безусловно, интересы компаний (и страны в целом) требуют экспорта не сырых камней, а бриллиантов.

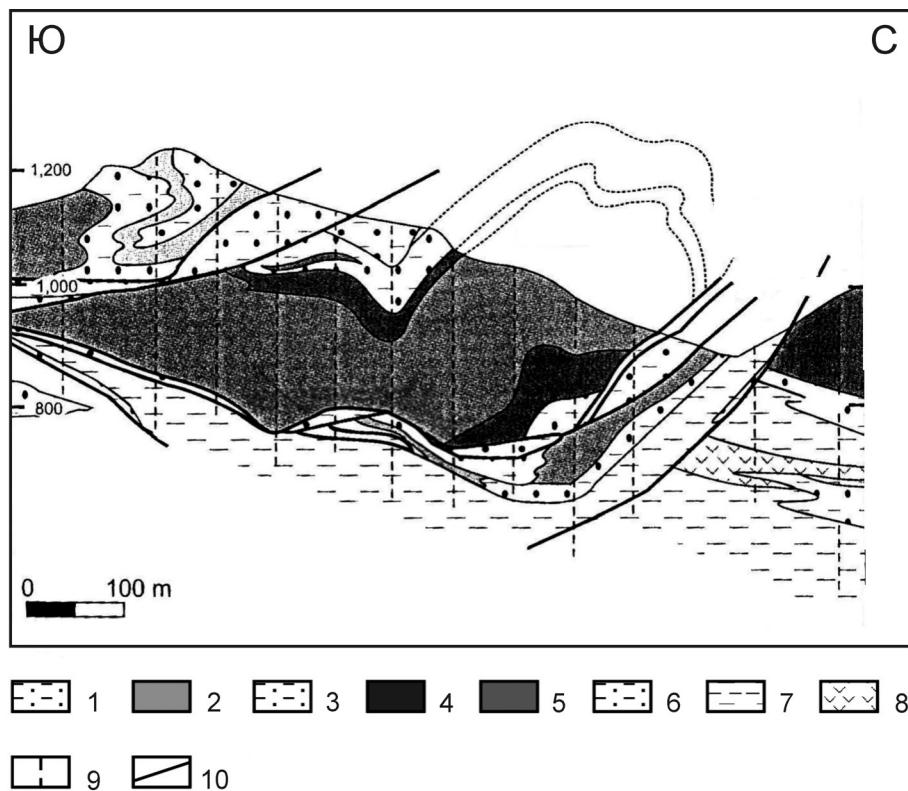
Перспективны в отношении алмазоносности и смежные с Якутией районы Эвенкий (Тычанский район площадью около 40 тыс. км<sup>2</sup>). Небольшое количество алмазов (0.1% по массе и 1.8% по стоимости) добывается в Пермской области, на прииске “Уралалмаз” [12] – в 2006 г. добыто 66.7 тыс. кар.

Восточная Арктика характеризуется наличием крупных и уникальных месторождений золота, олова, нефти и газа. Главными минерагеническими единицами являются Яно-Чукотско-Аляскинская олово-платиноносно-золотоносная и Бофорто-Аляскинская нефтегазоносная провинции, а также Восточно-Арктическая, Индигиро-Колымская и Новосибирско-Чукотская прогнозно-нефтегазоносные области.

Яно-Чукотско-Аляскинская олово-платиноносно-золотоносная провинция – одна из крупнейших в мире. Ее облик определяют многочисленные месторождения и проявления золота, олова, ртути, вольфрама, сурьмы, полиметаллов, серебра и платины. Все они связаны с серией гранитоидных фор-

маций (лейкогранитной, диорит-гранодиоритовой, гранодиорит-гранитной, щелочно-гранитной и др.). Выделяется ряд провинций и субпровинций – Яно-Индигирская, Колымо-Чукотская, Магадано-Колымская, Аляскинская и др. В пределах первой из них коренные месторождения олова располагаются преимущественно по внешнему обрамлению шельфовой области – центральной части хр. Полусного. С ними связаны континентальные россыпи кассiterита Полоусненского района. В шельфовой области Восточно-Сибирского моря расположен Чокурдахско-Ляховский оловоносный район (северная часть одного из крупнейших в мире Северо-Янского оловорудного района), а также северо-восточная часть Улахан-Сисского олово-золотоносного района. Аляскинская часть провинции характеризуется наличием крупных золоторудных (Ном и др.) и платино-золотоносных, в том числе прибрежно-морских россыпей. На п-ове Сьюард разрабатываются и мелкие оловянные россыпи. Важную роль играют железо (около 20 месторождений титаномагнетита) и никель (месторождения Квил-Крик, Каналаска, Бехемиа-Бейсини и др.). Россыпи восточного сектора Арктики характеризуются обычно высокой продуктивностью, наличием нескольких металлоносных горизонтов значительной мощности и хорошим качеством сырья при входжении значительной (до 80%) части металла в тонкую фракцию – 0.30–0.02 мм). Провинция чрезвычайно благоприятна по своим природным условиям для создания комплексных промышленных рудных районов, в основу функционирования которых могут быть положены безотходные технологии с высокой ролью биогидрометаллургических методов.

Юконская провинция включает полиметаллические и медные месторождения хр. Брукс, протягивающиеся вдоль долины реки, а также ртутные объекты (Де-Курсей-Маунтин, Шеффер, Инчилейк и др.). В горах Де Лонга, западной части хр. Брукс, расположено одно из крупнейших в мире месторождений полиметаллов – Рэд-Дог, открытое в 1975 г. канадской компанией “Уоттс, Гриффис и Мак Куат” [4]. Оно состоит из Главной зоны (рис. 4) и рудных тел Аккалак и Паалааг. После завершения детальной разведки последнего запасы цинка месторождения Рэд-Дог могут достигнуть 22 500 млн. т. То есть, это – крупнейший цинковый объект мира. Содержание цинка в рудах Главной зоны достигает 19.5%, месторождения Аккалак – 13.7%, Паалааг – 14.5% (7–26%). Месторождение Рэд-Дог начало отрабатываться в 1989 г. и в 1990 г. было произведено 175–180 тыс. т Zn в концентратах. Уже в 2007 г. компанией Коминко Аляска было поставлено 1 млн. т цинкового и 260 тыс. т свинцового концентрата. Извлечение металла из руд в концентраты достигает 86.5%, цинковые концентраты содержат 55.2% Zn, 3% Pb и 137 г/т Ag, свинцовые –



**Рис. 4.** Цинк-свинец-баритовое месторождение Рэд-Дог (металлогенический пояс северо-западного хребта Брукс, Северная Аляска). Схематический геологический разрез через Главную зону. По [68].

1 – меловые сланцы и песчаники формации Окпикруак (Okpikruak); 2 – триасовые кремнистые и глинистые сланцы формации Отук (Otuk); 3 – верхнекаменноугольные и меловые сланцы формации Сиксикпук (Siksikpuk); 4 – барит и баритовая руда; 5 – верхне- и нижнекаменноугольные кремнистые руды и породы; 6–8 – оруденелые верхне- и нижнекаменноугольные породы формации Куна (Kuna); 6 – кремнистые черные сланцы с прожилками и жилами, 7 – известковистые черные сланцы, 8 – вулканокластические породы; 9 – скважины; 10 – надвиги.

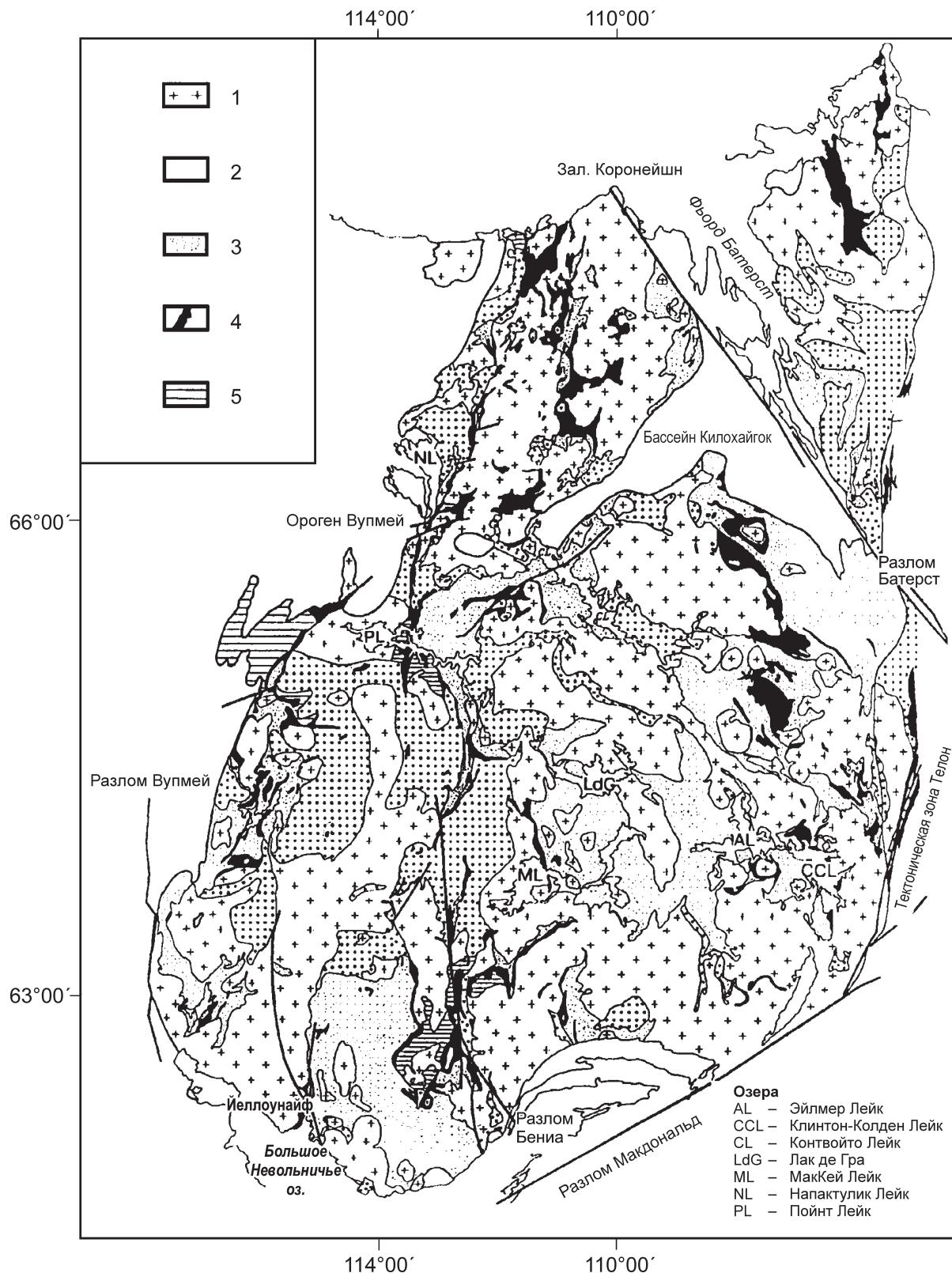
56.1% Pb, 11.7% Zn и 435 г/т Ag. Средние содержания цинка и свинца в рудах составляют соответственно 20.6 и 6% [32].

В этом же районе компанией Грэйд Ресурсез открыто колчеданно-полиметаллическое месторождение Рэд-Маунтин с ресурсами 1.1 млн. т руды, содержащей 7.9% Zn, 2.5% Pb, 0.15% Cu, 270 г/т Ag и 1.9 г/т Au [32]. На флангах месторождения Драй-Крик выявлены новые тела сульфидных руд с высоким содержанием свинца и цинка. В краевых частях месторождения Сёрк компания Камнор Ресурсез обнаружила и разведала две зоны богатых золотосодержащих руд – Дискавери и Дол. Зоны колчеданно-полиметаллического оруденения с высокими содержаниями цинка и свинца обнаружены и на других площадях провинции, в том числе в районе месторождения Гринс-Крик (Greens Creek).

Провинция больших канадских озер сложена протерозойскими толщами с урановыми (Блайд-Ривер, Биверлодж), золотосодержащими медно-колчеданными (Норанда, Флин-Флон, Холанд и др.) и алмазоносными (Лак-де-Гра, Пойнт-Лейк и др.) месторождениями, образующими самостоятель-

ную провинцию Слейв (Северо-Западные Территории) – одну из крупнейших в мире. Она представляет собой архейский блок Северо-Американского кратона площадью 213 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 5). Здесь известны одни из наиболее древних (4.0 млрд. лет) породы мира. Провинция Слейв представляет собой классическое местоположение для алмазоносных кимберлитов: стабильный архейский кратон с холодным мантийным основанием, что следует из сейсмической томографии [50]. Первые алмазоносные кимберлиты в провинции были открыты в 1991 г. К 2000 г. число кимберлитовых трубок превысило 200. Таким образом, темпы создания алмазодобывающей промышленности в Канаде и России удивительно близки.

Наиболее впечатляющие результаты получены в провинции Северо-Западные Территории в районе озера Лак-де-Гра (Lac de Gras); весьма перспективны также территории провинций Нунавут, Саскачеван и Альберта. В провинции Северо-Западные Территории в 1998 г. на базе 14 трубок [22] начал работать первый промышленный рудник Экати (Ekati) и в 2004 г. – еще два рудника: Дайавик



**Рис. 5.** Общая геология структурной провинции Слейв. По [50], с дополнениями.

1 – гранитоиды, 2 – мигматиты и гнейсы, 3 – метаосадки, 4 – метавулканиты, 5 – породы области древнее 2.8 млрд. лет.

**Таблица 1.** Перспективные алмазные месторождения Канады\*

Трубка	Опробовано, т	Извлечено, кар	Среднее содержание, кар/т	Средняя стоимость, долл/кар	Средняя стоимость, долл/т
Рудник Экати ** и месторождения буферной зоны					
“Панда”	3402	3244	0.95	130	124
“Мизери”	1030	4313	4.19	26	109
“Коала”	1550	1465	0.95	122	116
“Коала норт”	201.7	126.58	0.63	200	126
“Фокс”	8223	2199	0.27	125	34
“Лесли”	680	233	0.33	89	29
“Пиджн”	564.8	251.31	0.45	54	24
“Джей”	237.6	476.8	2.01	22.50	45
“Сейбл”	1096	1070	0.98	64	63
“Беартус”	189.3	227.09	1.20	79	95
“Пойнт-Лейк”	160	90	0.56	—	—
“Феникс” (98-С)	106.1	149.2	1.41	25	35
“Газель”	240.7	141.4	0.59	15	9
“Пиранья”	87.4	203.44	2.33	30	80
Месторождение Дайавик					
“А-154 саут”	2900	12800	4.41	67	296
“А-154 норт”	71.72	156.81	2.19	35	77
“А-418”	3000	8275	2.76	56	166
“А-21”	30.5	90	2.95	38	112
“А-11 норт”	29	7.6	0.26	—	—
Месторождение Джерико					
“Джи-Ди/Оу-Ди-1”	9400	10539	1.12	70	78
“Джи-Ди/Оу-Ди-3”	35.9	10.41	0.29	—	—
Месторождение Эй-Кей					
5034	609	1044	1.71	63	104
“Хеарне”	469	856	1.82	44	103
“Тузо”	523	540	1.03	43	52
“Тесла”	184	64	0.35	—	—
Месторождение Снэп-Лейк					
Карьеры 1 и 2	199.7	226.7	1.14	301	344
Карьеры 3 и 4	5985.7	10708.1	1.789	105	188

Примечание. \* Canadian Minerals Yearbook, 1999. \*\* В настоящее время этот рудник, принадлежащий компании Би Эйч Пи Биллитон (BHP Billiton), производит 4 млн. кар алмазов ежегодно.

(Diavik) и Снэп-Лейк (Snap Lake) (табл. 1). Главный генетический тип месторождений – кимберлитовый; известны также проявления, связанные с ультраосновными лампрофирами. Алмазы находятся и в кимберлитовых дайках.

Материалы табл. 2 свидетельствуют о том, что большинство открытых тел относится к типичным кимберлитам.

В центральной части кратона Слейв региональным фактором контроля является обширная зона северо-западного направления – “Коридор Надежды” (разлом Батерст), а локальным – перпендикулярные ей северо-восточные разломы и трещины, вмещающие большую часть трубок, их кластеров и даек. Временной интервал кимберлиообразования – 47–74 млн. лет, отдельные кимберлитовые тела име-

ют возраст до 539 млн. лет. Площадь трубок составляет в среднем 2–12 га, трубка “Драйбонс-Бей” (Drybones Bay) имеет площадь 35 га – максимальный размер. Кроме канадских компаний алмазная отрасль привлекла крупнейшие мировые компании – Де Бирс, Би Эйч Пи, Рио Тинто.

Рудник Экати расположен в центральной части провинции Северо-Западные Территории, в 300 км к северо-востоку от г. Йеллоунайф, в 100 км южнее Полярного круга. Доказанные запасы руды – 43.5 млн. т, алмазов – 71.83 млн. кар, их общая стоимость 6.034 млрд. долл. Этот рудник – крупное горнодобывающее предприятие мирового уровня, спроектированное с расчетом на 54-градусные морозы. Общая сумма продаж в 2004 г. достигла 1345 млн. долл., и Канада заняла по этому показателю третье место

**Таблица 2.** Валовой химический состав кимберлитов провинции Слейв [50]

№ образца	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	П.п.п.	Сумма
№ образца	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Co	Ni	Описание образцов				
1	32.8	1.97	7.82	34.6	0.22	0.43	8.29	0.19	0.450	0.74	0.29	10.0	98.2
2	33.0	1.21	7.25	40.4	0.24	0.16	8.35	0.18	0.367	0.62	0.33	6.3	98.9
3	33.3	1.22	6.88	40.2	0.23	0.15	8.46	0.18	0.367	0.57	0.30	7.1	99.3
4	40.0	3.48	3.87	24.2	0.25	0.55	5.97	0.14	0.264	0.20	0.13	19.7	98.9
5	40.6	5.39	10.2	18.3	0.53	1.56	5.71	0.19	0.375	0.49	0.14	16.8	100.7
6	42.4	5.23	2.90	26.9	0.25	0.81	6.65	0.13	0.306	0.21	0.13	14.1	100.2
7	39.8	2.99	3.41	30.2	0.11	0.90	6.57	0.13	0.226	0.16	0.17	15.2	100.1
8	40.7	3.43	3.07	32.0	0.11	0.48	6.89	0.12	0.190	0.23	0.19	11.3	98.5
9	39.4	7.37	2.04	22.9	0.13	1.18	9.10	0.10	0.367	0.19	0.08	15.5	98.8
10	37.6	2.49	5.82	28.8	0.11	2.05	7.49	0.15	0.301	0.10	0.21	14.1	99.4
11	42.5	5.56	6.18	22.2	0.29	2.74	7.08	0.14	0.889	0.33	0.16	10.7	99.1
12	34.2	3.45	8.75	25.5	0.17	2.32	8.01	0.18	0.465	0.79	0.20	14.8	99.2
13	46.1	8.57	6.99	16.8	0.82	2.91	6.00	0.13	0.402	0.31	0.10	9.75	99.2
14	36.9	3.21	1.20	29.2	0.35	0.63	10.1	0.14	1.760	0.38	0.16	14.9	99.2
15	32.7	4.05	7.24	28.3	0.14	0.69	7.82	0.11	1.020	0.83	0.07	17.1	100.3
№ образца	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Co	Ni	Описание образцов				
1	75	879	<10	47	355	2170	75	1430	Массивный макроскопический кимберлит (гипабиссальный), Лак-деГра				
2	42	1170	<10	<10	237	2530	83	1720	–				
3	17	821	<10	24	208	1870	80	1650	–				
4	35	433	<10	52	91	941	52	1160	Вулканокластическая кимберлитовая брекчия, район Лак-де-Гра				
5	74	1020	<10	62	174	1910	43	753	–				
6	66	302	<10	61	47	742	59	1290	–				
7	64	333	<10	40	54	693	64	1320	–				
8	47	336	<10	50	58	904	74	1590	–				
9	81	252	15	86	38	699	55	798	–				
10	107	413	<10	64	111	575	73	1470	Макрокристаллический вулканоклассический кимберлит, Лак-де-Гра				
11	99	659	11	110	104	1450	56	822	Вулканоклассический кимберлит, Лак-де-Гра				
12	169	994	10	73	186	1200	64	986	Массивный кимберлит (гипабиссальный), район оз. Эйлмер				
13	85	892	14	100	96	1690	45	679	Вулканоклассическая кимберлитовая брекчия, район оз. Эйлмер				
14	49	471	<10	511	165	877	70	1030	Вулканоклассический кимберлит, юго-западная часть провинции Слейв				
15	50	220	27	225	187	1230	29	425	–				

Примечание. Главные элементы – в мас. %, редкие – в г/т.

в мире. Общие запасы алмазов оцениваются в 245 млн. кар (32.5% мировых запасов, без России [45]).

В 1996 г. было принято решение о строительстве вблизи Монреяля Квебекского национального центра алмазов, который включает и гранильную фабрику. Компания Арсланион Куттинг Воркс (**Arslanion Cutting Works**) добилась права на покупку сырых алмазов с рудника Экати и организовала в г. Йеллоунайф свою гранильную фабрику. Ка-

надские маркетологи развернули рекламную кампанию с привлечением специфических атрибутов – свидетельств романтики Канадского Севера – и добились определенных успехов – бриллианты стали активно покупать.

Упомянутый выше рудник Экати (компания Ви Эйч Пи Биллитон) – не единственный на Северо-Западных Территориях. Там также работают принадлежащий Рио Тинто и Харри Уинстон Даймонд

рудник Дайавик и предприятие Снэп-Лейк (компания Де Бирс Канада, 2006 г.), заканчивается строительство рудников Виктор (та же компания) и Джерико. При строительстве этих предприятий пришлось потратить много времени и средств на переговоры с местными аборигенными сообществами. Пуск первого рудника Экати был задержан на два года, второго (Дайавик) – на год. Де Бирс, которая строит рудники Снэп-Лейк и Виктор, для этого потребовалось почти три года [23, с. 260]. Добычу открытым способом на руднике Дайавик в 300 км к северо-востоку от Йеллоунайфа предполагают прекратить к 2012 г. и после этого полностью перейти на подземную (с 2009 по 2020 гг. и далее).

Флагманом компании Даймонд Норд является проект Амарук [32] в Нунавуте, в который вошли также компании Арктик Стар Даймонд и Интернешенал Самюэль Эксплорейшин. В 2007 г. компания Арктик Стар Даймонд вела бурение на Амаруке тремя установками. Эта компания выделила также проекты по кимберлитам компаниям Рио Тинто Пи Эль Си, Тек Коминко и Би Эйч Пи Биллитон.

Ведутся большие работы на алмазном проекте Гачо-Кюэ, где в ближайшее время должны быть закончены работы над ТЭО строительства рудника. Это совместное предприятие компаний Маунтин Провинс (49%) и Де Бирс Канада (51%). Для данного проекта комиссия МакКензи Вэлли Инвайроментал опубликовала специальный “экологический кодекс”.

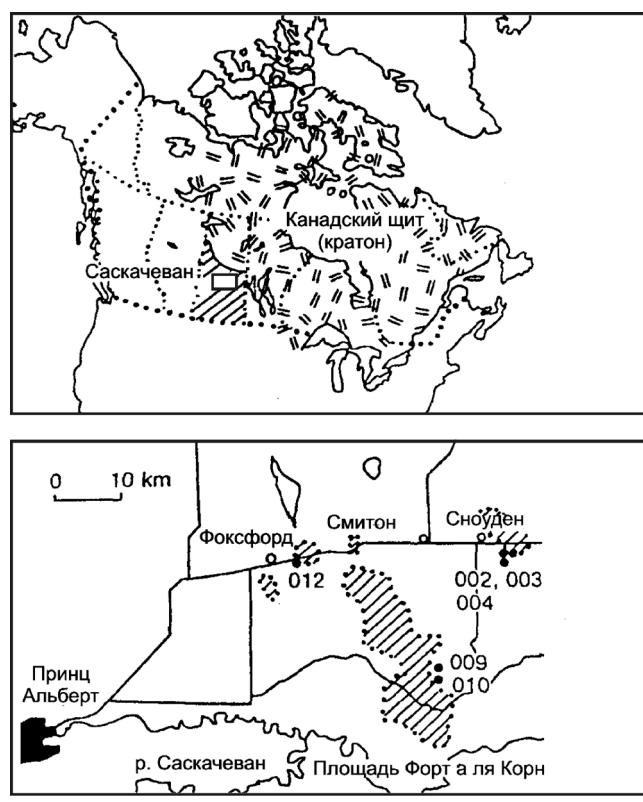
Гачо-Кюэ состоит из кластера трех кимберлитов с запасами 14.4 млн. т, содержащих 1.64 кар/т (23.6 млн. кар) и ресурсами 17 млн. т, содержащими 1.35 кар/т (всего 22.9 млн. кар) [32]. По достижении полной производительности рудник Гачо-Кюэ будет, как ожидается, производить 3 млн. кар ежегодно в течение 15 лет.

Компания Пьюэ Даймонд эксплорейшин ведет работы по проекту Эден-Пойнт на островах Корнуоллис и Девон (мыс Осборн). Там тоже найдены алмазодержащие кимберлиты. Фактически это новые кимберлитовые провинции. В настоящее время в их пределах ведется разведочное бурение [23].

В 1988 г. в провинции Саскачеван (Канадская Субарктика) в 40 км к востоку от г. Принс Альберт была обнаружена группа кимберлитовых тел Форт а ля Корн (рис. 6) корпорацией Уранерц Эксплорейшин энд Майнинг. Установлено большое количество кимберлитовых кратеров от позднеальбского до раннесеноманского возраста (около 100 млн. лет [44]). Корни кратеров уходят преимущественно в архейское (кратонное) основание района Гленни Канадского щита, выходящего на поверхность севернее. Современные глубины захоронения кимберлитовых вулканов зависят от степени эрозии, частично вследствие изостатического поднятия Канадского щита. Унаследованное пологое падение в южном направлении регressiveных диахронных осадков мелового возраста вывело переслаи-

вающиеся горизонты пирокластических и переработанных пирокластических кимберлитов близко к поверхности (ниже 100-метрового слоя плейстоценовых моренных глин) на широте Форт а ля Корн. Севернее кимберлитовые системы сходного возраста в подстилающих палеозойских толщах и архейском фундаменте были интенсивно эродированы, в то время как к югу, хотя и сохранившиеся, они захороняются на все увеличивающуюся глубину.

Компания-оператор Кенсингтон считает, что в пределах Саскачевана открыт “самый крупный в мире кластер трубок, в большей своей части сохранивших кратерные зоны, обычно перекрытые более молодыми отложениями и потому более крупные и алмазоносные, запасы только одной трубы 145 можно будет оценивать в 118 млн. карат микралмазов... здесь открыта новая алмазоносная провинция – Слипинг Джайэнт” [9]. “Эти периферийные (дистальные) кимберлиты подразделяются...



**Рис. 6.** Схема расположения скважин, вскрывших кимберлитовые кратеры в провинции Саскачеван. По [49] с дополнениями.

1 – скважины, вскрывшие кимберлиты в меловых осадках; 2 – аэромагнитные аномалии, соответствующие отложениям кимберлитовых кратеров; 3 – площадь Форт а Корн на карте Канады.

на пирокластический кимберлит (ПК) и переработанный пирокластический кимберлит (ППК)" [44].

Количественная обработка содержаний тяжелых минералов из кимберлитов убедительно показала, что, как правило, в ППК их содержание больше, чем в ПК. Анализ материалов [23] позволяет предполагать, что некоторые из стратифицированных отложений мелового возраста могут представлять собой *экономические палеороссы алмазов*.

В настоящее время в Канаде проводятся интенсивные работы и исследования по приросту запасов алмазов от Саскачевана до арктического о. Корнуоллес.

Однако оптимистические выводы, сделанные по кимберлитам Форт а ля Корн, многие специалисты подвергают сомнению. Помимо отмеченного выше [23], вполне очевидно, что невысокие содержания алмазов в пирокластических кимберлитовых телах и большая мощность перекрывающих пород могут сделать их отработку экономически невыгодной [44]. Однако при буровых работах 1995–2005 гг. компаниями Кенсингтон и Шоре Голд ресурсы кимберлитового комплекса были оценены в 400 млн. т кимберлита со средним содержанием алмазов 0.14 кар/т при цене алмазов 110 долл./кар. После этого доли в этом проекте приобрели компании Ньюмонт (9.9%) и Бени Стейнмитц Груп (8.8%).

В феврале 2006 г. партия алмазов из тела "Стар" (наиболее перспективный объект рассматриваемой площади) весом 5949.88 кар была направлена на исследование компаниям Стейнмитц и Сыновья, РиоТинто Даймондс и Интернейшнал Даймонд Консалтанс (WWW). Средняя стоимость составила 102 долл./кар. В теле "Стар" выделено два подтипа – пирокластический кимберлит (70%) и кимберлитовая брекчия (переработанный пирокластический кимберлит – 30%), составляющих большую часть крупнообъемных проб весом 25000 т и 15000 т. Компания WWW определила следующие средние цены алмазов, долл./кар: 173 (кимберлитовая брекчия), 112 (пирокластический кимберлит) и 130 (все тело). Стоимость наиболее ценных алмазов комплекса "Стар" составила от 11788 до 23804 долл. (камень из пирокластического кимберлита весом 5.41 кар при цене за карат 4400 долларов). Шоре Голд планировала завершить программу оценки комплекса "Стар" к середине 2008 г., а в начале 2009 г. закончить подсчет запасов [23].

Здесь же, в территориальной провинции Нунавут, ведутся работы на двух объектах: сульфидном платиноидно-медно-никелевом месторождении Фергусон-Лейк и расслоенном массиве Маскокс [44]. Первый объект (Фергюсон Лейк) был открыт в 1999 г. компанией Старфилд Ресурсез. По результатам бурения, запасы (и ресурсы) руды составили 60.1 млн. т с содержанием 0.61% Ni, 1.01% Cu, 0.07% Co, 0.31 г/т Pt и 1.59 г/т Pd. В зоне Западной сосредоточено 92% запасов месторождения, остальные – в зонах Восточная-I и Восточная-

II [44]. Общие запасы МПГ в этих зонах, по первой оценке, составили более 113 т, Ni – более 360 тыс. т, Cu – более 600 тыс. т. Одна из последних скважин вскрыла высокосортные массивные сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, содержащие 10–125 г/т МПГ на мощность 1.37 м [44]. По имеющимся данным, эти руды напоминают сплошные халькопиритовые руды Талнахского месторождения.

Крупный расслоенный массив Маскокс [21, 24] также очень напоминает интрузив норильско-талнахского типа, характеризуясь весьма значительными размерами: протяженность – более 300 км, ширина – более 60, мощность – более 2.3 км. Вмещающими породами интрузива являются сланцы, гнейсы, граниты нижнего протерозоя, перекрытые песчаниками, доломитами и базальтами среднего-верхнего протерозоя. По мнению К. Смита и Т. Ирвина [29], интрузив представляет собой дайкообразный лополит, переходящий в южной половине в маломощную вертикальную дайку (фидер). Возраст интрузива по K-Ag методу – 1.5 млрд. лет, по Rb-Sr для гранофиров – 1.7 млрд. лет.

Северная половина интрузива на 85–90% сложена четко расслоенной серией ультрамафит-мафитовых и габбро-гранофировых пород. Залегание "слоев" – дискорданное по отношению к контактам. Всего в интрузиве оконтурено 42 слоя (мощность 3–350 м) восемнадцати различных типов пород. В зависимости от состава и текстурных особенностей пород выделяются следующие серии [29]: оливинодержащая (дуниты, перидотиты, плагиoperидотиты, пикриты, меланократовые оливиновые габбро) → пироксенитовая → габброидная → гранофировая → Краевая (мощность 60–350 м). Другая половина интрузивного тела к югу от р. Коппермайн представляет собой узкую вертикальную дайку, сложенную пикритами, норитами и бронзитовыми габбро. При первоначальном изучении интрузии Маскокс в ней было обнаружено два тела вкрашенных руд с примесью МПГ. В породах Краевой зоны развито вкрашенное (местами брекчиевидное до сплошного) медно-никелевое сульфидное оруденение. Главным рудообразующим минералом является пирротин; отмечаются также пентландит, карроллит, галенит. Руды содержат до 0.8% Ni и Cu, 0.1% Co, 0.3 г/т Pt, до 3.5 г/т Pd. В средней части разреза расслоенной серии интрузива, в двух маломощных сближенных горизонтах пироксенитов отмечено платиноидно-сульфидно-хромитовое оруденение. Рудные горизонты мощностью 20–40 см прослеживаются на расстояние до 11.5 км. В рудах устанавливаются 15.3% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.1% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.15% Ni, 0.25% Cu, 0.01% Co, 0.16 г/т Pt, 0.4 г/т Pd. 85%-ный концентрат этих руд содержит 0.6 г/т Pt и 8.4 г/т Pd.

При повторных исследованиях в результате поверхностного опробования [44] выявлены типичные кубанитовые руды, содержащие 0.72% Ni, 10%

Cu, 28.34 г/т Au, 33.82 г/т Pt и 100 г/т Pd. Буровые работы вскрыли на глубинах 267.8, 365.5 и 490.4 м три зоны сульфидной минерализации, содержащие 0.1–0.19% Ni, 0.25–0.54% Cu, 0.26–0.56 г/т Pd. Первоначально ресурсы месторождения Маскокс были оценены в 32.44 млн. т руды со средними содержаниями 0.59% Ni, 0.86% Cu и 1.26 г/т платиноидов. Автор склонен считать, что при продолжении буровых работ, ведущихся компаниями Маскокс Минералс и Лонмин, упомянутые ресурсы будут значительно увеличены. Можно предположить, что в пределах массива Маскокс развиты сульфидные платиноидно-медно-никелевые, платиносодержащие хромитовые и малосульфидные платинометаллические руды.

Шлихо-геохимическая съемка, проведенная в 3 км южнее Буффало-Лейк (Флоренс-Крик, Юкон), позволила оконтурить предполагаемые по аэромагнитной съемке интрузии ультрамафитов и наметить контуры россыпей платиновых минералов и золота [26]. Немагнитная часть тяжелой фракции содержит до 1 кг/т Au, до 70 г/т Pt. Минералы МПГ представлены сплавом Pt<sub>3</sub>Fe, брэггитом, фазой Rh<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>Pd<sub>2</sub>S и самородным осмием. Обнаруженные россыпи рекомендованы для дальнейшего изучения.

Баффиновая полиметаллическая провинция включает два крупных отработанных стратиформных месторождения: свинцово-цинковое Поларис в карбонатно-терригенных палеозойских отложениях и серебряно-свинцово-цинковое Нанисивик в протерозойских карбонатных породах. Они расположены на 74–75°30' с.ш. и являлись самыми северными отрабатываемыми месторождениями в мире. Подтвержденные запасы месторождения Поларис на начало 1987 г. составили 3.25 млн. т цинка и 1.01 млн. т свинца с содержаниями этих металлов соответственно 14.0 и 4.0%. Рудник Нанисивик работал с 1976 г. (свинцово-цинковое оруденение известно с 1910) по 2000 г. В 1992 г., когда автор посетил этот рудник, годовая добыча составляла 63 тыс. т цинка, 5600 т свинца, 294 т серебра.

В Лабрадорской провинции открыто крупное сульфидное (платиноидно)-медно-никелевое месторождение Войси-Бей [22, 23]. Подтвержденные запасы на конец 1996 г. оценивались в 900 тыс. т никеля (общие запасы 3.1 млн. т) и 545 тыс. т меди (запасы – 2.55 млн. т) при содержаниях до 2.8% никеля, 1.7% меди, 0.12% кобальта. Содержание МПГ в рудах невысокое – палладий значительно преобладает над платиной. Запланированное здесь на 1998 г. строительство рудника с ориентировочной добычей 60 тыс. т никеля и 0.5–1.0 т платиноидов в связи с резким падением цен на никель (<5 тыс. долл./т) и постоянным превышением его производства над спросом перенесено на 2004 г., даже на 2011 г. [22]. Однако повышение цен на никель до 16375 долл./т (28.02.2005 г.) изменило эти сроки.

Отработка рудного тела Овойд началась в сентябре 2005 г. (получено 3 тыс. т Ni) и уже в 2007–2008 гг. – 58 тыс. т Ni и 39 тыс. т меди в концентрате [23].

Месторождения нефти и газа образуют ряд провинций на суше (Тимано-Печорская, Западно-Сибирская, Аляскинская и др.) и шельфовый супербассейн. Крупнейшее достижение российских ученых во главе с академиком И.С. Грамбергом [13, 15, 51, 67] в последние десятилетия XX в. – получение достоверных доказательств того, что арктический шельф является супергигантским нефтегазоносным бассейном мира, вмещающим не менее (вероятно, более) 100 млрд. т условного топлива в нефтяном эквиваленте. И.С. Грамбергом и О.И. Супруненко “по положению в пределах континентальной окраины (или вне ее) выделяются провинции внутриконтинентальные (Енисейско-Анабарская и Лено-Тунгусская), прибрежно-шельфовые (Тимано-Печорская, Западно-Сибирская), шельфовые глубоководные (Баренцевская и Иннуйско-Чукотская) и прибрежно-шельфовые глубоководные (Восточно-Арктическая). Среди нефтегазоносных и перспективных областей (НГО и ПНГО) устанавливаются прибрежная (НГО Свердрупа), прибрежно-шельфовые (Анадырская НГО, ПНГО Линкольна-Уэнделла и НГО дельты Маккензи – моря Бофорта), шельфовые (Средне-Норвежская НГО, Северо-Карская и Лаптевская ПНГО), шельфово-глубоководные (ПНГО Баффинова и Восточно-Гренландская) и глубоководные (Поморская, Предбаренцево-Карская и Северо-Лаптевская ПНГО)” [53].

В работе [2] приводится оценка потенциальных извлекаемых ресурсов нефти и газа акваторий Арктики и Субарктики (табл. 3).

Здесь же (с. 111) совершенно справедливо отмечается, что “оценки ресурсов нефти и газа арктических акваторий и территорий России поражают своей величиной даже при сравнении с аналогичными оценками по зарубежной Арктике”. Однако автор, учитывая крупные площади территорий и акваторий (несколько миллионов квадратных километров), значительную мощность осадочного чехла (до 14 км в Баренцевом море) и глубины подошвы месторождений (10 км под дном моря), считает эти оценки достаточно обоснованными и полностью разделяет точку зрения И.С. Грамберга, отмечавшего, что “осадочные бассейны шельфовых окраин молодого океана (Северный Ледовитый океан, возраст около 50–70 млн. лет)... вовлечены в океанообразование, но еще слабо затронуты процессами деструкции и потому сохраняют высокий нефтегазовый потенциал. Им свойственны: широкий стратиграфический диапазон осадочных толщ, структурная многоэтажность и часто несколько этажей нефтегазоносности. Характерны месторождения-гиганты, такие, как газово-нефтяное месторождение Прадхо-Бей на Аляске, Штокмановское и Ле-

**Таблица 3.** Оценка потенциальных извлекаемых ресурсов нефти и газа акваторий Арктики и Субарктики [2]

Страна, море, регион	Нефть, млрд. т	Газ, трлн. м <sup>3</sup>
<b>Арктика</b>	<b>20.0–46.0</b>	<b>36.5–83.0</b>
<i>Россия</i>	11.0–24.0	25.5–57.0
Баренцево	3.0–8.0	9.0–13.0
Карское	5.0–6.0	10.0–30.0
Лаптевых	0.5–2.0	1.5–2.0
Восточно-Сибирское	2.0–6.0	3.5–8.0
Чукотское	0.5–2.0	1.5–4.0
<i>Гренландия (Дания)</i>		
(Баффина, Гренландское, Девисов и Датский проливы)	0.5–1.0	0.5–1.5
<i>Норвегия</i>		
(Норвежское и Баренцево)	5.0–8.5	3.0–4.0
<i>Канада</i>	3.5–9.5	6.5–18.5
Баффина	1.5–3.0	5.0–9.0
Бофорта-дельта реки Маккензи	2.0–6.5	1.5–9.5
<i>США</i>		
(Бофорта, Чукотское)	1.0–3.0	1.0–2.0
<b>Субарктика</b>	<b>7.0–20.0</b>	<b>6.0–17.5</b>
<i>Россия</i>	3.5–8.5	3.0–6.5
Охотское	2.5–7.0	2.0–5.0
Берингово	1.0–1.5	1.0–1.5
<i>Канада</i>		
(Восточная Атлантика)	1.0–6.0	1.5–7.0
<i>США</i>		
Северный склон Аляски	2.5–5.5	1.5–4.0
Некоторые другие районы	1.0–1.5	0.5–2.0
<b>Всего</b>	<b>27.0–66.0</b>	<b>42.5–100.5</b>

довое газоконденсатные месторождения в Баренцевом море и такого же типа Ленинградское и Руслановское месторождения в Карском море” [53, с. 29]. Безусловно, следует учитывать и реальные гигантские размеры месторождений нефти и газа в Западно-Сибирской провинции, частичным шельфовым продолжением которой является Баренцево-Карская провинция.

Каменные и бурые угли образуют серию бассейнов: Печорский, Сосьвинско-Салехардский, Таймырский, Тунгусский, Ленский и ряд перспективных площадей. Общие ресурсы углей Арктической зоны России – 1362.521 млрд. т [25]. Примеры разработки бассейнов – Печорского, Альберта, Мелвиллского – убедительно свидетельствуют о целесообразности освоения угольных бассейнов и месторождений Арктики.

По данным Л.А. Тропко [59], добыча угля в России (да и во всем мире) будет расти. По прогнозам Росэнерго объем добычи угля в России в 2010 г. может составить 305–340 млн. т, т.е. постепенно природный газ в производстве электро- и теплоэнергии будет вытесняться углем. И это, при наличии современных технологий уменьшения вредных выбросов от потребления угля, безусловно, правильно. К таким технологиям относятся: малотоксичные вих-

ревые горелки, новые типы топок, эффективные тепловые схемы, уникальные способы связывания вредных веществ в водных выбросах. Созданный в Институте проблем комплексного освоения недр РАН и Научном центре горного производства Института горного дела им. А.А. Скочинского новый экскаватор-кранлайн для ведения вскрышных и добывающих работ дает возможность увеличить высоту выступа в углеразрезе с 10–15 м до 30–40 м, что делает абсолютно реальным использование как шнековой добычи, так и технологии “Высокой стены” (Хай Вол Майнинг). Последняя высокоэкологичная технология, без удаления вскрышных пород, широко применяется во многих странах [44].

В последние годы, в связи с предполагаемым сокращением доли природного газа, в России совершенно четко обозначается ряд проблем, из которых главными являются негативные экологические последствия перехода тепловых электростанций и котельных с газа и мазута на угольное топливо, высокие капитальные затраты на их оснащение. Выход – в применении вместо угля водоугольной суспензии (ВУС). Она состоит из мелкоугольной фракции (50–60%) и воды, содержащей 1% специальной химической добавки; ВУС транспортируются от производителя до места потребления по трубопрово-

дам. Процесс изготовления ВУС состоит из дробления и тонкого измельчения угля, его деминерализации, получения и механического сгущения суспензии, ее интенсивного перемешивания и стабилизации. Начиная с дробления, все технологические стадии представляют собой мокрые процессы, препятствующие выбрасыванию в атмосферу твердых частиц. У нас в стране уже в течение ряда лет разрабатывают и усовершенствуют технологии использования ВУС.

Повышение роли угля, особенно местного, может снять постоянную напряженность с “северным завозом” и значительно (до 10 млн. т в 2015 г.) увеличить грузоперевозки по Северному морскому пути.

Крупнейшим производителем урана в мире является Канадская Арктика (третье место по запасам после Австралии и Казахстана). В 2007 г. на трех уранопроизводящих центрах Канады: МакАртур-Ривер – 7231 т, Раббит-Лейк (1544 т) и МакКлин-Лейк (622 т), на месторождениях типа несогласия, в бассейне Атабаски (провинция Саскачеван) было получено 9367 т урана. Уран в Канаде начали добывать в 1933 г. на месторождении Порт-Ради с целью получения радия. МакАртур-Ривер – крупнейший производитель урана в мире, руды содержат в среднем 21.2% урана при запасах 168 тыс. т. На Северо-Западных Территориях в бассейне Телон получены хорошие результаты на юго-западном продолжении месторождения Киггавик [44]. Общие подтвержденные запасы урана в Канаде составляют 329.2 тыс. т со средним содержанием 12.7% [45].

### ВАЖНЕЙШИЕ ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАГЕНИИ АРКТИКИ

В связи со всем сказанным выше автор считает следующие проблемы главными в минерагении Арктики:

- раскрытие геодинамических законов становления Арктического сегмента Земли (“арктической решетки” рудных поясов), включающие прогнозирование недостающих звеньев рудно-магматических систем различного ранга;
- увязка в единое целое процессов континентального, шельфового и глубоководного рудообразования и нефтегазонакопления с разработкой глобальной концепции арктического минерагенеза и обоснованием стратегии дальнейшего изучения и освоения Арктики;
- установление природно-генетических возможностей открытия нетрадиционных для Арктики и новых видов минерального сырья, в том числе тонкодисперсного благороднометалльного;
- определение минералого-geoхимических балансов поясов и провинций, а также отдельных объектов с целью создания экологически чистых малоотходных замкнутых ресурсосберегающих технологий;

– обоснование особенностей формирования арктических месторождений-гигантов и т.д.

Для областей арктической континентальной коры особенно важным представляется изучение размещения мантийных месторождений в зонах тектономагматической активизации и глубинных разломов, рифтогенных структурах и вулканических поясах, развивающихся на границе современных океанов или палеоокеанов. В связи с локализацией месторождений мантийного класса иное звучание приобретает, например, проблема поисков месторождений никеля и алмазов, которые могут проявляться не только на платформах, но и в пределах геосинклинально-складчатых областей в связи с ультраосновными интрузиями раздвиговых зон и глубинных разломов, а также в осадочно-вулканогенных коматит-содержащих комплексах. Открытие новых типов месторождений особенно перспективно во фрагментах внутренних континентальных палеорифтовых структур, которые по рудоносности часто сходны с областями тектономагматической активизации. Следует ожидать наличие осадочных колчеданных, хромитовых (Полярный Урал) и платинометалльных месторождений в связи с реликтами палеоокеанической коры.

Уникальной особенностью внутренних частей арктической суши является развитие богатого медно-никелевого и платинометалльного оруднения норильско-талнахского, верхнеталнахского и печенгского типов, а также большие перспективы ряда регионов на стиллуотерский и скергаардский типы оруднения. Широкое проявление черносланцевых толщ со своеобразной минерагенией позволяет говорить о возможностях открытия стратиграфических месторождений золота, меди, вольфрама и других металлов. Подобные высокоперспективные проявления уже установлены в Североземельско-Таймырском, Верхоянском и Магадано-Колымском регионах. Существуют, как отмечено, реальные возможности для открытия новых месторождений алмазов не только кимберлитового, но и лампроитового типа, а также коматитовых месторождений никеля и золота австралийского типа, золота и других металлов витватерсрандского типа.

Арктический регион является перспективным на нетрадиционные для него типы минерального сырья: малосульфидную платину, черносланцевые золото, вольфрам, ванадий, лампроитовые алмазы, золото в конгломератах, коматитовые золото и никель и т.д.

Специфичность минерагении Арктики во многом обусловлена ее глубинным строением, принадлежностью к континентально-окраинной периоокеанической планетарной зоне и выражена особенностями рудогенерирующих комплексов и связанных с ними рудных формаций.

Дальнейшее, более полное, изучение и освоение сырьевых ресурсов Арктики потребует качественно

нового подхода, основой которого должны явиться преодоление резких противоречий экономического и экологического аспектов на основе разработки и внедрения замкнутых малоотходных технологий и обоснование соответствующей стратегии геологоразведочных и научно-исследовательских работ.

Автор статьи искренне благодарен за конструктивный обмен мнениями по минерагению Арктики академикам О.А. Богатикову и В.А. Коротееву, членам-корреспондентам К.К. Золоеву и Н.М. Чернышову, докторам наук С.А. Граханову, М.К. Косько, Н.В. Милетенко, а также своим коллегам Т.С. Додиной, Е.И. Мамаевой и И.С. Рябковой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агранат Г.А. Освоение Севера: мировой опыт // Итоги науки и техники. Сер. геогр. заруб. стран. М.: ВИНИТИ, 1998. Т. 15. 148 с.
2. Арктика: интересы России и международные условия их реализации / Ред. Ю.Г. Барсегов, В.А. Корзун, И.М. Могилевский и др. М.: Наука, 2002. 356 с.
3. Атласов И.П., Дибнер В.Д., Егиазаров Б.Х. и др. Объяснительная записка к Тектонической карте Арктики и Субарктики масштаба 1:5 000 000. М.: Недра, 1970. 44 с.
4. Баранов В.Ф., Костенко О.В. Развитие горноблагородного предприятия "Red Dog" // Обогащение руд. 1998. № 5. С. 39–43.
5. Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб: Наука, 2004. 174 с.
6. Баянова Т.Б., Ниткина Е.А., Серов П.А. и др. Многофазность и длительность развития Федорово-Панского массива как основа понимания его рудоносности // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России. Мат-лы Всерос. конф. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2007. С. 33–45.
7. Богадица В.П., Брагина В.И., Герт А.А. и др. Апатитовые месторождения Маймече-Котуйской провинции и их геолого-экономическая оценка. Новосибирск: Наука, 1983. 84 с.
8. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
9. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира. М.: Геоинформмарк, 2000. 371 с.
10. Валуев Е.П., Соловьев С.В. Становление и перспективы развития Ломоносовского ГОКа // Горный журнал. 2005. № 7. С. 61–63.
11. Вечерина О.П., Левченко В.А., Никулин А.М. и др. Мировая добыча алмазов: цифры, факты, события. М.: Изд. "Восточная литература", 2001. 310 с.
12. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2006 г. / Под ред. А.И. Варламова. М.: ИАЦ "Минерал", ФГУНПП "Аэрогеология", 2007. 352 с.
13. Грамберг И.С. Сравнительная геология и минерагения океанов и их континентальных окраин с позиций стадийного развития океанов // Геотектоника. 2001. № 6. С. 3–19.
14. Грамберг И.С., Додин Д.А., Кузьмин В.Г. Минерально-сырьевая база Арктической зоны: состояние и перспективы развития // Горнодобывающие комплексы Сибири. Улан-Удэ, 1989. С. 86–89.
15. Грамберг И.С., Додин Д.А., Лаверов Н.П. Арктика на пороге третьего тысячелетия. Л.: Наука, 2000. 247 с.
16. Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А. и др. Россыпи алмазов России. Новосибирск: Изд-во "ГЕО", 2007. 457 с.
17. Добрецов Н.Л., Верниковский В.А. Мантийные плюмы и их геологические проявления // Смирновский сборник-2001. М.: МГУ, 2001. С. 46–49.
18. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Н. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН, 1994. 400 с.
19. Додин А.Л. Геология и минерагения Южной Сибири. М.: Недра, 1979. 237 с.
20. Додин А.Л., Додин Д.А., Шануренко Н.К. Металлогенез краевых структур Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 1988. Т. 30. № 6. С. 3–12.
21. Додин Д.А. Металлогенез Таймыро-Норильского региона (север Центральной Сибири). СПб.: Наука, 2002. 822 с.
22. Додин Д.А. Минерально-сырьевые ресурсы Арктики. М.: Геоинформмарк, 2005. 176 с.
23. Додин Д.А. Минерагения Арктики. СПб.: Наука, 2008. Кн. 1. 280 с.
24. Додин Д.А., Вишневский А.Н., Гулин С.А., Кавардин Г.И. Проблемы минерагении Арктики // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 78–90.
25. Додин Д.А., Евдокимов А.Н., Каминский В.Д. и др. Минерально-сырьевые ресурсы Российской Арктики (состояние, перспективы, направления исследований). СПб.: Наука, 2007. 767 с.
26. Додин Д.А., Изюмко В.М. Суперкрупные техногенные месторождения платиновых металлов // Обогащение руд. 2006. № 6. С. 19–23.
27. Додин Д.А., Ланда Э.А., Лазаренков В.Г. Платинометаллические месторождения мира. Т. II. Платиносодержащие хромитовые и титаномагнетитовые месторождения. М.: Геоинформмарк, 2003. 409 с.
28. Додин Д.А., Тарновецкий Л.Л. Геодинамическая модель сульфидно-никеленосных рудно-магматических систем Таймыро-Норильской провинции // Геология и геофизика. 1992. № 12. С. 40–51.
29. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В. и др. Платинометаллические месторождения мира. Т. I. Платинометаллические месторождения в ритмично расслоенных комплексах. М.: Геоинформмарк, 1994. 279 с.
30. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометаллические месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
31. Документ FTFT00002007113e3bd 0002a.
32. Документ TWOTEN0020071217e3ch001xh.
33. Дюкарев В.П. Структура и перспективы развития АК "Алроса". Основные проблемы алмазодобывающего комплекса // Смирновский сборник-2002. М.: МГУ, 2002. С. 27–42.
34. Егиазаров Б.Х. Арктиды – особая геоструктура Земли // Мезозойский тектогенез. Магадан: СВКНИИ, 1969. С. 17–20.
35. Егиазаров Б.Х., Ермаков Б.С., Аникеева Л.И. и др. Тектоника Северной полярной области Земли. Л.: НИИГА, 1977. 200 с.
36. Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм (на примере маймече-котуйского комплекса Полярной Сибири). Л.: Недра, 1991. 260 с.
37. Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометаллическое оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 199 с.

38. Золоев К.К., Додин Д.А. *Коротеев В.А. и др.* Тектоническое районирование и минерагения Урала (аналитический обзор). М.: Геокарт, Геос, 2006. 180 с.
39. Иванова А.М., Супруненко О.И., Ушаков В.И. Минерально-сырьевой потенциал шельфовых областей России. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. 108 с.
40. Ицксон М.И., Бергер В.И. Сравнительный анализ металлогенеза Восточно-Азиатского и Аляскинско-Канадского звеньев севера Тихоокеанского кольца // Тез. докл. на II междунар. симп. по геологии Арктики. Сан-Франциско, 1971. С. 45–46.
41. Коровкин В.А., Турьлева Л.В., Руденко Д.В. и др. Недра Северо-Запада Российской Федерации. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 520 с.
42. Мамаева Е.И. Минерагения ультрабазит-карбонатовых массивов севера Сибирской платформы. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 2006. 22 с.
43. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. М.: Недра, 1983. 280 с.
44. Минеральные ресурсы мира на начало 2007 г. / Под ред. А.П. Ставского. М.: ИАЦ “Минерал”, ФГУНПП “Аэрогеология”, 2007. 468 с.
45. Минеральные ресурсы мира. Статистика. М.: ИАЦ “Минерал”, ФГУНПП “Аэрогеология”, 2008. 418 с.
46. Митрофанов Ф.П., Балабонин Н.Л., Корчагин А.У. Металлогенез Кольского пояса расслоенных ультрамафит-мафитовых интрузий // Отечественная геология. 1995. № 6. С. 37–41.
47. Муратов М.В. Геосинклинальные складчатые пояса и системы, их этапы развития и магматизм // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1967. № 10. С. 47–67.
48. Муратов М.В. Урало-Монгольский пояс. М.: Наука, 1974. 182 с.
49. Никсон П., Лехи К. Алмазоносные вулканокластические кимберлиты в морских осадках мелового возраста // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 1. С. 19–24.
50. Пелл Дж.А. Кимберлиты кратона Слейв, Северо-Западные Территории, Канада // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. С. 9–18.
51. Погребицкий Ю.Е. Геодинамическая система Северного Ледовитого океана и ее структурная эволюция // Советская геология. 1976. № 12. С. 3–22.
52. Поршинев Г.И., Степанов Л.Л. Геологическое строение и фосфатоносность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитоносность севера Сибири. Л.: НИИГА, 1980. С. 84–100.
53. Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Ред. Д.А. Додин, В.С. Сурков. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 960 с.
54. Сазонов А.М., Звягина Е.А., Леонтьев С.И. и др. Платиноносные щелочно-ультраосновные интрузии Поларной Сибири. Томск: Изд-во ЦНТИ, 2001. 510 с.
55. Сазонов А.М., Романовский А.Э., Гринев О.М. Благороднометалльная минерализация Гулинской интрузии // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 51–56.
56. Седых Ю.Н., Ступак В.М., Изютико В.М. и др. Федорово-Пансое малосульфидное месторождение – крупнейший объект производства благородных металлов. М.: Геоинформмарк, 2000. 76 с.
57. Твалчелиззе Г.А. Рудные провинции мира. М.: Недра, 1972. 344 с.
58. Ткаченко Б.В., Егиазаров Б.Х., Атласов И.П. и др. Основные геологические структуры Арктики // Тез. докл. на II междунар. симп. по геологии Арктики. Сан-Франциско, 1971. С. 10–11.
59. Тропко Л.А. Угольная отрасль – состояние и перспективы // Уголь. 2002. № 5. С. 3–7.
60. Хайн В.Е. Региональная геотектоника. М.: Недра, 1971. 548 с.
61. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.Н. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
62. Херасков Н.П. Некоторые общие закономерности в строении и развитии земной коры. М.: ГИН АН СССР, 1963. 120 с.
63. Щеглов А.Д. Металлогенез областей автономной активизации. Л.: Недра, 1979. 237 с.
64. Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А. Геология Томторского уникального редкометалльного месторождения // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 2. С. 83–110.
65. Эрлих Э.Н. Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // Записки ВМО. 1964. Ч. 93. В. 6. С. 682–693.
66. Эрлих Э.Н., Загрузина И.А. Геологические аспекты геохронологии северо-восточной части Сибирской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 9. С. 5–13.
67. Gramberg I.S., Kulakov Yu.N., Pogrebitsky Y.E., Sorokov D.S. Arctic oil and gas superbasin // Proceed of 11<sup>th</sup> World Petroleum Congress. London, 1983. P. 93–99.
68. Schmidt J.M. Shale-hostel Zn-Pb-Ag and barite deposits of Alaska // Mineral deposits of Alaska. Economic Geology Monograph. 1998. V. 9. P. 35–65.

Рецензент К.К. Золоев

## Arctic minerageny

D. A. Dodin

All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIOkeangeologia),  
Geological Institute of RAS

Regularities of distribution, origin, and commercial scales of major types of the Arctic Polar economic deposits are discussed in the paper. It is shown that Arctic area is a planetary Arctic mineralogenic belt, whose basic tectonic structure is the same named circum Arctic long evolving fold belt. It is convincingly demonstrated that global structure, as well as peculiarities of generation and transport of ore and organic material lead to formation of large scale and unique deposits. Arctic mineralogenic giants – Urengoy, Prudho Bay, Oktyabrskoje, Red-Dog and some others – dictate in many respects the development of the world economy. The author's model of forming, opportunities and discovery methods of similar objects in the Arctic depths is presented.

Key words: *Arctic, minerageny, rifting, subduction, mineralogenic provinces, mineral resources base.*