

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

В АРКТИКЕ

ОЗНАКОМЛЕНИЕ



GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY
- NGU -

Обложка - Карта Арктики: Адоб Сток.



Издатель: НГУ – Геологическая служба Норвегии

Издательство: Скипнес Коммуникашон АС

Бумага: Мультиарт Силк 130 гр.

Шрифт: Джорджия 9,3 пт.

1-ое издание 2016: 200 экземпляров

ISBN: 978-82-7385-164-2

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
В АРКТИКЕ

ОЗНАКОМЛЕНИЕ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ПУБЛИКАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НОРВЕГИИ

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
В АРКТИКЕ

ОЗНАКОМЛЕНИЕ

Под редакцией

Рогнвальда Бойда, Терье Бьеркгорда,
Бобо Нордаля и Генрика Шиллерупа
Перевод: Юрий Майстренко
Геологическая служба Норвегии

СОДЕРЖАНИЕ

| | | | |
|--|-----------|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 | ШВЕЦИЯ | 64 |
| Определение Арктики | 7 | История добычи полезных ископаемых - ранние времена | 64 |
| Начальное геологическое сотрудничество в регионе | 9 | 17-ый век | 65 |
| История разведки полезных ископаемых в Арктике | 9 | Промышленная революция | 65 |
| Зачем рассматривать минерально-сырьевой потенциал Арктики? | 11 | 1920-е годы - новый рудный район | 66 |
| ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ АЛЯСКИ... | 13 | Каледониды | 66 |
| Краткое геологическое описание | 13 | Дополнительные открытия | 67 |
| История добычи полезных ископаемых | 15 | Состояние на конец 2015 года | 68 |
| Сводная информация о наиболее распространенных видах полезных ископаемых | 17 | Будущее | 69 |
| ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ АРКТИЧЕСКОЙ КАНАДЫ | 23 | ФИНЛЯНДИЯ | 70 |
| Геологическое описание | 23 | Краткое геологическое описание | 70 |
| История добычи полезных ископаемых | 26 | История добычи полезных ископаемых 16-ый – 19-ый века | 71 |
| Краткое описание основных месторождений | 27 | 20-ый век | 71 |
| ГРЕНЛАНДИЯ | 41 | Сводная информация о наиболее важных провинциях и месторождениях | 72 |
| ПОИСКИ ЗОЛОТА В ИСЛАНДИИ | 46 | Будущий потенциал | 76 |
| МАССИВНЫЕ СУЛЬФИДЫ МОРСКОГО ДНА АРКТИКИ | 49 | РОССИЯ | 78 |
| НОРВЕГИЯ | 52 | Краткое описание геологии России севернее широты 60° | 78 |
| Краткое описание геологии Норвегии | 52 | История добычи полезных ископаемых | 82 |
| История добычи металлов в Норвегии | 52 | Сводная информация о наиболее важных провинциях и месторождениях: Золото, серебро | 83 |
| Краткое описание основных месторождений | 55 | Месторождения цветных металлов и, связанные с ними, руды МПГ | 85 |
| Архипелаг Шпицберген (норвежское название Свальбард) | 61 | Черные металлы | 87 |
| | | Редкоземельные элементы и специальные металлы | 89 |
| | | Алмазы | 90 |
| | | Будущий потенциал в отношении развития минерально-сырьевой базы российской Арктики | 94 |
| | | ПОЯСНЕНИЯ | 96 |

ВВЕДЕНИЕ

В этом издании обобщены результаты сотрудничества геологических служб стран арктического региона, нацеленного на сбор информации о наиболее важных месторождениях полезных ископаемых, к северу от 60° с.ш.: в базы данных, на карту и в описательные издания, одно из которых для специалистов по геологии и эта более краткая версия для широкого круга читателей¹. Наиболее крупные месторождения металлов и алмазов на суше являлись приоритетными. Эта версия описания будет опубликована на английском, французском и русском языках. Эти публикации представляют собой первую подборку информации о наиболее важных месторождениях приоритетных видов ресурсов в Арктике.

Человечество использовало минеральные ресурсы еще на заре цивилизации. Разделение (в Европе) большей части 10000 лет с момента окончания последнего ледникового периода на археологические эпохи каменного века, бронзового века и железного века свидетельствует о важности природных материалов на минеральной основе в развитии человечества. Эта терминология также широко применяется на Ближнем Востоке и в Африке: варианты, используемые в Восточной Азии, включают эпохи, связанные с некоторыми типами керамики - опять-таки на минеральной основе. Самое раннее использование было связано с оружием, инструментами и строительством жилищ, захоронениями и религиозными местами, с постепенным развитием бытовых изделий, красителями и предметами, сделанными на основе красок минералов. Число используемых металлов и минералов росло относительно медленно (даже несмотря на отчетливые глобальные вариации) до промышленной революции в 17-

19-ом веках, которая привела к изобретению и крупномасштабному применению оборудования на разных уровнях от металлических игл и швейных машин посредством доменных печей до паровых машин и океанских судов из чугуна и стали. Широкий ассортимент бытовых приспособлений был постепенно разработан в 20-ом веке, но более сложные предметы, включающие использование намного большего минерального сырья, стали более распространенными во многих частях мира, во второй половине этого века.

Электронный век развивался постепенно на протяжении 20-го века, пришпоренный исследованиями во время Второй мировой войны, но с явным ускорением в последней четверти века. Этот век дал компьютеры, уменьшающегося размера и увеличивающейся мощности, телевизоры с улучшенным разрешением и особенно сотовые телефоны (с последующими смартфонами) в дома всё возрастающей части населения земного шара. Число металлов, используемых в повседневных бытовых устройствах, резко возросло. 20-ый век также был периодом резкого развития глобальной торговли и транспорта как для бизнеса, так и для отдыха. Современные технологии самолетостроения основаны на использовании широкого спектра минерального сырья со специфическими свойствами - как для основного корпуса самолета, так и для специального применения, такого как двигатели и шасси. Экономическое развитие густонаселенных стран Азии и других частей земного шара привело к огромным инвестициям в инфраструктуру и дало современные удобства многим сотням миллионов людей, - факторы, ведущие к резкому, если не стабильному, увеличению спроса на ресурсы. Перерывы и ускорения в тенденции к увели-

¹ Геонаучное описание, базы данных и карты доступны на <http://www.ngu.no/en/projects/circum-arctic-mapping>. Геонаучное описание включает в себя полный список использованной литературы, включая тот, который приводится в этом издании.

чению спроса (с вытекающими последствиями для цен на сырьевые товары) были вызваны многими факторами, включая в себя:

- Войны, ведущие к увеличению спроса на определенные товары, совпадающие с нарушением в цепи поставок.
- Технологическое развитие (как отмечалось выше).
- Политические/экономические изменения, ведущие к повышению благосостояния и развитию инфраструктуры.
- Создание картелей и других мер, которые искажают нормальное развитие рынков и цен.

Твердые полезные ископаемые (т.е. за исключением нефти и природного газа) можно рассматривать в четырех группах - металлы, нерудные полезные ископаемые, строительные материалы и энергетические ресурсы (например, уголь и уран). Размеры и вес большинства нерудных полезных ископаемых и строительных материалов таковы, что они не могут быть перевезены на большие расстояния. Месторождения большинства видов этих ресурсов, таким образом, представляют интерес только тогда, когда они находятся в непосредственной близости от основных рынков сбыта. Данная публикация посвящена крупнейшим известным месторождениям металлов и одному из немногих нерудных полезных ископаемых, которое имеет очень высокую стоимость за единицу продукта, алмазу. Месторождения включены в соответствии с категориями: крупные, очень крупные и потенциально крупные, как определено в фенноскандинавско-российском проекте: «База данных Фенноскандинавских рудных месторождений» (см. Eilu (Эдитор), 2012, http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_168.pdf).

Глобальное распределение известных месторождений металлов и алмазов контролируется их предрасположенностью к распространению в определенных типах геологических условий. Алмазы встречаются в кимберлитах, узких трубках магматической породы, найденных в блоках с древней континентальной корой, протягивающиеся до глубин 140-190 км, на которых алмазы могут образовываться из других видов углерода, таких как графит, или в осадочных породах, производных от кимберлитов. Выветрива-

ние первичных источников металлов может привести к образованию нескольких типов "россыпных" месторождений вдоль русел крупных рек или в прибрежных отложениях. Наименее задокументированными видами месторождений являются те, что находятся в океанах, на срединно-океанических зонах спрединга и в обогащенных металлами конкрециях.

Многие месторождения имеют основной металл в относительно высокой концентрации и несколько потенциальных сопутствующих металлов (например, никель с медью, кобальт и металлы платиновой группы), хотя существуют примеры, в которых сразу несколько металлов встречаются в высокой концентрации (например, свинец и цинк, а в некоторых месторождениях никель и медь). Содержание и размер месторождений, а также их число диктуют важность, какую они имеют в отношении рынка тех металлов, которые можно из них извлечь. Есть много крупных ("мирового класса") месторождений меди (как правило, с молибденом или кобальтом в качестве сопутствующих продуктов) и железа. Число месторождений или групп месторождений металлов платиновой группы "мирового класса", однако, гораздо меньше, с основными поставщиками, расположенными только в двух странах.

Определение Арктики

Ниже приведены несколько определений для Арктики (см. Рисунок 1):

- Область к северу от Северного полярного круга, самой южной широты в северном полушарии, на которой солнце может оставаться непрерывно выше или ниже горизонта в течение 24 часов. Из-за изменений в наклоне земной оси в результате приливных сил, Северный полярный круг в настоящее время продвигается в северном направлении примерно на 15 м в год.
- Область, в которой средняя температура в июле ниже 10° С.
- Самая северная граница леса.
- 60° с.ш. Это определение включает в себя:
 - Большую часть Аляски,
 - Юкон, Северо-Западные территории и Нунавут в Канаде, северные районы



Рисунок 1. Арктика в соответствии с четырьмя определениями внизу. (Карта из коллекции карт библиотеки Пери-Кастаньеда, библиотека Техасского университета, Техасский университет в Остине).

провинции Квебек и Лабрадора.

- всю Гренландию, учитывая незначительное отклонение южной границы в районе мыса Фарвель на 59° 46' 23 " с.ш..
- Исландию,
- Фарерские острова,
- Шетландские острова, за исключением 12 км континентальной части на юге.
- Фенноскандию, примерно к северу от столиц Осло, Стокгольма и Хельсинки.
- Северную Россию, включая почти все районы к северу от изотермы лета 10° С.

Последние из четырех определений географически близки и к этому моменту включены в первые пять совместных геологических проектов, реализуемых в регионе.

Фарерские острова не славятся наличием значительных полезных ископаемых и месторождений металлов, которые известны на наиболее северной части Шетландских островов - хромиты, приуроченные к офиолитам, и месторождения металлов платиновой группы - имеют очень ограниченный тоннаж.

Начальное геологическое сотрудничество в регионе

Первая инициатива по сотрудничеству в серии полярных Арктических геологических и геофизических карт была выдвинута Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра) в 2003 году (Petrov & Smelror, 2007). Целью было создание цифровых геологических и геофизических карт в масштабе 1: 5 000 000 для Арктического региона. Соглашение было подписано в 2005 году консорциумом национальных агентств из Канады, Дании, Финляндии, Норвегии, России, Швеции и Соединенных Штатов Америки (Petrov & Smelror, 2007). Настоящий проект был среди первоначальных целей участвующих организаций и является самым последним этапом, который должен быть реализован:

- Геологическая Карта Арктики (Harrison et al., 2008)
- Магнитные и Гравитационные Карты Арктики (Gaina et al., 2011)

- Тектоническая Карта Арктики в масштабе 1: 5 000 000 (Petrov et al., в печати).
- Полезные ископаемые в Арктике (эта работа)

Компиляции, предусмотренные этими проектами, являются важными шагами в обновлении научных знаний, в улучшении знаний о развитии земной коры и в предоставлении базовой информации, важной при оценке потенциала полезных ископаемых, не в последнюю очередь по отношению к энергетическим ресурсам в морских осадочных бассейнах.

История разведки полезных ископаемых в Арктике

Арктика привлекала к себе внимание исследователей, по крайней мере, со времени трех плаваний Виллема Баренца в конце 16-го века. Целью Баренца были поиски, как мы сейчас называем, Северо-восточного прохода или, как его называют в России, Северного морского пути. Остров Медвежий, Шпицберген и Новая Земля посещались Баренцем, но ни одно из плаваний не проникало в область к востоку от Карского моря: Баренц умер на Новой Земле в 1597 году. Первая коммерческая разработка в высоких широтах Арктики началась в начале следующего века с созданием голландских и английских китобойных станций на Шпицбергене. Экспедиции китобойного промысла обнаружили уголь уже в 1610 году на Западном Шпицбергене, главном острове в архипелаге Шпицберген, и использовали уголь на своих судах (Dallmann, 2015), но серьезное исследование и долгосрочная разработка угольных месторождений начались примерно триста лет спустя. Открытие и использование угля на Шпицбергене в начале 17-го века считается первой разработкой любого вида полезных ископаемых в высоких широтах Арктики. Настоящий проект фокусируется на наиболее важных месторождениях полезных ископаемых на суше в Арктике, но не на энергетических ресурсах, таких как уголь, а на металлах и алмазах.

Арктическая Россия имеет более чем 300-летнюю историю добычи полезных ископаемых, начиная с упором на золото и серебро в начале 18-го века, и ростом по своим масштабам

Рисунок 2. Свинцово-цинковая шахта Блэк-Энджел на западном побережье Гренландии (фотография с любезного разрешения Бьёрна Томассена из Геологической службы Дании).



и ассортименту сырья для промышленности в последней половине 19-го века. В течение 20-го века Россия становится одним из важнейших в мире поставщиком ряда металлов и алмазов. «Норильский никель», который управляет шахтами и перерабатывающими мощностями на Таймырском полуострове в Красноярском крае (включая оригинальные Норильское и Талнахское месторождения) и на Кольском полуострове в Мурманской области (оба региона находятся севернее Северного полярного круга) и является третьим по величине производителем никеля в мире (9,7% в 2013 году), вторым по величине как платины (13,4% в 2013 году), так и палладия (42,4% в 2013 году) (данные Британской геологической службы, 2015). Эта компания также является важным производителем меди. Горнодобывающая промышленность играет важную роль и в других частях Арктики. Швеция и Финляндия дают более половины производства металла в ЕС28 (страны-члены Европейского союза) (Euromines, 2015). Обе страны также имеют активные разведочные отрасли, которые достигли заметных успехов в последние годы.

Разработка и добыча металлов была важной отраслью промышленности на Аляске и в арктических районах материковой части Канады с момента открытия золота на Юко-

не и спустя несколько лет на Аляске, в конце 19-го века. По оценочным данным более 100 000 старателей не испугались пересеченной местности и экстремальных условий зимы в поисках золота на Юконе в период 1896-99 гг.. Открытие более легко извлекаемого россыпного золота в районе Ном на Аляске в 1898 году привело к новому витку золотой лихорадки и интенсивной разработке аляскинских месторождений в течении десяти лет.

Аляска и арктическая Канада до сих пор имеют горнодобывающую отрасль, как главную отрасль промышленности. Группа шахт Ред-Дог на северо-западе Аляски является одним из крупнейших в мире производителем цинкового концентрата (Teck Alaska, 2015), а рудник Кантунг на Северо-Западных территориях Канады, после более чем пятидесяти лет эксплуатации, до сих пор является одним из самых больших в мире производителей вольфрама за пределами Китая (North American Tungsten Corporation, 2015). Интенсивная разведка алмазов в Канаде началась в 1960-ые годы: после 30 лет разведки было открыто месторождение Екати, имеющее промышленное значение, а последующая разведка привела к дальнейшим коммерческим открытиям на Северо-Западных территориях, в Нунавуте и Онтарио. Передовой проект раз-

вития, проект Ренард в Квебеке, как ожидается, достигнет полного уровня добычи в 2017 году (Stornoway Diamonds, 2015).

Гренландия имеет относительно долгую историю добычи (Henriksen, 2008). Уголь на острове Диско используется с конца 18-го века, криолитовая шахта в Ивитууте открылась в 1854 году и была в эксплуатации до 1987 года: несколько шахт были периодически в эксплуатации после Второй мировой войны и поиски также привели к открытию многочисленных крупных месторождений, которые еще предстоит освоить. Гренландия является лишь одним из нескольких регионов, в которых сырьевой потенциал Арктики подтверждается всё продолжающимся открытием новых месторождений, некоторые из которых мирового класса, даже в тех областях, что уже хорошо изучены в геологическом плане.

Зачем рассматривать минерально-сырьевой потенциал Арктики?

Обстоятельство своевременности проекта Арктических полезных ископаемых основывается на многих факторах:

- Повышенное внимание на национальном, региональном и международном уровнях к Арктике, включая многочисленные исследовательские проекты многих видов.
- Национальные проекты по минерально-сырьевому потенциалу в арктических регионах ряда стран, в том числе Канады, Гренландии и стран северной Европы. Эти проекты включают в себя документирование минерально-сырьевого потенциала, как части основы для оценки потенциала развития охваченных регионов.
- Продолжающееся открытие новых крупных месторождений, некоторые в извест-

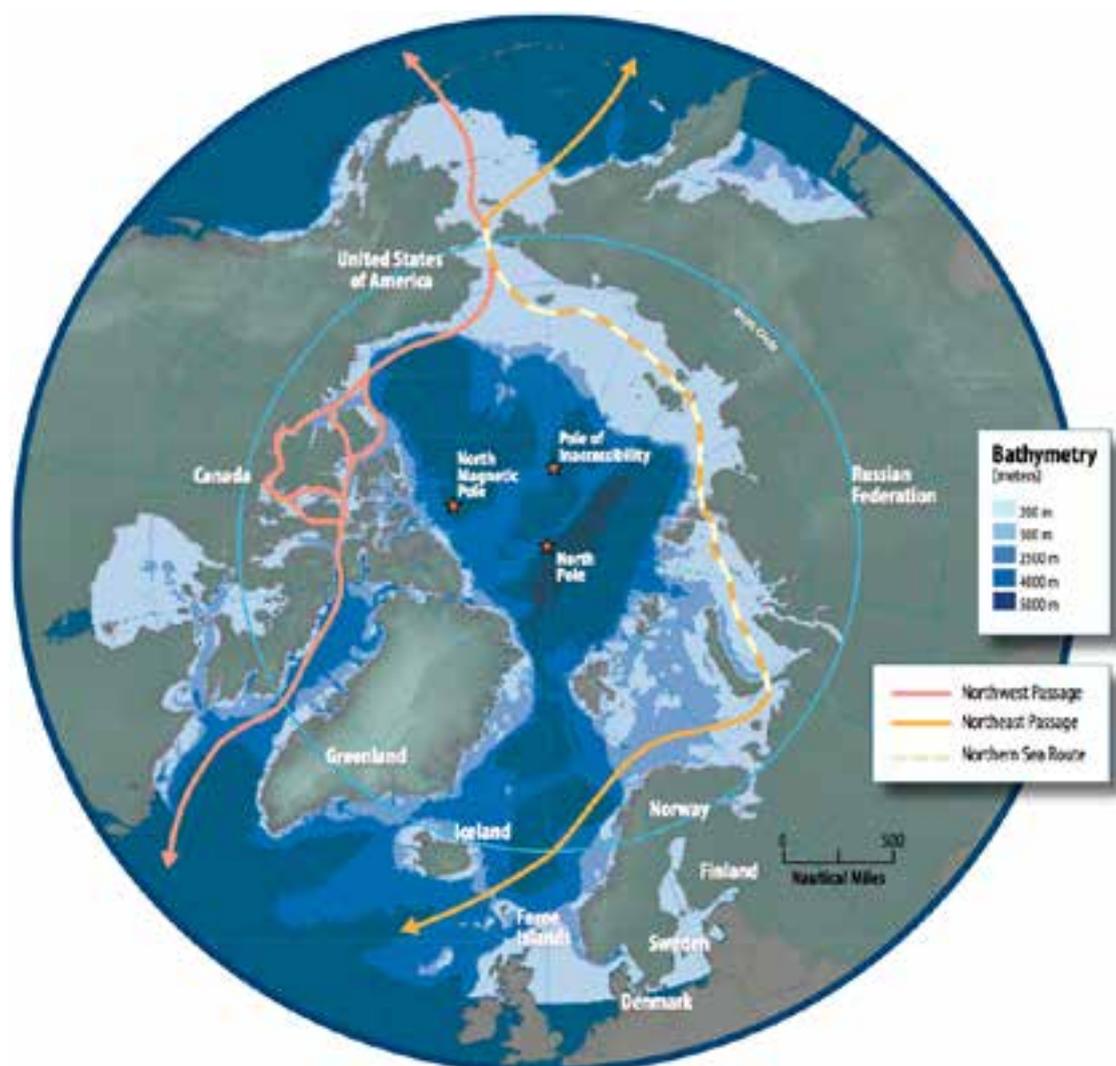


Рисунок 3. Карта Арктики, показывающая альтернативные пути, Северо-Западного и Северо-Восточного проходов, включая в себя Северный морской путь вдоль побережья Сибири (Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Отчет, Arctic Council, Апрель 2009).

ных металлогенических провинциях, но другие в регионах ранее непризнанных, как имеющие большой минерально-сырьевой потенциал.

- Обеспокоенность в отношении доступа к некоторым критическим полезным ископаемым, некоторые из которых, как известно, встречаются в Арктике: оценка критического минерального сырья для стран Европы, США и других стран является одним из проявлений этой обеспокоенности.
- Улучшение доступа за счет более стойкого, долгосрочного открытия морских путей, таких как Северо-Восточный проход (также известного как Северный морской путь), Северо-Западный проход и Арктический мост (из Черчилля в Мурманск), в сочетании с более широким доступом к грузовым судам ледового класса и ледоколам. Создание Администрации Северного морского пути (http://www.arctic-lio.com/nsr_nsra) с информацией и средствами обслуживания, которые она предоставляет, играет важную роль в использовании Северо-Восточного прохода.

Глобальное наличие металлов в состоянии готовности для строительства инфраструктуры и потребительских товаров на всех

уровнях является результатом десятилетней разведки и исследования месторождений, чтобы доказать их жизнеспособность, а также постоянного совершенствования технологии добычи и переработки руд, которые содержатся в этих месторождениях. Большие участки континентов не являются "перспективными" для большинства металлов, поскольку они покрыты обширными бассейнами с молодыми осадочными породами. Месторождения в регионах с логистическими сложностями, как правило, должны быть с высоким содержанием и крупными по размеру, чтобы привлечь инвесторов готовых рисковать капиталом без гарантии безопасного создания рудника и отдачи от своих инвестиций.

Статья 7 Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике (http://www.ats.aq/documents/recatt/at006_e.pdf), который был подписан в 1991 году, запрещает освоение полезных ископаемых на континенте, за исключением тех, что связаны с научными исследованиями. Арктический регион, таким образом, в глобальном масштабе, один из немногих оставшихся районов суши с обширными районами "перспективной" геологии, в котором знание минерально-сырьевого потенциала ограничено.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ АЛЯСКИ²

Краткое геологическое описание

Аляска, самый крупный штат в Соединенных Штатах Америки и большая ее часть расположена к северу от широты 60°, является важной частью Арктического региона, покрытого сопроводительной картой металлогении. Аляска является регионом, богатым на природные ресурсы, с долгой и сложной геологической историей. История горнодобывающей промышленности Аляски сравнительно коротка по мировым меркам, но тем не менее, существует целый ряд месторождений мирового класса, из которых Ред Дог и Пebbл являются одними из крупнейших среди соответствующих им типов в мире.

Аляска представлена набором геологических террейнов или областей, имеющих различную историю, большинство из которых были тектонически объединены в период с 400 миллионов лет до 50 миллионов лет назад (от позднего палеозоя до раннего третичного периода). В настоящее время они встречаются в виде многочисленных блоков, ограниченных разломами, в северной части Северо-Американских Кордильер на западной окраине кратона Лаврентия. Эти террейны состоят из пород, имеющих возраст от палеопротерозойского до современного.

Субширотно простирающийся хребет Брук северной Аляски является северным сег-

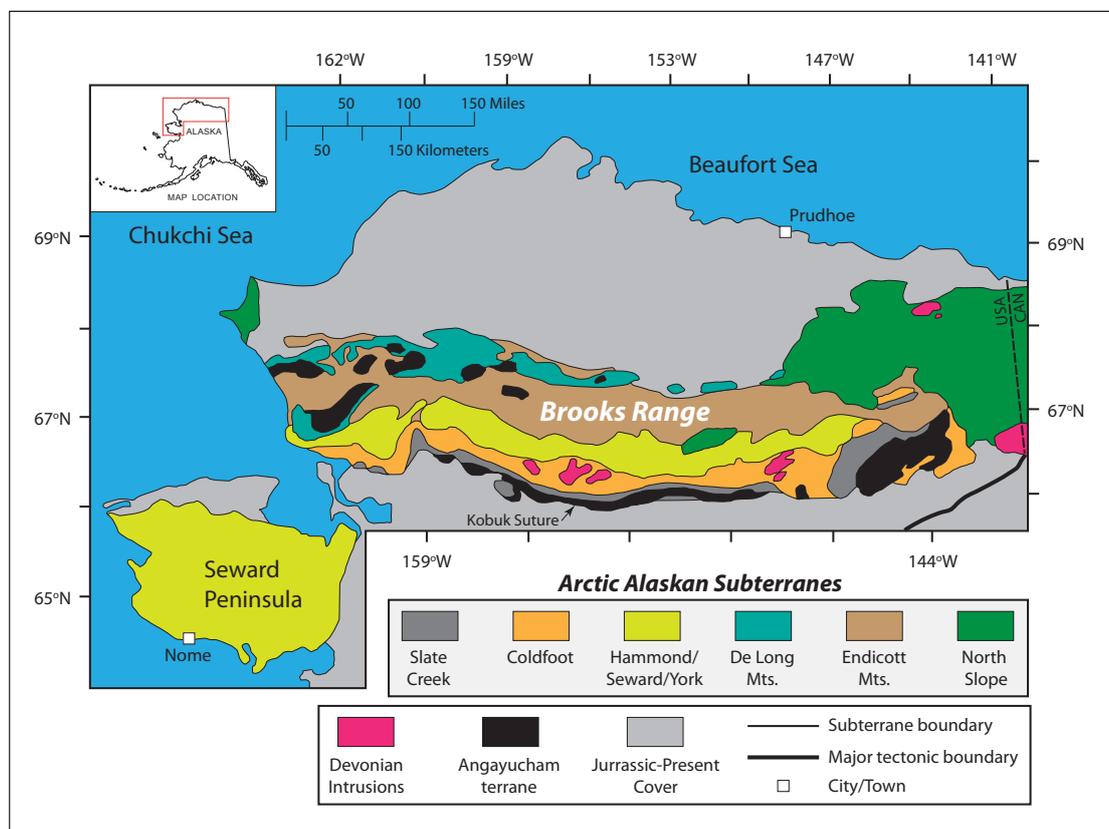


Рисунок 1. Субтеррейны материковой окраины неопротерозойско-раннепалеозойского террейна Арктическая Аляска (часть арктического чукотско-аляскинского микроконтинента), которые были объединены вдоль канадской Арктики и в настоящее время частично формируют хребет Брукса и погребенный северный склон фундамента северной Аляски. Океанические породы террейна Ангаючан были надвинуты на горные породы террейна Арктическая Аляска в раннем мелу. По Strauss и др. (2013).

² Написано Ларри Мейнертом, на основании более детальной информации и списка литературы из главы об Аляске.

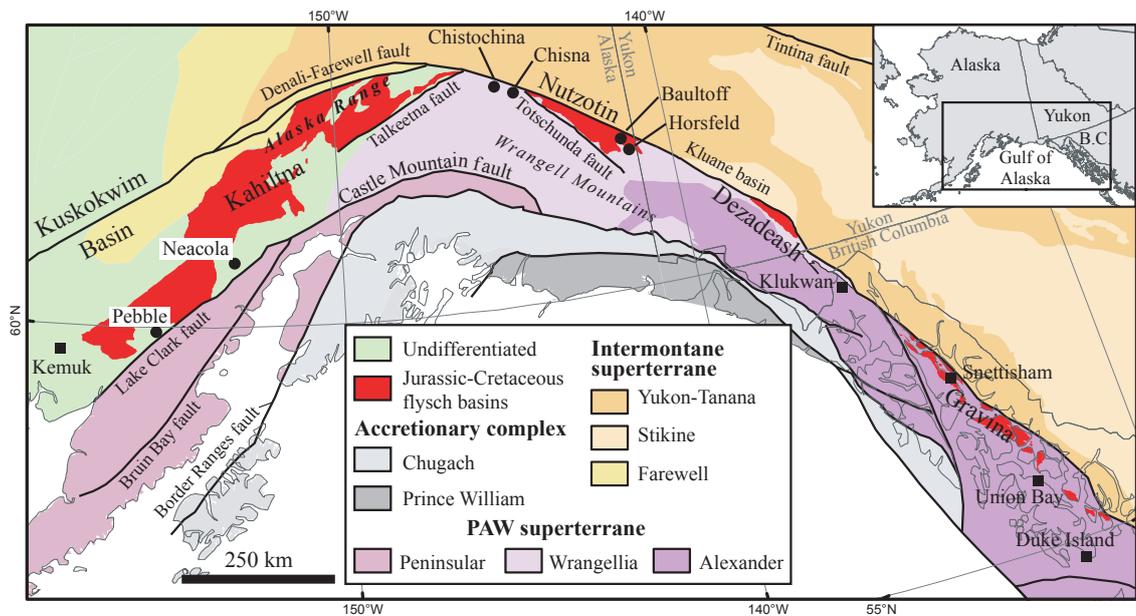


Рисунок 2. Южная Аляска, в основном, представлена составным террейном или микроконтинентом Врангелия, также упоминается, как ПАВ супертеррейн. Она включает в себя три различных океанических дуговых террейна (Пенинсулар, Александр и Врангелия), которые объединились в конце палеозоя. Субдукционно-аккреционный комплекс Чугач был добавлен к морскому краю этого составного террейна, когда он находился на многие сотни километров к югу от своего сегодняшнего местоположения. Расположение Пebbл и других среднемиловых порфировых месторождений (сплошные кружки) и зональных основных и ультраосновных тел Аляскинского типа (сплошные квадраты) в южной части Аляски. Порфировые месторождения, связаны с магматическими породами, которые внедрились во флишевые бассейны с внутриконтинентальной стороны составного террейна Врангелия. По Goldfarb и др. (2013).

ментом горного пояса Северо-Американских Кордильер. Хребет, в основном, подстилается неопротерозойскими и более молодыми горными породами террейна Арктическая Аляска, который можно разделить на ряд субтеррейнов (Рисунок 1), занимающих около 25% Аляски. Горные породы хребта Брукс состоят из различных магматических, метаморфических и осадочных единиц, которые содержат месторождения вулканогенных массивных сульфидов и цветных металлов, содержащихся в осадочных породах.

Полуостров Сьюард, к юго-западу от хребта Брукс (Рисунок 1), состоит из докаменноугольного пронизывающе-деформированного комплекса континентальной окраины - комплекса Ном, который сопоставим с южным сланцевым поясом хребта Брукс. Горные породы комплекса Ном содержат поздне-раннемеловые орогенные месторождения золота и промышленно важные, связанные с ними россыши. Большая часть западной Аляски, в том числе горные породы террейна Фарелл, покрыты меловыми терригенными породами бассейна Койукак и раннемеловыми

андезитовыми вулканическими породами террейна Койукак.

Южно-центральная Аляска (Рисунок 2), в основном, состоит из составного террейна Врангелия и обращенного к морю террейна Чугач, который представляет собой субдукционно-аккреционный комплекс; эти террейны отделены друг от друга разломной зоной Бордер Рейнджес с более чем 600 км правостороннего сдвига. Восточно-центральная Аляска представлена перикратонными породами террейна Юкон-Танана, расположенного между системами сдвиговых разломов Денали и Тинтина, каждый из которых имеет, по крайней мере, 400 км правостороннего горизонтального смещения, и между прибрежными террейнами Врангелия и Чугач на юге и террейном Арктическая Аляска и связанных с ним горными породами на севере. Террейн Юкон-Танана содержит гигантские месторождения золота Форт Нокс и Пого. Субдукция под террейн Юкон-Танана предположительно произошла от примерно 220-179 млн. лет до 115-95 млн. лет назад и связана с массивным магматизмом.

70000 км² бассейна Кускокуим (Рисунок 2) лежат в основании большей части юго-западной Аляски. Этот бассейн интерпретируется как сбросово-сдвиговый бассейн, сформированный в ответ на позднемеловое разломобразование вдоль системы разломов Денали-Фаревелл на юге и системы разломов Идитарод-Никсон Форк на севере. Большая часть осадконакопления произошла между 95 и 77 млн. лет назад, когда этот бассейн формировался между сериями от среднеюрских до раннемеловых вулканических дуг террейнов, которые приближались к континенту с запада и юга.

История добычи полезных ископаемых

За исключением использования самородной меди аляскинскими туземцами, история горнодобывающей промышленности Аляски является относительно короткой по сравнению с другими арктическими регионами мира. Самая ранняя попытка добычи некоренным населением была в 1848 году на юге центральной части Аляски П.П. Дорошиным, русским горным инженером, отправленным Российско-американской компанией в южную Аляску из Санкт-Петербурга. Два года его усилий по добыче золота были по сути безуспешными, но впоследствии золотые лихорадки открыли большую часть штата для добычи полезных ископаемых и развития. Первые старатели переправлялись через перевал Чилкут из прибрежной Аляски к приискам Клондайк на Юконе, Канада (Рисунок 3), а затем, в конце концов, во внутреннюю часть Аляски в 1880-х и 1890-х годах. Самая захватывающая Аляскинская золотая лихорадка началась в конце 1898 года с сообщения о значительном открытии вдоль пляжей Ном; в 1899 и 1900 годах больше чем 20000 человек собралось в этом небольшом городке вдоль побережья полуострова Сьюард на северо-западе Аляски. Горнодобывающий район Ном является вторым, наиболее важным по значимости, районом россыпей на Аляске, давший более 155 тонн Au, по существу, всё из россыпей и, в основном, из сложных аллювиальных отложений или захороненных пляжных отложений. Дополнительные открытия Аляскинского россыпного Au (Рисунок 4) включают в себя районы Фэрбанкс (257 т),

Серкл (23 т), Фортмайл (15 т), Хот-Спрингс (14 т), и Толована (16 т) во внутренней восточной части Аляски и районы Идитарод-Флет (45 т) и Инноко (23 т) на юго-западе Аляски.

Общее историческое производство золота на Аляске, вероятно, более 1400 т, 54% из которых получены из россыпных месторождений. Эта оценка, несомненно, является заниженной, поскольку производство небольших добытчиков часто умалчивается. Кроме того, с 1880 по 2013 год, приблизительный общий объем Аляскинской добычи насчитывает около 10300 т Ag, 1400 т Hg, 5000 т Sb, 3300 т Sn, 2,5 млн. т Pb, 12 млн. т Zn, 0,6 млн. т Cu, 35500 т Cr, 600 т U₃O₈ и 21 т Pt.

Месторождения цветных металлов были обнаружены в северо-западной части Аляски в конце 1960-х, и разрабатывались в последующие десятилетия. Окрашивание оксидом железа было впервые отмечено вдоль Феррик Крик в западной части хребта Брукс в 1955 году. Вслед за этим случаем, геолог американской геологической службы взял пробы речных осадков и горных пород, подобно-окрашенных оксидом железа, в регионе Ред Дог-Крик (к востоку от Феррик Крик) в 1968 году и обнаружил > 10% Pb в речных осадках и > 2% Pb и 1% Zn в минерализованных образцах горных пород. Регион впервые был пробурен в 1980 году, а вторая скважина прошла сквозь 11,0 м с 48% Zn и 10% Pb. Дальнейшее бурение и продолжающаяся добыча утвердили Ред Дог в качестве одного из крупнейших в мире, преимущественно кластических, месторождений Pb-Zn (месторождение типа SEDEX), имеющего 4% мировых запасов цинка и 95% запасов США (Fahey и др., 2014). Другие месторождения сульфидных руд также обнаружены в регионе Ред Дог и в других местах западной части хребта Брукс, но все еще остаются неразработанными.

Дополнительные Аляскинские открытия во второй половине 20-го века включают в себя Кварц Хилл в 1974 году, Гринс Крик в 1979 году, Форт Нокс в 1984 году, Донлин Крик и Пейбл (прямо к югу от 60°) в 1988 году и Пого в 1994 году. В настоящее время на Аляске есть пять активных рудных шахт (Форт Нокс, Гринс Крик, Кенсингтон, Пого и Ред Дог) в дополнение к продолжающейся добыче из

Рисунок 3. Старатели, поднимающиеся на Чилкут между Скагвеем, Аляска и Юконом, Канада, сентябрь 1898 года во время золотой лихорадки на Клондайке. Фотография Пер Эдвард Ларсса и Джозефа Дуклоса.



Рисунок 4. Места значительных россыпных месторождений на Аляске и годы первых открытий. Изображение из Yeend и др. (1998).



- 1834** Группа русских американцев под руководством Малакова сообщает об обнаружении золота в дренаже реки Рашен-ривер на полуострове Кенай.
- 1867** Аляска куплена у России и официально передана США на церемонии в городе Ситка.
- 1880** Золото обнаружено около города Джуно, как в бассейне Силвер-Боу, так и на острове Дуглас.
- 1886** Золото найдено в реке Фортимайл, первое крупное открытие золота в недрах Аляски.
- 1893** Золото обнаружено в области Бирч Крик, которая позже стала известна как горнодобывающий район Серкл.
- 1896** Джордж Вашингтон Кармак, Скукум Джим и Тагиш Чарли находят богатые залежи золота в притоке реки Клондайк на канадской территории Юкон, положив начало золотой лихорадке на Клондайке.
- 1898** Старатели из Клондайка продолжают поиски вниз по Юкону на полуострове Сьюард на Аляске и находят золото в Номе. Другие делают находки в других частях Аляски.
- 1902** Феликс Педро находит золото на притоке реки Танана в месте, где в настоящее время находится город Фэрбенкс.

многочисленных россыпных разработок по всему штату.

Сводная информация о наиболее распространенных видах полезных ископаемых

Месторождения золота

Месторождения россыпного золота, вымытые из предшествующих орогенных и связанных с интрузиями месторождений золота, были самыми первыми открытиями на Аляске и разрабатывались более 100 лет, и все еще остаются экономически важными. Орогенные месторождения золота в северной части штата были, в основном, эродированы, но одно историческое (1903-1907) первоклассное месторождение на полуострове Сьюард, Биг Хуррах, разрабатывалось из золото-кварцевых жил, в среднем 25 г/т Au, в срезанных метаосадочных и метавулканических горных породах. Провинция орогенного золота полуострова Сьюард, вероятно, достигает восточной части России, где крупные жильные месторождения, такие как Майское и Каральвеем, вмещаются осадочными породами среднего триаса и позднеаптскими до раннеальбскими гранитами и гранодиоритами (Goldfarb и др., 2014).

Россыпи золота, полученные из орогенных жильных месторождений полуострова Сьюард, в основном, сформировали аллювиальные, коллювиальные, ледниковые и, в частности, морские пляжные месторождения. Активные русла потоков, а также террасы со старыми аллювиальными или ледниковыми руслами, возвышающимися вдоль стенок потоков, были продуктивными и местами давали большие самородки. Тем не менее, большинство извлеченного золота было из пляжных месторождений района Ном. Морские террасы формировались в конце плиоцена до плейстоцена в результате относительных колебаний уровня моря. Золотоносный гравий на террасах отлагался ледниками поверх сланцевых коренных пород и мелкозернистых морских отложений. Золото в глине было переработано и сконцентрировано, как речными, так и морскими процессами.

Первое открытие золота было на современных пляжах Ном, что дало приблизительно

3-4 т Au вдоль 60 км береговой линии. Вскоре, после этого первоначального открытия на "первом пляже", стало ясно, что большая часть золота расположена чуть вглубь континента в древних пляжных отложениях, и эти древние отложения были ответственны за большую часть извлеченных 155 т Au. Шесть древних пляжных морских платформ располагались над современным уровнем моря, и такое же число было расположено ниже современного уровня моря (Cobb, 1974). Золото в третьем пляже было расположено чуть выше коренных пород, в пляжных песках и речном гравии на дне шахт глубиной 10-15 м. Самый дальний от берега подводный пляж был обнаружен в 400-500 м в глубь штата и на 6-7 м ниже современного уровня моря. Metz (1978) оценил запасы золота в 37 т, оставшиеся после добычи полезных ископаемых, в основном, во втором, третьем, подводном и монровилльском пляжах. Крупномасштабная добыча аллювиального золота прекратилась в 1962 году, хотя рекреационная разработка многих пляжей продолжается по сей день.

В районе Фэрбанкс золото добывалось из кварцевых жил в кислой интрузии, орогенных месторождений золота в метаосадочных породах, а также в россыпях, полученных из них (Рисунок 4). Эрозия широко распространенных золотоносных кварцевых жил в районе Фэрбанкс дала аллювиальные концентрации, ответственные за 257 т продукции Au из россыпей (Рисунок 4). Добыча достигла максимума в течение первых нескольких лет после открытия аллювиальных россыпных концентраций в 1902 году и в течение длительного периода подводной выемки грунта между 1928 и 1963 годами. Большая часть добычи была с водоразделов Клири, Фэрбанкс, Естер, Дом, и Голдстрим Крикс.

Самое большое орогенное месторождение Пого (суммарно прошлая добыча, современные запасы и ресурсы: 220 т Au) было обнаружено в 1996 году, приблизительно в 140 км к юго-востоку от города Фэрбанкс, где высоко-содержащие (в среднем 12,5 г/т Au), сдвигово-го типа жилы прорезают протерозойские до среднепалеозойских биотит-кварц-полевошпатовые ортогнейсы и парагнейсы террейна Юкон-Танана. Подземные горные работы начались десять лет спустя. По состоянию на

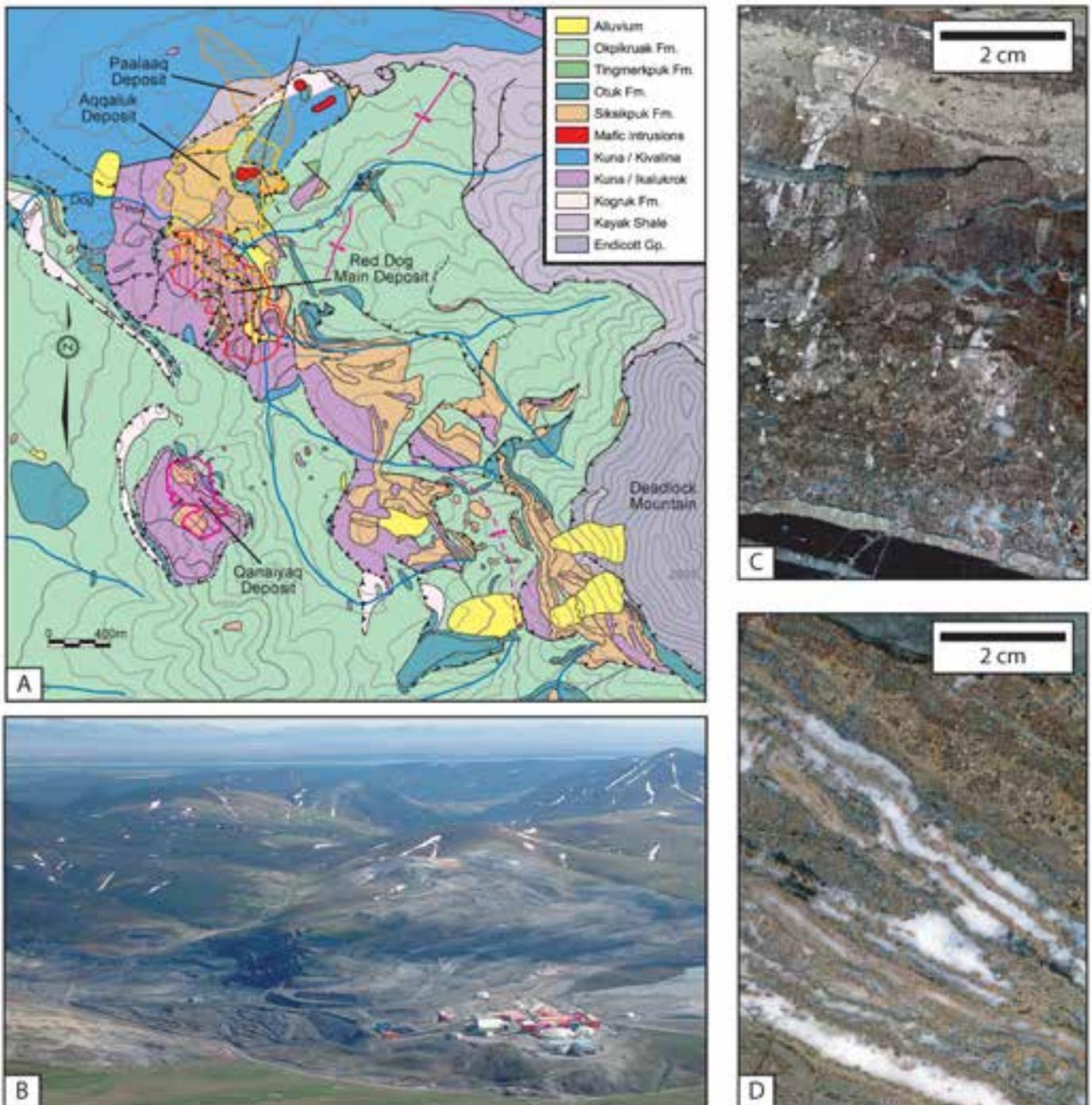


Рисунок 5. А) Геологическая карта района, на которой размещены месторождения Ред Дог: Каанаак, Мейн, Аккалук и Паалаак с изменениями после Kelley и Jennings (2004). В) Аэрофотосъемка шахты Ред Дог. С) Рудная жила в Ред Дог. D) Массивная сульфидная руда в Ред Дог. Фотографии 5С и 5D любезно предоставлены Карен Келли.

2015 год, Пого является крупнейшей золото-добывающей шахтой на Аляске, производя около 11 т Au в год, и при современной добыче и запасах общий объем ресурсов составляет 220 т Au.

Золотоносные жилы Пого, называемые жильной системой Лисе, встречаются как три индивидуальные, пластинчатые, распо-

ложенные друг над другом жилы, которые имеют небольшое падение на северо-запад. Пластичные до хрупких жилы в среднем имеют 7 м толщину, хотя, локально, они бывают толщиной 30 м, и имеют надземные размеры 1,4 x 0,7 км (Smith и др., 1999; Rhys и др., 2003). Самая крупная жила имеет размеры по падению > 1,7 км. Сульфидные фазы, содержащие около 3% жил, включают арсениpirit,

пирит, пирротин, леллингит, халькопирит и молибденит; Bi- и Te-содержащие теллуриды также присутствуют. Фазы преобразований пород включают в себя биотит, кварц, серицит, K-полевой шпат, железистый доломит и хлорит.

Кислые граниты и тоналиты батолита Гудпастер расположены в нескольких километрах к северу от Пого. Эти породы внедрились примерно 109-103 млн. лет назад, во время заключительных этапов регионального метаморфизма и деформации. Временная ассоциация интрузий с золотом привела большинство исследователей к тому, что Пого является золотой системой, связанной с интрузией. Тем не менее, многие особенности месторождения позволяют предположить, что оно похоже на типичное орогенное месторождение золота и генетическая связь с магматизмом далеко не убедительна (Goldfarb и др., 2005).

Наибольшим, связанным с кислой интрузией месторождением на Аляске, является месторождение Форт Нокс, расположенное примерно в 25 км к северо-востоку от Фэрбанкс. В Форт Нокс золото встречается в крутопадающей, обычно слоистой, кварц-K-полевошпатовой жиле и в плоских кварцевых жилах, которые встречаются вдоль слегка- до умеренно-падающей сдвиговой зоны, срезающей перемененно порфиоровые, умеренно кислые монцограниты до гранодиоритов возрастом 92,5 млн. лет в штоке Вогт, который внедрен в протерозойско-среднепалеозойские сланцы Фэрбанкс. Кислый характер штока проявляется в низкой магнитной восприимчивости и соотношении Fe_2O_3/FeO в пределах 0,15-0,30 (Hart и др., 2004).

Слоистые жилы имеют чистый до серого кварц и калий-полевошпатовые зерна, которые были отложены гидротермально-магматическим флюидом. Плотность слоистых жил контролирует содержание руды. Жилы, как правило, заполняют северо-западное простирание, неглубоко до умеренно-падающих к юго-западу зон сдвига, и отдельные жилы изменяются по ширине от 0,3 до 1,5 м. Высокочистое золото в жилах обычно срассается с природными висмутом, висмутином и теллурическим висмутом. Общий объем

сульфидов, как правило, значительно меньше 1% и висмутин, обычно, наиболее распространенная фаза сульфида в жилах. Другие незначительные сульфиды включают в себя пирит, пирротин, арсенопирит и молибденит. Фазы преобразований включают в себя K-полевой шпат, альбит, биотит, серицит и анкерит; они обычно очерчивают несколько-сантиметровые ореолы, окружающие жилы.

Обломочно-преобладающие месторождения Pb-Zn (SEDEX-тип)

Ред Дог является одним из крупнейших в мире обломочно-преобладающих месторождений Pb-Zn типа. Шахта в Ред Дог добывает руду из двух рудных тел или месторождений: основное месторождение (добыча прекращена в 2012 году), а также месторождения Аккалук (в настоящее время разрабатывается). Месторождения Каанаак (или Хилтоп) и Паалаак являются потенциальными источниками, в краткосрочной перспективе, высококачественной руды в дополнение к запасам в настоящее время, что добываются из соседней шахты Аккалук (Рисунки 5А, 5С). Четыре месторождения в Ред Дог имеют общий запас и ресурсы 140,6 млн. т при 16,6% Zn и 4,6% Pb. Кроме того, в более широком регионе Ред Дог являются важными неразработанные ресурсы Zn + Pb на Су-Лик и Анарраак. Недавние расчеты показывают комбинированную оценку предварительной добычи для всех месторождений региона в 171 млн. т при содержании 15,7% Zn, 4,5% Pb и 82,6 г/т Ag (Blevings и др., 2013). Многочисленные баритовые тела, некоторые связанные с месторождениями Zn-Pb, разбросаны по всему району и включают в себя примерно 1000 млн. т барита в Анаррааке.

Pb-Zn руды, в основном, размещены в немтаморфизованных, мелкозернистых миссисипских обломочных породах, турбидитовых карбонатных породах и кремнистом известняке в верхней части свиты Куна в пределах группы Лисберн. Обломочные породы включают в себя черные алевролиты, кремнистые и углеродистые аргиллиты и сланцы. Отложение происходило с конца ранней до позднемиссисипской эпохи в бескислородном до эвксинного бассейне, изолированном от открытого океана, с ограниченным поступлением терригенного материала и значи-

тельным количеством органического углерода; карбонатные турбидиты, полученные из соседних карбонатных платформ, локально присутствуют в образовании Куна.

Рудные минералы в месторождениях Zn-Pb-Ag региона Ред Дог включают в себя сфалерит, галенит, пирит, марказит (Kelley и др., 2004b). Медьсодержащая сульфидная фаза встречается редко. Барит и кварц являются основными жильными фазами в руде Ред Дог. Стили минерализации для сульфидов цветных металлов включают в себя жилу (Рисунок 5C), цельный массив (Рисунок 5D), брекчию и вкрапления. Руды месторождения Ред Дог очень крупнозернистые и могут быть брекчированы, в то время, как месторождения, такие как Анарраак и Су-Лик, преимущественно характеризуются чрезвычайно мелкозернистыми слоями сульфидов. Из-за после-минерализационной деформации в процессе брукианского горообразования, месторождения Ред Дог структурно разделены на серии надвиговых пластин кремнистых сланцев и кремнистых известняков.

Медно-порфировые месторождения

Гигантское месторождение Пebbл (Cu-Au-Mo), расположенное в 320 км к юго-западу от Анкориджа и немного к югу от 60° северной широты (59° 53 '50 "N), имеет наибольшее содержание золота по сравнению с любым другим порфировым месторождением в мире (3033 т золота при содержании 0,35 г/т), и связано с интрузивными телами батолита Касканак (возраст около 90 млн. лет), внедренного в юрско-меловой флиш Кахилтна (Рисунок 6). Возможно, оно было самым северным из ряда порфировых месторождений, образованных вдоль края суши составного террейна Врангелия в середине мелового периода многие сотни километров к югу от своей современной широты (Рисунок 2); другие месторождения находятся на больших высотах восточного Аляскинского хребта. Месторождение Пebbл формировалось в течение 10 миллионов лет магматизма, начиная с внедрения гранодиоритовых и диоритовых пластовых интрузий, в начале щелочных интрузий и, связанных с ними, брекчий, и, наконец, вторжением субщелочных гранодиоритов батолита Касканак возрастом 90 млн. лет. Эти породы (гранодиориты) вдоль края

батолита содержат минерализацию. Lang и др. (2013) предполагают крупный размер месторождения, а также его высококачественная гипогенная руда является результатом множественных эпизодов гидротермально-магматических событий, наличия эффективной зоны сингидротермального разлома для концентрации флюидов и перекрывающих роговиковых зон во флише, формирующих водоупор для восходящих движений флюидов.

Месторождение Пebbл подразделяется на восточную и западную зоны Пebbл, которые определены по двум связанным гидротермальным центрам с восточной зоной, погруженной на 600-900 м в грабен (Kelley и др., 2013). Западный Пebbл простирается от вблизи поверхности до глубины 500 м, в то время, как восточный Пebbл, под 300-600-метровыми осадочными и вулканическими позднемеловыми-эоценовыми перекрывающими породами, прослеживается на глубины до 1700 м. Существует небольшая зона гипергенеза минерализации над рудным телом западной зоны, но, в целом, вся руда гипогенная. Халькопирит±борнит, пирит, свободное золото и электрум связаны с калиевыми и натриево-калиевыми преобразованиями, с каолинитовыми и иллитовыми модификациями, перераспределяющими металлы.

Будущий потенциал

Сравнительно короткая история разработки полезных ископаемых Аляски, немногим более 100 лет, и рекогносцировочный характер геологических знаний для большей части штата допускают возможность наличия крупных неразведанных рудных месторождений. Очень крупные известные рудные месторождения были обнаружены сравнительно недавно (с ~ 1970), а также в случае с месторождением золота Форт Нокс, представляют собой новый, ранее неожиданный тип месторождений полезных ископаемых. Вполне вероятно, что другие крупные металлические полезные ископаемые могут быть обнаружены в этом регионе с чрезвычайно сложной и перспективной геологией. Известные крупные месторождения к северу от 60 градусов северной широты являются месторождениями цветных и драгоценных металлов, как и подавляющее большинство

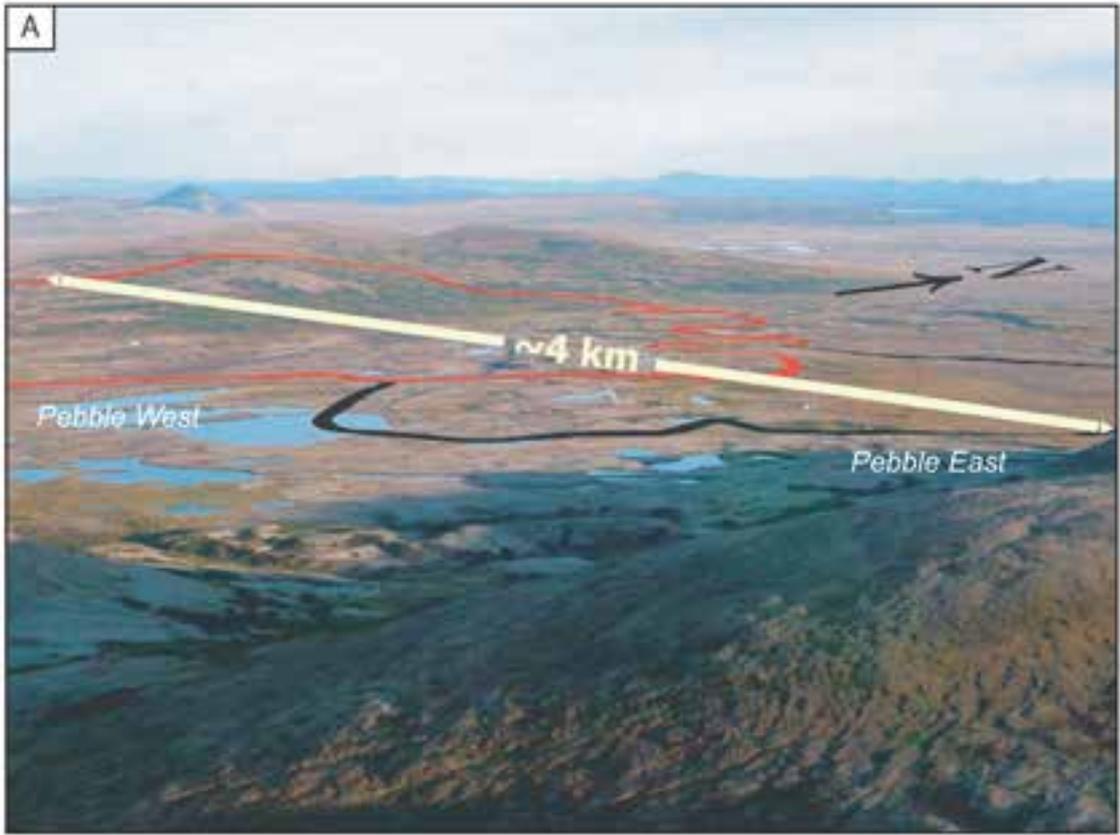
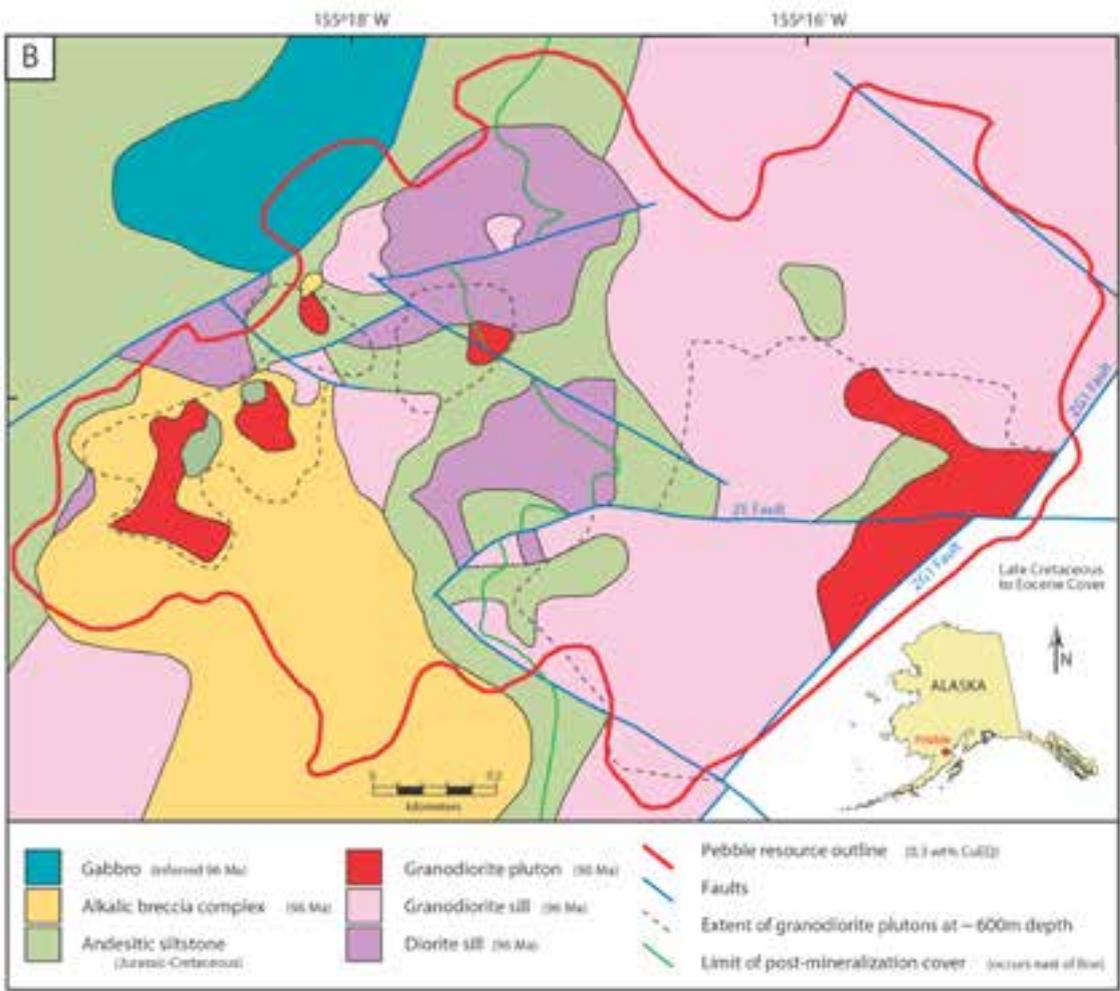


Рисунок 6. А) Расположение гигантского порфирового месторождения Пebbл (Cu-Au-Mo), большей частью скрытая область, показывая на поверхности Западную зону Пebbл (красный контур) и Восточную зону Пebbл (черный контур) в южной части юго-западной Аляски (по Грегору и др., 2013). В) Геологическая карта порфирового месторождения Пebbл возрастом около 90 млн. лет. Предоставлено Карен Келли, Геологическая служба США.



известных рудников и открытий. На протяжении большей части современной истории, золото было важным фактором разведки полезных ископаемых на Аляске, еще ряд очень крупных месторождений, например, Ред Дог, представляют собой месторождения цветных металлов, содержащие мало золота или не содержащие вообще.

Основные известные металлогенические провинции, например, те, что содержат месторождения полиметаллических цветных металлов хребта Брукс и восточной Аляски, а также более широко распространенные золотые и порфировые месторождения, разбросанные по различным частям Аляски, отражают руды, сформированные в совершенно различных временных и тектонических условиях. Вулканогенно-массивные сульфиды и обломочно-преобладающие Pb-Zn провинции отражают в значительной степени стратифицированную палеозойскую минерализацию, образованную в океанических бассейнах, на которую во многих случаях наложен среднемеловой метаморфизм. Золотые провинции на большей части Аляски и порфировые пояса в южной части штата, в первую очередь, отражают среднемеловой до эоценового тектонизм вдоль активных континентальных окраин. Как метаморфизм, так и магматизм могут быть существенными при формировании различных рудных месторождений золота; эрозия жил привела ко многим крупным и продуктивным россыпным месторождениям золота.

Основные заброшенные и еще неизвестные открытия, вероятно, являются частью разведочного будущего Аляски. Заброшенные

разработки будут под сильным влиянием социально-экономических проблем. Месторождение Форт Нокс, к примеру, было исследовано и введено в эксплуатацию в месте проявления золота известного в течение почти 100 лет, но благоприятная инфраструктура недалеко от города Фэрбанкс и местное население, которое, в основном, поддерживается близлежащей горнодобывающей деятельностью, имели решающее значение для успеха. Гигантские месторождения полезных ископаемых, в настоящее время, признаны в Донлин Крик, Монеи Кноб и Пеббл, но вопросы инфраструктуры, цен на металл, и (или) потенциального воздействия на окружающую среду оказывают воздействие на их доразведку и потенциал развития. Успешная модель устойчивого развития ресурсов в районе Ред Дог, с полезным включением коренных жителей Аляски на всех этапах деятельности, представляет собой пример, за которым может последовать будущая разработка других крупнотоннажных месторождений во многих частях штата. Пеббл и Пого представляют недавние успехи поисково-разведочных работ, которые указывают на то, что многочисленные гигантские месторождения до сих пор могут быть обнаружены по всей Аляске, особенно, в сравнительно малоизученных районах обширного молодого чехла. Последние достижения методологии в разведочной геохимии, дистанционном зондировании, и, в частности, геофизических методах будут необходимы для более точного определения геологического строения и структуры во многих из этих областей чехла и выявления наиболее благоприятных районов для открытия важных ресурсов.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ АРКТИЧЕСКОЙ КАНАДЫ³

Геологическое описание

Здесь представлен краткий обзор геологических условий месторождений полезных ископаемых в арктической части Канады, разделенный на:

- Кратоны или гранитные и метаморфические основания Канадского щита, которые содержат большую часть золота, меди, никеля, железа, урана, редкоземельных элементов и алмазов.
- Ограничивающие мезопротерозойско-фанерозойские платформы, бассейны и аккретированные террейны канадских Кордильер, которые простираются в высоких широтах Арктики и содержат много цинка, свинца, золота, серебра, меди, молибдена и вольфрама.

Канадский щит содержит четыре архейских кратона (Рисунок 1):

- Кратон Слейв (возраст 4030-2550 млн. лет), который находится на северо-западе и ограничен горными палеопротерозойскими поясами (орогенами): орогеном Телон-Талсон на востоке и орогеном Вопмей на западе. Кратон Слейв связан с орогенным золотом, вулканогенными массивными сульфидами (ВМС), богатыми алмазами кимберлитами и большими месторождениями редкоземельных элементов.
- Кратон Рае (возраст 3250 - 2580 млн. лет) и кратон Херн (возраст 2740 - 2540 млн. лет) находятся на востоке и подстилают в основном большинство остальных частей Канадского щита канадской Арктики. В неархейском кратоне Рае важными являются супракрустальные породы, содержащие

значительные ресурсы железа, орогенного золота палеопротерозойского возраста, урана, связанного с суб-палеопротерозойским несогласием, никеля и коммерчески значимые кимберлиты. Месторождения кратона Херн включают в себя никель, медь, элементы платиновой группы (ЭПГ), уран, ВМС и одно большое месторождение орогенного золота (Мелиадин).

- Кратон Супериор, в основном, расположен к югу от 60° с.ш., но также обнажается на северных окраинах Квебека. Он ограничен с севера палеопротерозойским поясом Кейп-Смит (возрастом 1870 - 1800 млн. лет), частью орогена Транс-Гудзон, окаймляющего Супериор. Этот пояс известен своими горными породами, обогащенными магнием, которые содержат важные ресурсы никеля, меди и металлов платиновой группы.

Другой важный палеопротерозойский пояс представлен орогеном Вопмей (возраст 1890-1840 млн. лет), который находится к западу от кратона Слейв. Он характеризуется наличием восточного осадочного пояса и плутонических и вулканических пород батолита Грейт Беар на западе. В последних, заслуживающих внимания, являются ресурсы, включающие в себя железоксидные медно-золотые месторождения (ЖОМЗ), полиметаллические жилы и урановую жилу.

Докембрийские кратоны и палеопротерозойские бассейны окаймляются с севера и запада широко распространенными шельфовыми карбонатными отложениями, которые накапливались в мезопротерозое и в позднем палеозое. Эти горные породы содержат свинцово-цинковые карбонатные месторождения.

³ Написано Дж. К. Харрисоном, Министерство природных ресурсов Канады, Геологическая служба Канады

Table 1: Overview of the very large and large deposits in Canada, north of 60

| Deposit | Status | Size | Genesis type | Main metals | Total tonnage - Mt (Mineral) | Grades |
|------------------|---------------------|------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|---|
| Andromeda Lake | Not exploited | Large | Unconformity | U | 7.67 | 0.23 % UO ₂ |
| Osisko | Not exploited | Very large | Porphyry (Cu, Au, Mo, W, Sn, Ag) | Cu, Mo, Au, Ag | 275.8 | 0.76 % Cu, 0.02 % Mo |
| Coffee | Not exploited | Large | Orogenic gold | Au | 30.90 | 1.4 ppm Au |
| Don Mine | Closed mine | Large | Orogenic gold | Au | 10.7 (10.7) | 17.1 ppm Au |
| Courageous Lake | Revised exploration | Large | Orogenic gold | Au | 116,449 (3.17) | 2.3 ppm Au |
| Orisk | Not exploited | Very large | Sediment iron | Fe | 3209 | 43.0 % Fe |
| Fair Mine | Closed mine | Large | Sedimentary exhalative | Zn, Pb, Ag (Au) | 59 (35.186) | 5.0 % Zn, 3.4 % Pb, 39 ppm Ag, 3.3 ppm Au |
| Ferguson Lake | Not exploited | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu (Pt, Pd) | 48 | 0.7 % Ni, 1 % Cu, 0.08 % Co, 1.3 ppm Pt, 0.2 ppm Pd |
| Zayda River | Not exploited | Large | MVT to host type Pb-Zn | Zn, Pb (Ga, Ge, Ag) | 30 | 4.7 % Zn, 0.3 % Pb |
| Grant Mine | Closed mine | Large | Orogenic gold | Au | 15.5 (15.5) | 15.8 ppm Au |
| Golden Reverse | Not exploited | Large | Epithermal gold, plus porphyry | Au, Ag (Cu, Mo) | 231.96 | 0.68 % Cu, 0.02 % Mo, 2.0 ppm Ag, 5.4 ppm Au |
| Goose | Not exploited | Large | Orogenic gold | Au | 24.76 | 8.4 ppm Au |
| Hackett River | Not exploited | Very large | VMS | Zn, Pb, Cu, Ag (Au) | 62 | 3.8 % Zn, 0.5 % Pb, 0.4 % Cu, 144 ppm Ag, 3.23 ppm Au |
| Hazelburg | Not exploited | Large | VMS | Zn, Pb, Ag | 4.1 | 6.2 % Zn, 1.8 % Pb, 84 ppm Ag |
| High Lake | Not exploited | Large | VMS | Zn, Cu, Pb (Ag, Au) | 14 | 3.4 % Zn, 0.4 % Pb, 2.5 % Cu, 84 ppm Ag, 0.2 ppm Au |
| Howards Pass | Not exploited | Large | Sedimentary exhalative | Zn, Pb | 366.5 | 4.9 % Zn, 1.8 % Pb |
| Jock Lake | Not exploited | Large | VMS | Zn, Cu, Pb (Ag, Au) | 14.6 | 13.1 % Zn, 1.4 % Pb, 2.2 % Cu, 73 ppm Ag, 0.2 ppm Au |
| Nano Mt Silver | Active mine | Large | Ag-Pb-Zn veins | Ag (Pt, Zn) | 7,214 (4,847) | 4.4 % Zn, 0.3 % Pb, 1167 ppm Ag |
| Kudz Zi Kuzm | Not exploited | Large | VMS | Zn, Pb, Cu (Au, Ag) | 14.95 | 0.8 % Zn, 1.9 % Pb, 0.9 % Cu, 121 ppm Ag, 1.3 ppm Au |
| Luglung | Not exploited | Large | Porphyry (Cu, Au, Mo, W, Sn, Ag) | W, Mo | 424.5 | 0.08 % W, 0.03 % Mo |
| Lupat Mine | Closed mine | Large | Orogenic gold | Au (Ag) | 12.83 (11.73) | 19 ppm Au |
| Mackay | Not exploited | Large | Skarn (Zn-Pb-Ag, Cu, Au, Fe, W) | W | 44,888 | 0.73 % W |
| Mary River 1 | Active mine | Large | Algoma-style iron formation | Fe | 937 | 69.5 % Fe |
| Mary River 2 & 3 | Not exploited | Large | Algoma-style iron formation | Fe | 362 | 69.6 % Fe |
| Mealybank Mine | Active mine | Large | Orogenic gold | Au | 27,467 | 3.3 ppm Au |
| Meladine | Not exploited | Large | Orogenic gold | Au | 48,273 | 6.5 ppm Au |
| Minto | Active mine | Large | IOCG to porphyry | Cu (Au, Ag) | 116,144 (53.73) | 1.7 % Cu, 4.9 ppm Ag, 0.8 ppm Au |
| Nanisivik Mine | Closed mine | Large | MVT to host type Pb-Zn | Zn, Pb (Ag) | 17,525 (17,524) | 0.0 % Zn, 0.7 % Pb, 41 ppm Ag |
| Nickelchok | Not exploited | Large | Pentavalent iron-associated vanadium | REE | 304.83 | 2329 ppm Nb, 1.08 % REE, 196 ppm Ta, 1.81 % Zr |
| Nickel King | Not exploited | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu (Pt) | 44,172 | 0.4 % Ni, 0.39 % Cu, 0.02 % Co |
| Nuhavik Mine | Active mine | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu (Pt, Pd) | 27,146 | 0.0 % Ni, 1.1 % Cu, 0.08 % Co, 2.2 ppm Pd, 0.8 ppm Pt |
| Pine Point | Closed mine | Large | MVT to host type Pb-Zn | Zn, Pb | 105.48 (64.28) | 8.8 % Zn, 0.9 % Pb |
| Polaris Mine | Closed mine | Large | MVT to host type Pb-Zn | Zn, Pb | 35,197 (30,107) | 13.4 % Zn, 3.8 % Pb |
| Pyrite Creek | Not exploited | Large | MVT to host type Pb-Zn | Zn, Pb (Ag) | 11.67 | 12.8 % Zn, 10.9 % Pb, 0.8 % Cu, 197 ppm Ag |
| Raglan Mine | Active mine | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu (Pt, Pd) | 42,03 (8,88) | 2.2 % Ni, 0.9 % Cu |
| Red Mountain | Not exploited | Large | Porphyry (Cu, Au, Mo, W, Sn, Ag) | Mo | 187 | 0.1 % Mo |
| Roche Bay C | Not exploited | Large | Algoma-style iron formation | Fe | 997.3 | 26.4 % Fe, 0.09 % P2O5 |
| Turn and Jewell | Not exploited | Large | Sedimentary exhalative | Zn, Pb, Ag | 31.99 | 6.6 % Zn, 3.8 % Pb, 39 ppm Ag |
| Walgreen | Revised exploration | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu, Pt, Pd (Cu, Au) | 49,28 (3,17) | 0.3 % Ni, 0.3 % Cu, 0.04 % Co, 0.3 ppm Pd, 0.4 ppm Pt |
| West Region | Not exploited | Large | Magnetic Ni-Cu-PGE | Ni, Cu (Pt, Pd) | 10 | 2 % Ni |
| Wolverson Mine | Active mine | Large | VMS | Zn, Cu, Pb, Ag (Au) | 6.184 | 12.2 % Zn, 1.8 % Pb, 1.2 % Cu, 383 ppm Ag, 1.7 ppm Au |

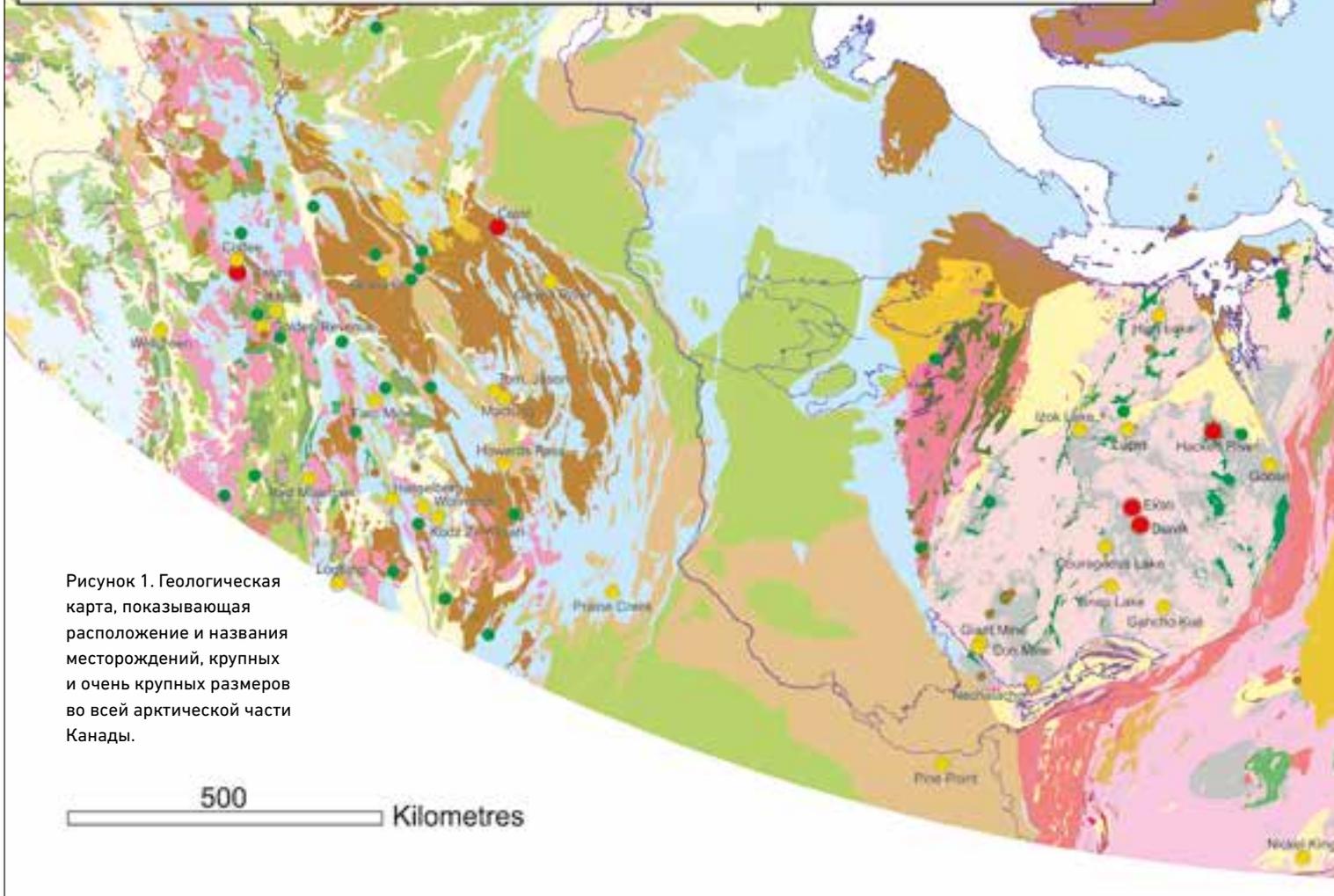
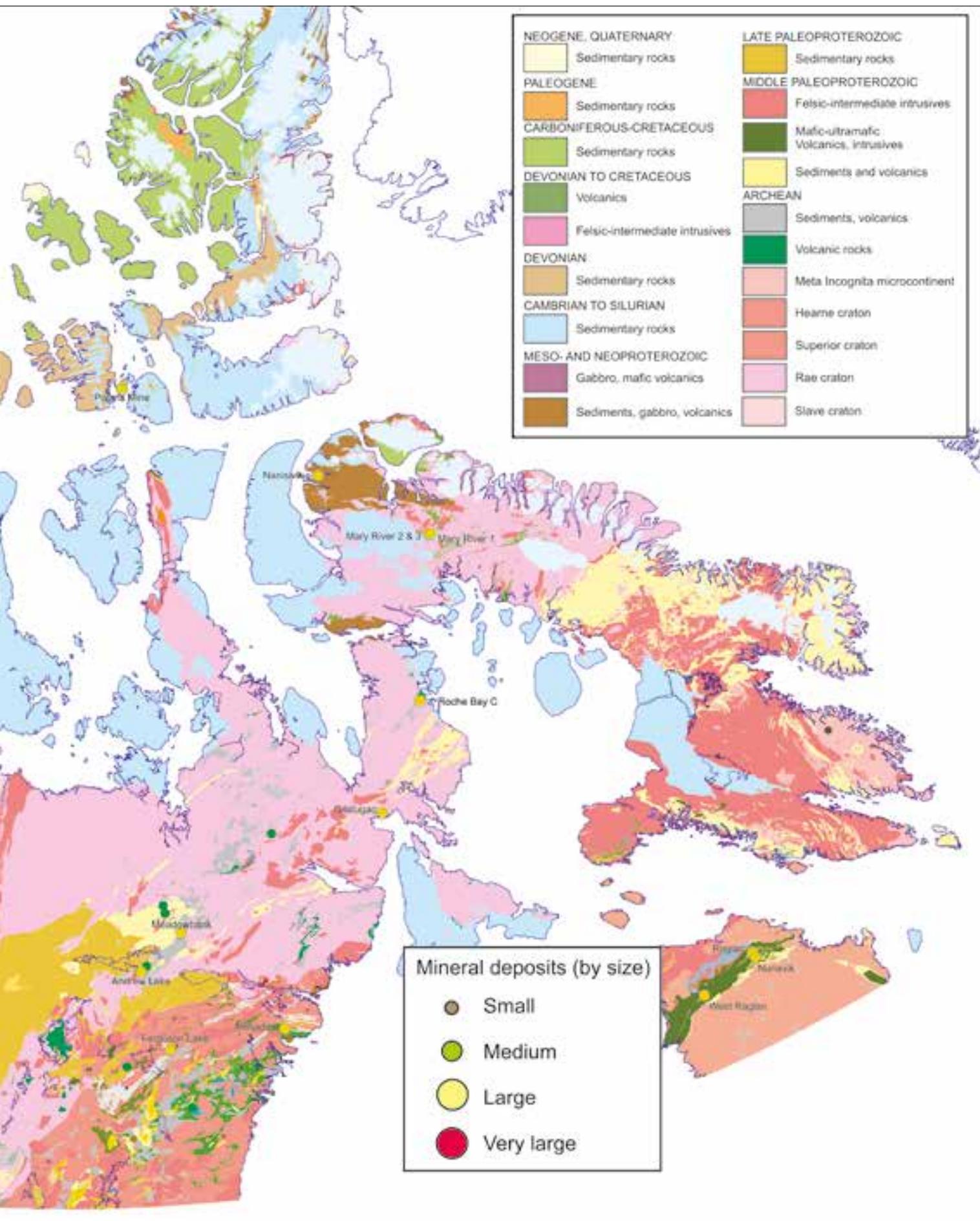


Рисунок 1. Геологическая карта, показывающая расположение и названия месторождений, крупных и очень крупных размеров во всей арктической части Канады.



В этой области также присутствуют месторождения железа, особенно, очень крупным является месторождение Крест в неопротерозойских слоях. На юго-западе шельфовые карбонатные переслаивания уступают место кембрийско-девонским глубоководным отложениям бассейна Селвин, включая сланцы, кремни, карбонаты и турбидиты. Важные ресурсы представлены, содержащейся в сланце, свинцово-цинковой минерализацией, с которой связаны три крупных месторождения на Юконе. В бассейне Селвин также присутствуют ВМС медно-цинковые месторождения, среди которых есть два значительных рудных тела.

В западной части Юкона преобладают юрские и меловые аккретированные террейны и, связанные с ними, гранитные до переходных интрузивные горные породы. Это ключевая область для золота, полиметаллических серебро-свинцово-цинковых жил и никель-медных-ЭПГ. Связанными с мезозойскими интрузиями также являются вольфрамовые и медные скарны и медно-молибденовые порфиры. В добавок ко многим полезным ископаемым Юкона, стоит упомянуть одиннадцать районов россыпного золота, из которых Клондайк является наиболее значительным.

История добычи полезных ископаемых

Первая попытка провести добычу в арктической части Канады была сделана в 1576-1578 годах английской экспедицией во главе с Мартином Фробишером, который идентифицировал золото в роговой обманке на юге Баффиновой Земли и вернулся в Великобританию, с более чем 1000 тоннами добытой золотой руды. Добытый материал был впоследствии определен как не содержащий золото, и экспедиция была, в конечном итоге, в основном, потерей для инвесторов.

Последующая история горного дела в арктической части Канады берет свое начало в поисках россыпного золота на Юконе. Хотя разведка обнаружила золото вдоль реки Юкон еще в 1883 году, так, согласно отчету Джорджа Доусона (Геологическая служба Канады, GSC), непокрытые ледниками западные

области центрального Юкона были определены, как имеющие наибольший потенциал. Значительные запасы золота были обнаружены в речном гравии Бонанза-Крик только в августе 1896 года. Об этом стало широко известно, и в июле 1897 года на Клондайке искателями с западного побережья США, и из многих частей Канады было положено начало большой золотой лихорадки. В общей сложности от 30 000 до 40 000 потенциальных добытчиков пришло в регион с 1897 по 1899 года.

Поиски золота открыли новые месторождения твердых горных пород. В 1890-е годы они включали в себя медь в Кармаксе (1887 г.) и серебро-свинцово-цинковое месторождение в Кено Хилл (1901 г.). Далее были обнаружены новые признаки никелевого оруденения в северном Квебеке (1898 г.), золото вдоль реки Йеллоунайф на северной стороне Невольничьего озера (1898 г.), цинка и свинца в Пайн-Пойнт к югу от Большого Невольничьего озера (1899 г.), и медь, уран и кобальт в Порт Ради на восточной стороне Большого Медвежьего озера (1900 г.). Содержащиеся в карбонатах месторождения в Пайн-Пойнт были низкосодержащими по серебру и, таким образом, привлекали ограниченный интерес горнорудного сообщества в то время. Это было шестьдесят шесть лет до того, как район станет коммерчески ценным.

Существенным стимулом для ведения разведки полезных ископаемых стало начало использования гидропланов в 1920-е годы. Это сделало большие удаленные части страны доступными как никогда ранее и, в немалой степени, было ответственным за открытия 1930-х годов. Это привело к открытию высококачественных уранинита и серебряной руды в 1930 году, что потом стало рудником Эльдорадо. Разработка здесь началась в 1933 году и рудник оставался, в основном, активным вплоть до 1982 года.

Возобновление разведочных работ произошло возле Йеллоунайфа в начале 1930-х годов, что привело к открытию золотых рудников Гигант и Кон в 1935 году и к заложению самого города Йеллоунайф в 1936 году. До пяти шахт были действовавшими в конце 1930-х. Тем не менее, начало войны привело

большую часть этой деятельности к концу. Эта область стала снова значительным центром добычи после войны. Другие золотоносные площади также были обнаружены в этот период, в другом месте в пределах кратона Слейв, в том числе Кариджес Лейк (1944) и Люпин (1960).

1950-е годы были особенно активными в плане разведки никеля в арктической части Канады. Заслуживающими внимания, были следующие, сделанные друг за другом, открытия в Юнгава, Квебек, приведшие к открытию месторождения Раглан (1956) и месторождения Нунавик (1957). К западу от Гудзонова залива появились новые открытия у озера Фергюсона (1950), в Никель Кинг (1952) и на юго-западе Юкона в Велгрине (1952). В этот период были дополнительные новые открытия метасоматической скарновой минерализации. Связанная со скарнами медь была обнаружена на Уайтхорсе уже в 1897 г. Однако, вольфрамовые скарны были только закартированы вблизи границы Юкон-Северо-Западных территорий в Кантунге (1954), а затем и в Мактунге (1962).

События 1960-х годов включали в себя открытия железа на реке Снейк, Юкон (Crest, 1961), на Мэри Ривер на северо-западе Баффиновой Земли (1965 г.) и в Рош-Бей на полуострове Мелвилл (1968-1970). Этот период был также примечателен разведкой медно-молибденовых порфиров на Юконе. Это привело к открытию месторождений Ред Маунтейн (1967) и Казино (1967), и к более позднему открытию вольфрам-молибденового месторождения Логтунг (1976). Новые площади, связанные с железоксидной-медно-золотой (ЖОМЗ) минерализацией, были обнаружены в это время также на месторождении Минто (1971), Юкон. Содержащиеся в карбонате, цинково-свинцовые месторождения также стали коммерчески жизнеспособными в этот период, в частности, Пайн-Пойнт (1965), Поларис на арктических островах (1970), Гайна Ривер (1974), и Нэнисивик на Баффиновой Земле (1976). Следует также отметить, что были открытия, содержащихся в сланце, месторождений (SEDEX-типа) цинка и свинца, включая Анвилл (1953, 1965), Том и Джейсон (1951, 1974) и особенно крупного месторождения Говард Пасс (1972). Последнее было зна-

чительным прорывом через центральную часть Юкона. Вулканогенные массивные сульфиды (ВМС) были также обнаружены на Юконе: Хасельберг (1955) и также на кратоне Слейв, в частности, Хакетт Ривер (1966).

Последним значительным развитием в истории горного дела арктической Канады было открытие, коммерчески значимых, алмазодносных кимберлитов. Это было предвидением двух человек, Чарльза Фипке и Стюарта Блузона, которые отследили минералы-индикаторы кимберлитов в извлеченных из четвертичных ледниковых русловых отложениях (эскер) и, таким образом, "застолбили" годный источник кимберлитов в коренных породах вблизи Лак-де-Грас в центральной части кратона Слейв. Десятилетние старания закончились бурением первого алмазодносного кимберлита в 1991 году. Заявление об их открытии было одним из самых больших прорывов в канадской истории. Помимо изначального месторождения Экати, другие кимберлитовые открытия промышленного значения находятся на Снап Лейк (1994), Даявик (1995), Килалугак (2000-2005) и Чидлиак (2005).

Краткое описание основных месторождений

Неоархейское железо

Два неоархейских месторождения железа, каждое крупных размеров, расположены на кратоне Рае в северо-восточной части Нунавута. Месторождение Мери Ривер расположено в 1000 км к северо-западу от Икалуита на севере Баффиновой Земли. Вторым крупным месторождением является месторождение железа Рохе Бей, которое расположено в 60 км к юго-западу от поселка Санирайк на востоке полуострова Мелвилл.

Наличие железной руды промышленного значения было доказано бурением на Мери Ривер уже в 1965 году. Особого интереса к Мери Ривер не проявлялось вплоть до 2004 года, когда было сделано дополнительное бурение. Пересмотренная оценка неосвоенных ресурсов была представлена в 2006 году (631 млн. т при 66,5% Fe; 362 млн. т при 65,9% Fe). Последним владельцем является корпорация Баффинланд Айрон Майнс (Baffinland

Iron Mines Corporation). Группа Мери Ривер названа по группе, обособлено залегающих, метаосадков в северо-западной части Баффиновой земли. Толщина группы Мери Ривер в непосредственной близости от месторождения железа примерно от 2000 до 4000 м. Наибольшая толщина образований железа выявлена в непосредственной близости от рудных тел: толщина от 52 до 195 м и отслеживается на расстояние до 3,8 км. Однако, девять рудных зон, в основном, имеют линзообразную форму. Разработка началась в 2015 году с добычи 18 млн. т в год на месторождении № 1. Руда достаточно высокого класса и до отгрузки не требуется никакой обработки. В настоящее время добытая руда перевозится грузовиками на северное побережье Баффиновой Земли. Тем не менее, планы отгрузки по железной дороге на южное побережье по-прежнему считаются все еще выполненными. Ледокольный транспорт предназначен для доставки руды с Баффиновой Земли с частотой один раз в два дня круглый год.

Неоархейские вулканогенные массивные сульфиды

Три месторождения вулканогенных массивных сульфидов (ВМС) расположены в северной части кратона Слейв на западе Нунавута. Крупное месторождение Лейк Изок (14,6 млн. т при 2,3% Cu, 13,1% Zn, 1,4% Pb, 0,2 частях на миллион Au, 73 частях на миллион Ag) в северо-западной части кратона Слейв находится в 265 км к югу от залива Корнейшен. Месторождение Хакетт Ривер (82 млн. т при 0,4% Cu, 3,8% Zn, 0,5% Pb, 0,2 частях на миллион Au, 144 частях на миллион Ag) в вулканическом поясе Хакетт Ривер находится в 485 км к северо-востоку от Йеллоунайфа на северо-востоке кратона Слейв. Крупное месторождение Хай Лейк (14 млн. т при 2,5% Cu, 3,8% Zn, 0,4% Pb, 0,2 частях на миллион Au, 84 частях на миллион Ag) в высокогорном озере вулканического пояса Нунавут расположено в северной части кратона Слейв в 40 км к югу от залива Корнейшен.

Железные шляпы Хакетт Ривер были обнаружены в 1956 году. Однако, значительная минерализация не была обнаружена вплоть до 1969 года. Аэро- и наземная геофизика, и другие виды наземной деятельности компаний Коминко Лтд., Сабины Голд и Силвер

Корп., с последующим бурением в 2012 году оценили ресурсы в 82 млн. т со значительным содержанием таких металлов, как цинк, свинец, медь, золото и серебро. В общей сложности есть четыре месторождения на реке Хакетт, в частности, Главное, Джо, Бут Лейк и зона Ист Кливер. Вмещающие горные породы, как правило, включают в себя туф, брекчии и вулканокластические отложения с пластовыми интрузиями дацитового и андезитового составов. Сульфидные зоны включают в себя жерловые фации, связанные с воронкообразными фумаролами и перекрывающими вулканогенными массивными сульфидами, содержащими пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит и галенит.

Пояс Хай Лейк, простирающийся в длину на 70 км и имеющий от 5 до 25 км в ширину, разделен на центральный метаосадочный пояс, который ограничен с востока и запада вулканическими областями. Вулканические области характеризуются преобладанием переходных и фельзитовых вулканических горных пород и песчаных пород вулканического происхождения с возрастным диапазоном от 2705 до 2695 млн. лет. Зоны оксида железа (шляпы), массивные сульфиды и проявления золота являются распространенными. Область Хай Лейк выделяется наличием линз, удлиненных линз и других залежей вдали от самого месторождения. Крупнейшим месторождением является зона АБ, которая имеет размер 200 на 600 м. Минерализация включает в себя массивные до полу-массивных и прожилковые зоны пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита и незначительно галенита. Дополнительные фазы включают в себя магнетит и незначительно гематит. Локальные текстуры включают в себя полосчатый пирит и полости, выстланные друзо-видным кварцем, пиритом и халькопиритом.

Неоархейское орогенное золото

Здесь рассматриваются месторождения орогенного золота неоархейского возраста, которые все расположены на кратоне Слейв на Северо-Западных территориях. Рудник Гигант (15,5 млн. т при 15,8 ppm Au) находится на западной стороне залива Йеллоунайф и на северном берегу Большого Невольничьего озера. Он расположен в субмеридионально-простирающемся вулканическом

поясе Йеллоунайф. Рудник Гигант, вместе с близлежащим рудником Кон (10,7 млн. т при 17,1 ppm Au), являются крупнейшими месторождениями золота кратона Слейв (по размеру после месторождений Гуз Лейк: 24,8 млн. т при 6,3 ppm Au, Кориджес Лейк: 156,5 млн. т при 2,3 ppm Au, и Люпин: 12,8 млн. т при 10,1 ppm Au). Хотя рудники Гигант и Кон и разделены разломами, они, как правило, считаются частями единого рудного месторождения.

Золото добывалось на руднике Гигант около Йеллоунайфа с 1948 по 2004 год. Золотоносные сдвиговые зоны наблюдаются в формации Йеллоунайф Бей (возраст 2710-2700 млн. лет) и в кислых туфах, и порфирах формации Таунзит. Рудное золото также встречается в более молодой формации Джексон Бей (метаосадки) и в вышележащей группе Бантинг (возраст 2670-2660 млн. лет; фельзитические туфы и мафические вулканиты). В общем, рудник Гигант ограничен с трех сторон разломами, а на востоке группой Бантинг и формацией Джексон Бей. Рудник Гигант классифицируется, как кварц-карбонатная сдвиговая зона, вмещающая жильные месторождения. Минерализация встречается в виде: 1) полос кварца и сульфидов, чередующихся с серицит-карбонатным сланцем; 2) серицит-карбонатного сланца с матрицей кварца и сульфидов, а также; 3) складчатых и фрагментированных кварц-карбонатных жил.

Золото было обнаружено в районе Люпин работниками канадской компании Никель Лтд. (Канико) в 1960 году, и разрабатывалось подземным способом компанией Эчо Бей Майнес Лимитед с 1984 по 2004 год. Шахта в настоящее время (по состоянию на 2012 год) готовится к возобновлению добычи компанией Елджин Майнинг Инк. Пять рудных зон приурочены к образованиям метаморфизованного железа, и месторождение идентифицируется, как железистая формация, содержащая золото. Железистая формация включает в себя силикатные, сульфидные и оксидные типы. Железистая формация Люпин прослеживается на 3 км и на глубину 1500 м. Вмещающими породами являются роговообманково-кварц-хлориты самородного золота + - пирротин, арсенопирит и леллингит в зонах оруденения (Рисунок 2). В



районах минерализации, в принципе, присутствуют от 5 до 30% сульфидов. Характерными размерами рудных зон являются - Западная зона: длиной 220 м x 2,5 м толщиной; Западная зона Юг: 300 м x 2,0 м; Центральная зона: 225 м x толщиной 5 м. Зоны М1 и М2 в значительной степени выработаны, но вниз падающий потенциал остается.

Палеопротерозойское месторождение редкоземельных элементов

Проявления урана на северном берегу Большого Невольничьего озера впервые были зарегистрированы в области Тор Лейк в 1970 году. Ниобий (Nb) и тантал (Ta) были впоследствии обнаружены в 1976 году компанией Хайвуд Ресурсес Лтд. Разведочные работы и бурение скважин с 1976 по 1979 г. привело к открытию Nb, Ta, Y (иттрия) и редкоземельных элементов (РЗЭ). Крупное месторождение Нечалачо (304,6 млн. т при 2335 ppm Nb, 196 ppm Ta, 1,2% РЗЭ, 1,8% Zr), пока не разрабатывается, и находится в пределах комплекса Блэтчфорд Лейк, который внедрен в кратон Слейв севернее от восточного рукава Большого Невольничьего озера. На основании тесных взаимосвязей, три различных позднефазовых интрузии задокументированы в непосредственной близости от месторождений: гранит Лейк Грейс, сиенит Тор Лейк (возраст 2177 млн. лет), и слоистая свита Нечалачо (возраст 2164 млн. лет). Слоистая свита Нечалачо содержит нефелин, содалит, редкие минеральные фазы, такие как эвдиалит (циркониевый силикат) и так называемую "базовую зону", которая вмещает месторождения полезных ископаемых (Рисунок 3).

Рисунок 2. Люпин: железистая формация, вмещающая стратиформное золото. Мышьяк-обогащенная золотоносная сульфидно-железистая формация, показывающая сульфидно-арсенидные мегакристы, распределенные вдоль напластования. Масштабная шкала составляет 1 см. GSC 1995-201A;

Рисунок 3. Нечалачо: эвдиалитовые псевдоморфозы в фойяите (базальная зона) (В. Мёллер, Университет Макгилла).



Рудные минералы (от 4,6 до 9,1%) представляют собой частично переработанную ассоциацию и включают в себя алланит, монацит, бастнезит и синхизит (источники легких РЗЭ), фергусонит (для Y, тяжелые РЗЭ, Nb, Ta), ферроколумбит (Nb) и циркон (тяжелые РЗЭ, Nb, Ta, Zr).

Палеопротерозойские никель-медные РЗЭ,- содержащиеся в габбро

Канадская компания Никель Лтд. (Канико) обнаружила никель на Фергюсон Лейк в 1950 году. Восточная и западная зоны разбуривались с 1950 по 1955 г., что привело к открытию значительных ресурсов до глубины 240 м. Рудные зоны, еще не эксплуатируемые, были доказаны на востоке и на западе от озера Фергюсон, а также под самим озером. Вмещающими магматическую Ni-Cu-РЗЭ минерализацию являются габбро и роговая обманка. Это же тело толщиной от 10 до 600 м прослеживается на расстояние 12 км. Наибольшее содержание обнаружено в линзах, удлиненных линзах и жилах (от 2 до 10 метров толщиной) массивной до полу-массивной руды, состоящей из 80-90% пирротина, меньше халькопирита, пирита и пентландита (46 млн. т при 1% Cu, 0,7% Ni, 0,06% Co, 0,2 частях на миллион Pt, 1,3 частях на миллион Pd). Также были обнаружены металлы

платиновой группы, включая теллуриды, индий, висмут и арсениды. Другие текстуры включают в себя брекчированные руды (обломки габбро в сульфидной основе) и чисто-текстурированные руды, замеченные в жилах и зонах заполнения трещиноватостей.

Палеопротерозойские ультрамафитовые породы, вмещающие никель-медные РЗЭ

Большие Ni-Cu-РЗЭ месторождения промышленного значения вмещаются палеопротерозойскими ультрамафитами пояса мыса Смита на севере Юнгава (провинция Квебек). Пояс мыса Смита (возраст от 2040 до 1860 млн. лет) интерпретируется как стопка перемещенных с юга надвиговых пластин, состоящих из кварцита, семипелита, железняка и габбро-перидотитов в нижней части (группа Повунгнитюк) и базальта и габбро-перидотитов в верхней части (группа Чукотат). Никель-медно-РЗЭ месторождения расположены, в основном, в перидотите Чукотат. Здесь описано месторождение Раглан (48,6 млн. т при 0,9% Cu, 3,2% Ni). Однако, подобные комментарии могут также применяться к рудным телам Западного Раглана и Нунавика.

Разведка производилась нерегулярно в поясе мыса Смита и районе месторождения Раглан с 1930-х годов с первыми показателя-



Рисунок 4. Мелиадин: гидротермально измененные оксидные фации железистой формации, примыкающие к скрытым и арсенирит-обогащенным жилам кварца. GSC 2015-115.

ми высокого содержания, обнаруженными старателями в 1956 году. Преобладающая разрабатываемая минерализация на Раглан является подошвенной контактного типа, состоящая из вкрапленных, сетчато-текстурированных и массивных пирротина, пентландита и халькопирита, содержащихся в более, чем 140 линзах, расположенных от поверхности до глубины 750 м. Размер линз в диапазоне от 0,01 до 5,2 млн. т, в среднем на 0,2 млн. т. Базальный слой в каждой линзе, как правило, массивный, перекрываемый сетчато-текстурированной рудой, что стремится к рассеиванию. Массивная до полу-массивной брекчированная руда также встречается и состоит из смеси подошвенных осадков и ультрамафитовых горных пород. Рудные линзы, как правило, встречаются в прогибах у основания ультрамафических пластин. Точно так же, интрузии в форме каное имеют килевую зону сульфидных линз; размер: от 10 до 100 метров в длину. Разработка месторождения Раглан началась в 1997 году. Добытая руда обогащается на месте, а затем перевозится грузовым судном и поездом через Квебек-Сити на металлургический комбинат в Садбери.

Палеопротерозойское орогенное золото
Золотые месторождения предполагаемого

или установленного палеопротерозойского возраста размещаются в неоархейской железистой формации на кратонах Рае и Херн на юго-западе провинции Нунавут. Упомянутое здесь крупное месторождение Медоубанк кратона Рае (27,5 млн. т при 3,3 частях на миллион Au) и крупное месторождение Мелиадин (48,3 млн. т при 6,5 частях на миллион Au) кратона Херн находятся к западу от Гудзонова залива.

Месторождение Мелиадин, еще неразрабатываемое, было открыто разведкой и бурением в период с 1987 до 2004 года. Оно расположено на западной стороне Гудзонова залива в вулканическом поясе Ранкин Инлет, части кратона Херн. Месторождения и проявления золота тесно связаны с простиранием Мелиадина; западно до северо-западно простирающегося пояса супракратальных пород, который включает в себя основную структуру, разрыв Пайк. Это зона сильной деформации несколько километров в ширину, которая пространственно связана с семью известными месторождениями золота. Предполагается, что оруденение произошло во время третьей деформационной фазы в палеопротерозое. В принципе, золотая минерализация связана со сдвигами и образованием кварцевых прожилков во время

палеопротерозойского орогенеза Транс-Гудзон. Золото-вмещающий кварц встречается в виде мощных несколько метровых жил, но уменьшающихся в размере до беспорядочных прожилков и штокверков. Типичная минералогия жилы включает в себя кварц и кварц-железистый карбонат. Первичные сульфиды, внедренные во время минерализации, встречаются в железистых формациях и аргиллитах как тонкие прерывистые пластинки пирротина, пирита, халькопирита и арсенопирита (Рисунок 4). В то же время, сульфиды не являются надежным маркером хорошего содержания золота.

Палеопротерозойские полиметаллические жилы

Горные породы, вмещающие уран и арсенид серебра жильных месторождений, находятся в пределах батолита Грейт Беар (возраст от 1870 до 1840 млн. лет). Это западная область орогена Вомпей, магматического и коллизийного пояса деформаций, который образовался в результате столкновения террейна Хотт на западе и кратона Слейв на востоке. Включенными в эту категорию месторождений являются рудники Эльдорадо и Эчо Бей в районе Порт-Радия на Большом Медвежьем озере.

Месторождения серебра и урана в районе Порт-Радия расположены вдоль восточного берега Большого Медвежьего озера, Северо-Западных территорий. К ним относится бывший урановый и серебряный рудник Эльдорадо (1,82 млн. т при 0,12% Cu, 0,01% Pb, 137 ppm Ag, 0,01% Ni, 0,1% Co, 0,34% U) и серебряное месторождение Эчо Бей. Разработка Эльдорадо началась в 1933 г. и добыча продолжалась, более или менее непрерывно, вплоть до 1982 г.. Рудные месторождения металлов связаны с крутыми разломами северо-восточного простирания в андезитовых отложениях магматической зоны Грейт Беар. Самая ранняя минерализация редкого халькопирита и настурана в кварце, видимо, заполняла эти хрупкие разломы. Все это затем было пронизано диабазовыми дайками Кливер возрастом 1740 млн. лет. Пост-Кливер реактивация привела, в общей сложности, к пяти нижеописанным этапам минерализации. Этап 1: настуран; 2-ой этап: арсениды, никелевые сульфиды, самородное серебро и

самородный висмут; Этап 3: полиметаллические сульфиды и теллуриды серебра; Этап 4: карбонаты, самородный висмут и немного самородного серебра; Этап 5: самородное серебро и висмут.

Палеопротерозойское несогласие - уран

Неразрабатываемое месторождение Киггавик расположено в 80 км к западу от озера Бейкер в регионе Киваллик Нунавута и находится в фундаменте, но возле структурного несогласия под палеопротерозойским бассейном Телон. Исследования в регионе уже продолжаются с 1970 года. Главная зона Киггавика (ГЗК) и два других месторождения были обнаружены в 1974 году озерно-водными геохимическими методами и аэрорадиометрией. Проект в настоящее время состоит из пяти урановых месторождений, три на Киггавике и два расположены отдельно. Четыре из этих месторождений должны будут разрабатываться открытым способом и одно подземной разработкой. Впоследствии, другие открытия были сделаны у озера Эндрю и в Ингриде в 15-17 км к юго-западу от Киггавика. Эти месторождения находятся в фундаменте сразу за пределами палеопротерозойского суббассейна Абердин на северо-востоке бассейна Телон. Вмещающими породами в Киггавик являются неоархейские граувакки с незначительной железистой формацией и метапелитом, несогласно перекрываемые риолитом (содержащим руду) возрастом 2600 млн. лет и раннепалеопротерозойским кварцитом (пустая порода). Три рудные зоны, обнаруженные на сегодняшний день, включают в себя Восточную (ВЗ), Главную (ГЗК) и Центральную (ЦЗ) зоны. Наибольшей зоной является ГЗК, вмещаемая граувакками и гранитами. Минералы урановых руд расположены в виде мелких вкраплений, прожилков параллельных слоистости и заполнений трещин.

Железооксидные-медно-золотые (ЖОМЗ) месторождения

Они включают в себя месторождение НИКО в баттолите Грейт Беар и месторождения Кармакс и Минто (оба крупные), расположенные в канадских Кордильерах центрального Юкона. Месторождение НИКО расположено в непосредственной близости от озера Мазенод, в 160 км к северо-западу от Йеллоу-

найфа. Минерализация была обнаружена в этом районе в 1930-е годы. Первые работы на месторождении на Co-Bi-Cu арсенидовые показатели были проведены компанией Нью Алтона Майнс Лтд с 1968 по 1970 год. Бурение обнаружило дополнительное проявление золота. Новые открытия были сделаны компанией Фортуна Минералс Лтд, которая приобрела НИКО в 1994 году и распознала схожесть с месторождением мирового класса Олимпик Дам в Австралии. Вмещающими породами на НИКО являются брекчированные обломочные отложения и доломиты, модифицированные внедрением железа и калия. Они интерпретируются как гидротермальные брекчированные трубки (есть и другие интерпретации). Брекции имеют осадочные и фельзитовые обломки в матрице из оксидов железа, биотита, амфибола, хлорита, К-полевого шпата. Месторождение НИКО (30,9 млн. т при 1,12 ppm Au, 0,12% Co), еще не разрабатывается, в основном, вмещается магнетитовым железняком, сланцами и субаркозовыми вакками, содержащими 3-10% сульфидов.

Месторождение Минто (110 млн. т при 1,65% Cu, 0,58 ppm Au, 5,0 ppm Ag) расположено в пределах террейна Юкон-Танана канадских Кордильер, который содержит медный пояс Кармакс и несколько интрузий, связанных с Cu-Au гидротермальными системами. Было распознано пять минерализованных зон. Первичная минерализация состоит из халькопирита, борнита, халькозина и других сульфидов. Текстуры включают в себя вкрапления и сульфидные прожилки параллельные слоистости. Содержание увеличивается в зонах интенсивной складчатости. Есть также зоны массивных и полу-массивных сульфидов, которые изменяют первичную структуру вмещающих пород. В главном месторождении Минто есть зональность, обогащенная борнитом (до 8%) на западе и обогащенная халькопиритом, но более низкого качества, на востоке. Содержание драгоценных металлов также выше в зоне борнитов.

Стратифицированные месторождения цветных металлов

Стратифицированные месторождения канадских Кордильер на Юконе и на Северо-Западных территориях находятся в платформенных и глубоководных осадочных слоях

от неопротерозойского до каменноугольного возраста. К ним относятся железистые отложения неопротерозойского и юрского возрастов, цинково-свинцовые месторождения, размещенные в мезопротерозойских и девонских шельфовых карбонатах, цинково-свинцовые месторождения, обнаруженные в глубоководных отложениях от кембрийского до девонского возраста и вмещаемые вулканическими породами месторождения, которые образовались в вулканических породах палеопротерозойского до миссисипского возраста.

Неопротерозойские и более молодые месторождения железа

Описанное здесь, очень крупное, неопротерозойское месторождение железа Крест (3200 млн. т при 43% Fe) расположено в районе верховьев рек Снейк и Боннет Плюм в горах Маккензи, на севере Юкона.

Месторождение было открыто в 1961 году геологами компании Стандарт Оил Компани, которые идентифицировали разрезы, толщиной от 10 до 30 м, с железистыми формациями яшмового гематита. Последующая разведка установила, что месторождение может содержать 15 млрд. тонн железной руды. Тем не менее, оценки компании Кайзер Инджинирингс на 1998 год показали, что отложения являются непромышленными. Железистая формация состоит из мелкозернистого зеркального гематита с чередующимися полосами, обогащенными яшмой (Рисунок 5). Это прослеживается на расстояние 51,5 км. Промышленно значимые месторождения железа находятся на 305 м выше контакта неопроте-

Рисунок 5. Месторождение Крест: Валунная полосчатая яшма и зеркальный гематит. Почковидный гематитовый слой в верхней части (Геологическая служба Юкона).



розоя и суб-рапетия. Эта зона достигает максимальной толщины 120 м, из которых от 85 до 105 м являются железистой формацией. Сланцевый конгломерат является наиболее значимой литологией между слоями железистой формации. Типы железистой формации включают в себя узловую, полосчатую и нерегулярные срастания гематита и яшмы. Среднее содержание железа составляет 43%. Основной примесью является апатит.

Карбонат-вмещаемые месторождения

Карбонат-вмещаемые свинцово-цинковые месторождения расположены на канадских арктических островах (месторождение Полярис: 20,1 млн. т при 13,4% Zn, 3,6% Pb и месторождение Нэнисивик: 17,5 млн. т при 9% Zn, 0,7% Pb, 41 ppm Ag), вдоль северного края Западно-Канадского осадочного бассейна (месторождение Пайн-Пойнт: 101 млн. т при 5,6% Zn, 2,4% Pb) и в горах Маккензи, наибольшее неразрабатываемое месторождение Гайна Ривер (50 млн. т при 4,7% Zn, 0,3% Pb) и неразрабатываемое месторождение Прейри Крик (11,7 млн. т при 0,4% Cu, Zn 12,8%, 10,9% Pb, 197 ppm Ag).

Месторождение Пайн-Пойнт расположено в 800 км к северу от Эдмонта вблизи южного берега Большого Невольничьего озера. Отгрузка высококачественной руды компанией Коминко Лтд была начата в 1965 году и продолжалась до закрытия шахты в конце 1980-х годов. В среднем девоне, карбонатный барьер (риф Прескиль) образовался вдоль юго-западно простирающегося хребта фундамента в открытых морских условиях на севере и с ограниченными зарифовыми фациями (лагуна Эльк Пойнт) на юге. В общей сложности насчитывается 97 известных месторождений в пределах трех северо-западно простирающихся рудных зон, распределенных по длине простираения на 68 км при ширине 6 км. Сорок восемь из этих месторождений разрабатывались компанией Коминко Лтд до 1990 года. Месторождения имеют форму вертикальных трубок (карстовые эоловые столбы) и пластинчатых тел, которые расположены вдоль бывших каналов приповерхностных потоков. Сфалерит распространен в шаровидных коллоидных (колломорфных) массах. Галена присутствует в виде уплотнений внутри сфалерита. Другие родственные руд-

ные фазы включают в себя марказит, пирит, пирротин, немного целестина, барит, гипс, ангидрит и флюорит. Также присутствуют битум и пиро-битум, в частности, в условиях углеводородной ловушки над рудными телами. Сероводородный газ также был задокументирован.

Сланцем-вмещаемые (осадочно-эксгальтивные) месторождения

Осадочно-эксгальтивные (типа SEDEX) месторождения являются важными цинковыми и свинцовыми ресурсами на Юконе. К ним относятся крупные месторождения в области Анвил (раннекембрийские Фаро, Дай, Грум, Свим, Вангорда), потенциально очень крупное Говард Пасс (ранний силур), и крупные Том и Джейсон (поздний девон) рудные тела.

Горнодобывающий лагерь Анвил (Рисунок 6) расположен к северо-востоку от Уайтхорса недалеко от города Фаро. Месторождение Фаро (53,2 млн. т при 5% Zn, 3,4% Pb, 0,3 ppm Au, 33 ppm Ag) является одним из пяти значимых месторождений, открытых в период с 1953 по 1965 год в горнодобывающем лагере Анвил на центральном Юконе. Эксплуатация открытым способом началась на Фаро в 1969 году, а разработка полезных ископаемых на нескольких других месторождениях в начале 1990-х годов. Все работы были прекращены в 1997 году. Пять известных месторождений связаны с интервалом толщиной 150 м, который охватывает нижнекембрийскую формацию Маунт Мие и кембрийско-ордовикскую формацию Вангорда. Сульфидные линзы были прослежены латерально в карбонатном пелитовом блоке, который был идентифицирован как подводный гидротермальный слой, образованный путем излияния горячих металлогенических рассолов на морском дне.

Месторождение Ховардс Пасс расположено вдоль границы Юкон-Северо-Западных территорий с большей частью, расположенной на Юконе. Месторождение Ховардс Пасс (388,5 млн. т при 4,9% Zn, 1,6% Pb), пока не эксплуатируется, было обнаружено в 1972 году после программы разведки речных осадков в 1971 году, что ускорило освоение. 218 скважин были пробурены с 1973 по 1981 год и также в 2000 году. Проверка в условиях



Рисунок 6. Анвил: шахта Фаро на Юконе, включая открытый карьер, отвалы, шахтные дороги и шахтные сооружения (Геологическая служба Юкона).

насыщения на сульфидные отложения произошла в 1980 и 1981 годах. Раннесилурийский полезный интервал содержит цинковую и свинцовую минерализацию. Этот интервал колеблется от 0 до 60 м в толщину и содержит девять вклинивающихся фаций, наиболее заметен беловато-серый свинцово-цинковый аргиллит. Это слоистый кремнистый блок, содержащий до 70% сульфидов, состоящих из кварца, сфалерита, галенита и немного пирита (Рисунок 7). Полезный интервал был прослежен по простиранию на 37,5 км в пределах которого находятся 15 месторождений. Минерализованный горизонт, как правило, толщиной от 20 до 30 м и минералогически последовательный по всей площади. Тем не менее, более высокое содержание и более крупные размеры зерен встречаются в зонах ХУ, Дон и Аннив.



Рисунок 7. Ховард Пасс: трещиноватая высокосортная руда из Селвин: деформированные тонко-ламинированные сульфиды (галенит и сфалерит) во вмещающих темных сланцах (Геологическая служба Юкона).

Месторождения Том и Джейсон (31 млн. т при 6,6% Zn, 3,8% Pb, 38,6 ppm Ag), еще не разрабатываются, но доступны благодаря дороге Канол из Росс Ривера, Юкон. Разведываемая площадь Том была впервые исследована компанией Гудзон Бей Эксплорейшн Девелопмент Компани Лтд (ГудБей) в 1951 году. Поверхностная оценка и незначительное бурение проводились с 1951 по 1953, и вновь с 1967 по 1968 года. Подземная оценка

началась в 1970 году, включая в себя проверку в условиях насыщения и металлографию. Месторождения Том и Джейсон расположены вдоль восточного края, большей частью глубоководного бассейна Селвин. Месторождения находятся в структурной области с турбидитами из нижней группы Еарн. Гидротермальные фации включают в себя анкерит и кварцевые жилы, содержащие пирит, халькопирит и галенит. Сульфидно-баритовая минерализация проявляется как пластинки в осадковмещающих породах, так и в совокупности находится в стратиформных линзах до 40 м в толщину и прослеживается на почти 1200 м по простиранию. Промышленные минералы включают в себя от мелко- до крупнозернистых сфалерита и

галенита. Минерализация отдельно идентифицирована как серые фации (розовый сфалерит, галенит, пирит и серый барит) или как черные фации (черный аргиллит, кремовый сфалерит, галенит и пирит). В совокупности эти две фации составляют большую часть минерализации.

Девонско-миссисипские вулканогенные массивные сульфидные (ВМС) месторождения
Месторождения, вмещаемые вулканическими породами палеозойского возраста, были обнаружены, в первую очередь, в девонских и миссисипских слоях района озера Финлейсон на центральном Юконе (самым крупным, и в настоящее время, подготовленное для подземной добычи, является Волверин: 6,2 млн. т при 1,2% Cu, 12,2% Zn, 1,6 % Pb, 1,7 ppm Au, 363 ppm Ag), а также и Хассельберг (4,1 млн. т при 6,2% Zn, 1,8% Pb, 84 ppm Ag), которое не эксплуатируются.

Месторождение Хассельберг (Вольф) расположено к юго-западу от разлома Тинтина в горах Пелли к юго-востоку от реки Росс. Месторождение находится в пределах позднедевонско-раннемиссисипского вулканического пояса Пелли, части платформы Пелли-Касиар, состоящей из вулканокластических слоев, туфа лапилли, аргиллитов и небольшого количества потоков трахита, пластовых интрузий и дайк. Пластовый барит и массивные сульфиды переслаиваются с этими слоями. Месторождение Хассельберг состоит из двух массивных сульфидных линз в совокупности шириной до 1200 м и протягивающихся на глубину 500 м, подстилающихся андезитовыми туфами и перекрывающиеся риолитовым туфами и порфирами. Верхняя часть месторождения выделяется присутствием линзовидного барита и вкраплений пирита, сфалерита и галенита. Бурение в 1997 и 1998 годах показало возможность того, что месторождение лежит на опрокинутом крыле складки: жильная минерализация вверху и эксгалит внизу. В среднем месторождение толщиной от 3 до 5 м и состоит из пирита с полосчатыми янтарными сфалеритом и галенитом, или гроздевидными сфалеритом и галенитом в матрице Fe-Mg карбоната и в меньшей степени барита.

Триасовые месторождения, содержащиеся в ультрамафических горных породах - никель, медь и ЭПГ

Крупное месторождение Веллгрин (461 млн. т при 0,3% Cu, 0,2 ppm Au, 0,3% Ni, 0,02% Co, 0,4 ppm Pt, 0,34 ppm Pd), подготовлено к разработке открытым способом, находится в 317 км к северо-западу от Уайтхорса на юго-западе Юкона. Месторождение расположено в пределах супертеррейна Инсулар, состоящего из террейнов Врангел и Александер, которые объединились примерно 320 млн. лет назад. Вмещающая порода Веллгрин находится в пределах ультрамафитового пояса Клуане, который расположен в пределах Врангелии и состоит из триасовых излившихся базальтов и, связанных с ними, интрузивных пород. Месторождение Веллгрин локализовано вдоль нижней зоны контакта верхнетриасовой пластовой интрузии, часто называется комплексом Кьюил Крик. Минерализация проявляется у основания перidotитового тела, внутри которого находятся массивные сульфидные линзы, а также скарновая зона в карбонатной подошве напластования. Протяженность составляет 1500 м при 700 м в ширину. Типичные рудообразующие особенности включают в себя никель-медные сульфиды в вкрапленной, сетчато-текстурированной, полумассивной и массивной минерализации.

Миссисипские полиметаллические месторождения - серебро, свинец и цинк

Крупное месторождение Кено Хилл (7,2 млн. т при 4,4% Zn, 5,3% Pb, 1107 ppm Ag) расположено на центральном Юконе в 500 км по всепогодной дороге из Уайтхорса. Разведка и разработка датируются началом 1900-ых. Окончание эксплуатации произошло в 1989 году. Большая часть минерализации находится в базальном кварцитовом интервале миссисипского кварцита Кено Хилл. Эта единица состоит из тонко- до толсто-слоистого кварцита и графитового филлита. Серебряная минерализация вмещается серией разломных жил северо-восточного простирания с левым латеральным и сбросовым смещением. Эти жилы могут быть до 30 м в ширину. Жильная минералогия осложняется тем, что имели место множественные пульсы гидротермальной активности, воздействовавшие на эту систему. Это привело к реактивации

жил и, связанного с ними, брекчирования. Серебро, в основном, расположено в серебро-содержащем галените и серебросодержащем тетраэдрите (фрейбергите).

Меловые эпитермальные месторождения - золото

Площадь находится в 200 км к северо-западу от Уайтхорса. Рудное золото впервые было обнаружено на горе Фриголд в 1930 году, что стало причиной ускоренной разработки в 1931 году. Работа была продолжена с перерывами в 1950-е годы, когда интерес сместился в сторону порфириновых месторождений. Исследование почвы в 1960-е годы привело к открытию месторождения Нуклеус. Связанным с неразрабатываемым месторождением Голден Ревенью (232 млн. т при 0,02% Mo, 0,08% Cu, 0,43 ppm Au, 2,0 ppm Ag) является Ревенью брекчия. Матрицей является кварцевый полево-шпатовый порфир. Брекчия, как правило, видоизменена в глину и карбонат и также содержит пирит и оксиды меди. Минерализация содержится внутри Ревенью брекчии и во вмещающих гранодиоритах. Минерализация, как правило, рассматривается как порфириновые жилы, штокверки и вкрапленные сульфиды. Минералы промышленного интереса включают в себя самородное золото, халькопирит и серебро с незначительным количеством молибденита и шеелита.

Меловые порфириновые месторождения - медь и молибден

Классические порфириновые месторождения Кордильер на Юконе по-разному содержат халькопирит, молибденит, золото и вольфрамовые минералы и включают в себя Казино (2753 млн. т при 0,16% Cu, 0,02% Mo, 0,2 ppm Au, 1,5 ppm Ag), Логтунг (19,2 млн. т при 0,03% Mo, 0,08% W) и Ред Маунтейн (187 млн. т при 0,1% Mo).

Очень крупное, но, в основном, не эксплуатируемое, месторождение Казино расположено на хребте Даусон в 300 км к северо-западу от Уайтхорса на западе центральной части Юкона. Россыпи были впервые отмечены в 1911 году. Жилы, обогащенные серебром, периодически разрабатывались с 1963 по 1980 года. Порфириновый потенциал начал исследоваться с 1967 года. Горные породы хребта Даусон

представлены девонско-миссисипской метаморфической свитой Волверин Крик и меловыми интрузиями в батолите Доусон Рендж. Типы оруденения включают в себя минерализацию поверхностного выщелачивания; минерализацию выветрелых оксидных зон; минерализацию выветрелых зон сульфидов; и первичную (неизмененную) минерализацию. Зона оксидов заметно обогащена медью и, как правило, толщиной 10 м. Сопутствующие минералы включают в себя халькантит, малахит, брокантит и другие. Зона сульфидов заметно обогащена медью и содержит дигенит, халькозин, немного ковеллина, борнит и медьсодержащий гетит. Ниже зоны выветривания, неизменная минерализация обычно встречается в штокверковых жилах и в брекчиях. Она состоит из тонко вкрапленных пирита, халькопирита, молибденита и немного сфалерита и борнита.

Крупное неразрабатываемое месторождение Логтунг находится в 260 км к юго-востоку от Уайтхорса, Юкон, в 130 км к юго-западу от разлома Тинтина в террейне Юкон-Танана. Порфириновое вольфрам-молибденовое месторождение Логтунг характеризуется кварцевым жильным штокверком и серией расслоенных жил, сосредоточенных на кварцевом полево-шпатовом интрузивном комплексе, одной из нескольких интрузий, что обогащены вольфрамом, молибденом и фтором. Хотя скарны и присутствуют, но рудные минералы связаны с жилами и с открытыми трещинами. По этой причине Логтунг считается порфириновым месторождением, а не скарнового оруденения. Тем не менее, месторождение подстилается скарном и, связанными с ним, метаосадочными породами. Минерализованная зона имеет размер 2,5 км на 1,0 км и простирается вдоль северной и западной окраин кварц-монзонитового штока. Минерализация также распространяется в шток и тесно связана с порфириновыми дайками.

Меловые медные и вольфрамовые скарны

Скарновая минерализация развита вблизи меловых интрузивных пород, в первую очередь вдоль границы Юкон-Северо-Западных территорий. В этом регионе находится вольфрамовый рудник Кантунг (11 млн. т при 0,8% W) и другие промышленно значимые месторождения, которые включают в себя

Рисунок 8. Вид с высоты птичьего полета на рудник Экати корпорации Доминион Диамонд на Северо-Западных территориях (корпорация Доминион Диамонд).



крупное, но неразрабатываемое месторождение Мактунг (45 млн. т при 0,7% W) во внутренней части Юкона.

Мактунг было обнаружено и рекогносцировано в 1962 году при помощи поверхностной геологии и геофизики с 1963 по 1967 год, бурение началось в 1968 году, а подземные отборы проб с 1973 по 2005 год. Месторождение Мактунг находится в восточной части бассейна Селвин, области глубоководных осадков, которые накапливались от неопротерозоя до среднего девона. Признано наличие пяти интрузивных свит, в том числе свиты Тунгстен, датированной от 97 до 92 млн. лет. Само месторождение имеет возраст 97,5 млн. лет, что старше, чем U-Pb возраст соседнего штока (92,1 млн. лет назад). В Мактунг есть две минерализованные скарновые зоны, разделенные 100 м локально метаморфизованными сланцами и алевролитами. Все это пронизано многочисленными прожилками, содержащими пирит, пирротин, шеелит и молибденит. Состоит из девяти картированных структурных единиц, четыре содержат вольфрамовые руды, и вся последовательность образует опрокинутую складку с неглубокой осевой поверхностью.

Алмазоносные кимберлиты

Хотя сотни кимберлитовых трубок были

обнаружены в архейском кратоне Слейв и в архейских частях кратонов Рае и Херн, большинство из них являются изолированными и небольшими или непродуктивными. Указателем промышленной значимости является близость ряда алмазоносных трубок. Описанными здесь являются разрабатываемые рудники Экати и Дьявик на Северо-Западных территориях кратона Слейв.

Экати находится в 300 км к северо-востоку от Йеллоунайфа в центре кратона Слейв и включает в себя алмазный рудник Экати, в настоящее время владельцем является компания Доминион Диамонд Корпорейшн, 150 кимберлитов, 17 содержащих макроалмазы и четыре разрабатываемые трубки (Рисунок 8). Этапы фазы разведки включали в себя отбор речных, флювиогляциальных и тиллевых проб, а также магнитную и электромагнитную геофизические съемки. Эти методы послужили для нахождения кимберлитовых целей. Кимберлиты являются преимущественно внедрившимися в архее плутоническими породами на пересечениях линейментов, вдоль даек, а также на пересечении даек. Тридцать кимберлитов имеют возраст от 75 до 45 млн. лет. Большинство из них являются крутыми и внутрь сужающимися конусами, но существует целый спектр форм. Средний размер в диапазоне от 0,1 га до 5,0 га до мак-

симум 20 га. Хотя большинство из них оди-ночные трубки, комплекс Мисери состоит из восьми различных тел. Вкладом в улучшение содержания может быть синседиментаци-онное обогащение и сортировка, связанная с массовым потоком. Содержание алмазов обратно пропорционально разбавленным субстанциям, таким как горная порода, со-стоящая из мелких частиц и пепла. Алмазное изобилие тесно коррелируется с содержа-нием оливина и других мантийных материалов, включая эклогитовый гранат, хромиты и хромдиопсиды. Эти минералы также показа-ли свою полезность в качестве индикаторов алмазов во время работ по отбору проб море-новых отложений.

Рудник Дьявик, в настоящее время владель-цем является компания Доминион Диамонд Корпорейшн, находится в 295 км к севе-ро-востоку от Йеллоунайфа в центре крато-на Слейв. На месторождении есть четыре алмазоносных кимберлитовых трубки, рас-положенных на дне восточной части озера Лак-де-Грас. Исследование с 1991 по 1995 год привело к идентификации 52 кимберлито-вых трубок. Четыре из которых были обна-ружены в 1994 и 1995 годах и были опреде-лены коммерчески значимыми: А21, А154 Северная, А154 Южная и А418. Четыре ком-мерческих кимберлита являются крутыми до вертикальных трубками, которые в той или иной степени сужаются вниз. Площади поверхностей, в основном, менее 2 га. Трубка А154 Южная состоит из туфа, туфо-брек-чии и видоизмененных пирокластических и переотложенных вулканокластических кимберлитов. Это дает место для аргилли-товых ксенолитов в верхней части. Трубка А154 Северная имеет вулканокластические кимберлиты с оливин-обогащенным ложем в верхних 40 м, при увеличении размера зе-рен с глубиной. На большей глубине (150+ м) является кристалло-обогащенным вулкано-генным кимберлитом. В А418 преобладают фрагменты алеврито-глинистых пород, ко-торые значительно влияют на сорт алмазов. Также важными являются интервалы с пеп-лом Лапилли. Трубка А21 имеет более выра-женную конусную форму. Доминирующие компоненты включают в себя пепел Лапилли (как для А418).

Плиоценовые до голоценовых россыпи золота

Россыпи Клондайка расположены на западе центральной части Юкона, в области, кото-рая большей частью избежала оледенения. Первые открытия в 1896 году включали в себя россыпи золота в Кварц Крик, Голд Боттом-Крик и в Бонанза Крик. Суммарно область Клондайк выступает в качестве од-ной из наиболее продуктивных золотых рос-сыпей в мире. Регион был, более или менее, непрерывно продуктивным в течение 119 лет (1896-2015). Россыпное золото находит-ся в четырех положениях: 1) нижняя часть высокоуровневого гравия Вайт Ченнел (5-3 млн. лет; толщиной до 46 м), стратифициро-ванного и перекрытого; 2) водно-леднико-вым клондайковым гравием (плиоцен, до 53 м толщиной), 3) промежуточным террасовым гравием ограниченного распространения (1,4 млн. лет; толщиной до 9 м) и 4) низко-уровневым гравием (поздний плейстоцен-го-лоцен; толщиной до 20 м), который лежит в основании современных потоков и речного гравия от 10 до 200 м ниже высокоуровневого гравия. Золото в низкоуровневом гравии по-лучено эрозией, как гравия Вайт Ченнел, так и первичных материнских коренных пород. Большинство россыпного золота считается аллювиальным по своему происхождению. Тем не менее, некоторое золото могло быть отложено путем осаждения из воды, несущей золото в растворе. Что касается материнских пород, то одна теория состоит в том, что вы-сококласный/-е источник(-и) рудного золо-та были в значительной степени размывы с формированием современных россыпных месторождений золота, оставляя только ре-ликты рудного золота. Альтернативой явля-ется то, что один или более высококласных источников рудного золота все еще могут быть обнаружены.

Будущий потенциал

Согласно общепринятой точке зрения, бу-дущие открытия будут сделаны в непосред-ственной близости от существующих место-рождений. Это говорит о том, что наиболее продуктивные районы арктической части Канады также дадут много будущих новых открытий. Это особенно верно для золота и алмазов кратона Слейв и золота, вольфра-ма и цветных металлов на Юконе. Из этого

также следует, что будущие открытия будут сделаны по падению пласта в существующих шахтах ниже месторождений, которые еще предстоит разработать, ниже четвертичного перекрытия или на дне озер и мелководных морей. Особенно благоприятным является неразработанный потенциал кимберлитов во всех областях архейской земной коры на обширных территориях кратонов Рае и Херн, и наиболее вероятно, что мы увидим новые коммерчески жизнеспособные алмазные рудники в ближайшие годы. Другие области, засвидетельствовавшие новые находки в последние годы, могут дать дополнительные открытия, например, золота в поясе залива Хоуп (кратон Слейв), месторождения, вмещаемые вулканическими породами, в поясе Хакутт Ривер (кратон Слейв) и в поясе Финлейсон (Юкон), железоксидные медно-золотые в магматической зоне и урана в районе бассейнов Телон и Бейкер-Лейк.

ГРЕНЛАНДИЯ⁴

Гренландия (местн. название Калаалит Нунаат) является, вероятно, более экстремальной и более изолированной, чем большинство других областей Арктики, со своей континентальной ледяной шапкой в центре и своим расположением между Северной Америкой и Европой. Хотя, ее расположение может быть признано выгодным для торговых путей, так как Гренландия всегда была неохотимой базой для устойчивого общества. Сырьё сыграло важную роль в раннем заселении самого большого острова на Земле. Так называемые люди культуры Саккак поселились в западной Гренландии между 2500 и 800 годами до н.э. и использовали, и торговали горными породами, обогащенными кремнеземом, найденных в районе залива Диско. Эти породы могли быть переделаны в инструменты. Более поздние культуры использовали железо из железных метеоритов, которые были обнаружены на ледниках и локально из самородного железа в базальтах залива Диско.

Современная колонизация Гренландии началась в 18-ом веке, и вскоре после этого было обнаружено месторождение криолита ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) возле Ивиттуута в Южной Гренландии (Рисунок 1). Месторождение Криолита Ивиттуут разрабатывалось более 130 лет с 1854 по 1987 год и представляет собой один из немногих экономических успехов горнодобывающей промышленности Гренландии. Сначала криолит использовали в качестве алюминиевой руды, а затем в качестве флюса для электролитической переработки бокситов при производстве алюминия. Криолитовая шахта Ивиттуут была единственной шахтой для этого сырья на Земле до того, как природный криолит был заменен синтетическим криолитом в 1960-е годы. Криолитовая компания Эресунн А/С, управлявшая шах-

той, начала первую систематическую программу геологоразведочных работ в 1950-е годы, в основном, с разведочных полетов вертолетов вдоль западного побережья, выбирая цели для дальнейших исследований. В то же время, добывающая компания Нордиск А/С начала разведку полезных ископаемых в восточной части Гренландии, полагаясь на открытия предыдущих экспедиций. Одним из таких открытий является месторождение Бликлиппен Zn-Pb, которое разрабатывалось в период с 1956 по 1962 год (Рисунок 1). Другими, более ранними и менее успешными разработками полезных ископаемых, были медный рудник Йосва (1904-1915) и графитовая шахта Амитсок (1915-1924) в южной Гренландии, а также угольная шахта Куллиссат (1924-1972) на острове Диско в центральной части западной Гренландии (Рисунок 1). Открытие свинцово-цинкового месторождения мирового уровня Блэк-Энджел представляет собой продолжение успешной добычи полезных ископаемых в Гренландии (Рисунок 1). В период с 1973 по 1990 год, цинк-свинцовый концентрат производился на этом месторождении впечатляющим процессом, во время которого как руда, так и шахтеры транспортировались из штольни, на высоте 600 м над уровнем моря, по канатной дороге на противоположный берег фьорда. Увеличение разведочной деятельности в течение последних десятилетий, при поддержке частично государственной добывающей компании Нунаоил А/С, дочерней компании НунаМинералс А/С, а также геологических служб (Геологической службы Гренландии, а затем Геологической службы Дании и Гренландии), привели к существенному улучшению покрытия и качества геологических, геохимических и геофизических данных. Это привело к открытию золотой шахты Налунак (2003-2013) в Южной Гренландии

⁴ Написано Йохеном Кольбом, Геологическая служба Дании и Гренландии

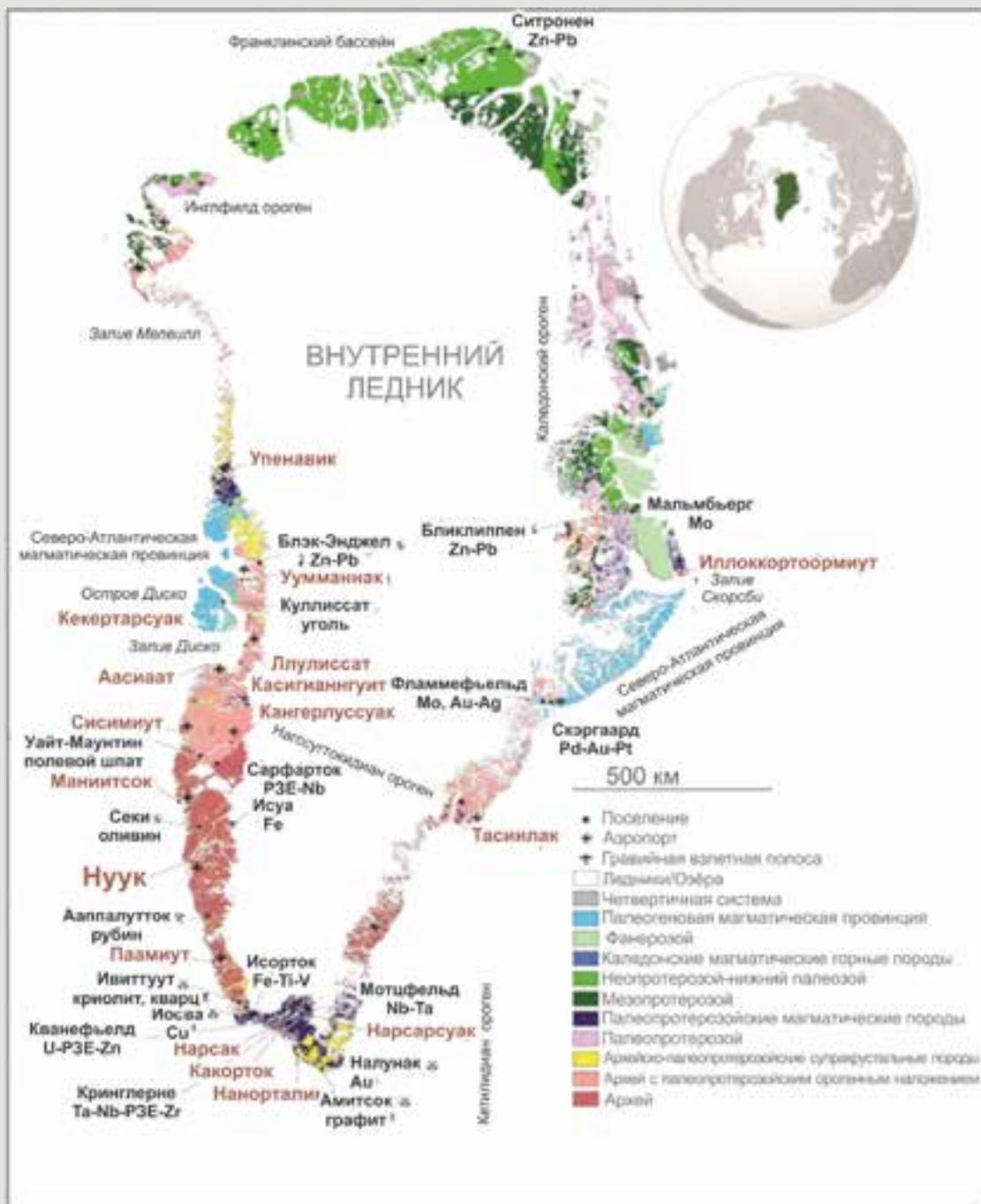


Рисунок 1. Упрощенная геологическая карта Гренландии с указанием расположения наиболее важных месторождений полезных ископаемых, известных в настоящее время.

и оливиновой шахты Секи (2005-2010) к северу от Нууке (Рисунок 1). С прекращением добычи золота в Налунак в 2013 году и окончательного закрытия шахты в 2014 году, современная горнодобывающая деятельность в Гренландии приостановилась впервые за 160 лет. В 2015 году, однако, было выдано около 70 эксклюзивных лицензий на разведку и 6

лицензий на разработку, покрывая около 10% свободных от льда областей Гренландии и показывая продолжающийся интерес к полезным ископаемым Гренландии. Лицензии на разработку были выданы для месторождения золота Налунак, цинк-свинцового месторождения Блэк-Энджел, молибденового месторождения Мальмбьерг, железорудного

месторождения Исуа, месторождения рубина Аапалутток и месторождения кальциевого полевого шпата Уайт-Маунтин (Рисунок 1). Месторождение рубина Аапалутток открылось производством драгоценного камня корунд (Al_2O_3) в конце 2015 года.

На карте месторождений полезных ископаемых Арктики показаны крупные месторождения полезных ископаемых Гренландии и базовая геология по отношению к другим арктическим странам. Архейские породы, образовавшиеся 3,9-2,5 млрд. лет назад, преобладают в Гренландии, в частности, вдоль западного побережья и восточного побережья к северу от района Скорсби (Рисунок 1). Эти горные породы метаморфизованы и деформированы на глубине в земной коре и в настоящее время представлены, в основном, гнейсами и гранитами. Эти породы содержат локальные месторождения золота, никеля, хрома и элементов платиновой группы (ЭПГ). Менее метаморфизованные и деформированные породы встречаются редко и локально содержат железную руду в так называемой полосчатой железистой формации. Железорудное месторождение Исуа, открытое в 1965 году Криолитовой компанией Эресунн А/С в 150 км к северо-западу от Нууке, является одним из таких примеров (Рисунок 1; Таблица 1). Полосчатая железистая формация Исуа является плитообразным телом длиной 1,5 км в обнажении, толщиной 200 м, угол падения которого $60-70^\circ$ к востоку-юго-востоку: тело увеличивается в толщине до 450 м с глубиной под внутренним ледником. Кварц-обогащенные и магнетит-обогащенные прослои присутствуют толщиной 0,5-100 мм с магнетитом (Fe_3O_4), являющимся рудным минералом. Минерализация образовалась 3691 ± 22 млн. лет назад гидротермальными флюидами на дне океана. С тех пор породы были метаморфизованы и деформированы, изменив первоначальную геометрию и минералогию железной руды.

Два архейских континента, северный кратон Рае и южный Северо-Атлантический кратон, отличаются различной геологической историей развития. На окраинах этих континентов осадочные и вулканические породы отложились в палеопротерозое между 2,5 и 1,6 млрд. лет назад (Рисунок 1). Континенты

столкнулись в раннем палеопротерозое, что привело к формированию Центрально-Гренландского горного пояса (ороген Нагссуттокидиан-Ринкиан) и горных поясов на севере (ороген Инглфилд) и на юге (ороген Кетилидиан). Месторождение Блэк-Энджел в Маарморилик расположено в центральном горном поясе и размещено в деформированных и метаморфизованных карбонатах кальция и магния (мраморе). Месторождение выдало 11,2 млн. т цинковой, свинцовой и серебряной руд (Рисунок 1; Таблица 1). Минерализация образована гидротермальными флюидами, которые мигрировали через осадочные породы перед метаморфизмом и деформацией. Еще несколько подобных цинково-свинцовых проявлений известны в регионе и в настоящее время изучаются.

Новообразованный континент, имевший похожие контуры, как у Гренландии в настоящее время, за исключением северной части, начал распадаться в Южной Гренландии в позднем мезопротерозое между 1,4 и 1,1 млрд. лет назад. Утоненная земная кора и крупные разломы дали путь для экзотических мантийных расплавов, которые образовали многочисленные интрузии. Эти интрузии содержат некоторые из крупнейших в мире месторождений редких металлов, а именно Кванефельд (уран-редкоземельные элементы (РЗЭ)-цинк), Кринглерне (тантал-ниобий-РЗЭ-цирконий) и Мотцфельд (ниобий-тантал), а также криолитовое месторождение Ивиттуут (Рисунок 1; Таблица 1). Рудными минералами в месторождениях являются экзотические силикаты и фосфаты, образованные путем кристаллизации во время затвердевания интрузий с последующей гидротермальной модификацией. Вышеописанное криолитовое месторождение Ивиттуут было недавно изучено на наличие ресурсов чистого кварца (горного хрусталя). Железо-титан-ванадиевая минерализация Исерток находится в почти вертикальной дайке габбро, которая 16,3 км в длину и до 200 м в ширину (Рисунок 1; Таблица 1).

Более молодой этап континентального распада оказал воздействие на юг западной Гренландии и связан с проникновением даек и карбонат-содержащих магматических пород, карбонатитов, около 565 млн. лет назад.

| НАЗВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ | ТОННАЖ [МЛН. ТОНН] | СОДЕРЖАНИЕ | СОБСТВЕННИК (СТАТУС НА 2016) |
|------------------------|--------------------|---|-------------------------------------|
| Исуа | 1107 | 32,6% железо | Дженерал Найс Девелопмент лимитед |
| Блэк-Энджел | 13,6 | 12,3% цинк, 4,0% свинец и 29 г/т серебро | Блэк-Энджел Майнинг А/С |
| Кванефьелд | 673 | 1,08% оксиды РЗЕ, 273 г/т оксид урана и 0,24% цинк | Гренландские Минералы и Энергия А/С |
| Кринглерне | 4300 | 0,65% оксиды РЗЕ, 0,2% оксид ниобия и 1,8% оксид циркония | Танбрез Майнинг Гренландия А/С |
| Мотцфельд | 340 | 0,26% оксиды РЗЕ, 0,19% оксид ниобия, 0,012% оксид тантала и 0,46% оксид циркония | Регенс Майнс Плк. |
| Исорток | 70,3 | 38,1% оксида железа, 10,9% оксид титана и 0,144% оксид ванадия | Вест Мелвилл Металс Инк. |
| Сарфарток | 14 | 1,5% оксиды РЗЕ, 3,89% ниобий | Гудзон Ресурсес Инк. |
| Ситронен | 132 | 4,0% цинк и 0,4% свинец | Айронбарк Цинк лимитед |
| Скэргаард | 202 | 1,33 г/т палладий, 0,88 г/т золото, 0,11 г/т платина | Платинова Ресурсес лимитед |
| Фламме-фьельд | 200 | 0,2-0,3% сульфид молибдена | 21-ый Север |
| Мальмбьерг | 329 | 0,1% молибден | КГХМ |

РЗЕ - редкоземельные элементы; Источник: данные по компаниям и информация от Геологической службы Дании и Гренландии (GEUS).

Таблица 1. Данные по тоннажу и содержанию месторождений полезных ископаемых Гренландии.

Дайки локально состоят из кимберлитовых пород и вмещают алмазы. Карбонатитовый комплекс Сарфарток содержит минерализацию экзотических силикатов, фосфатов и карбонатов (Рисунок 1; Таблица 1). Минерализация сформировалась на поздне-магматической стадии, с момента, когда летучая фаза отделилась от карбонатитовой магмы и подверглась взаимодействию с окружающими горными породами.

На севере Гренландии и далее в Канаде, большой Франклинский бассейн образовался на континентальной окраине, достигая приблизительно 2000 км в субширотном простирании (Рисунок 1). Бассейн содержит осадочные породы, которые отложились в морской обстановке, переходящей от мелководных до глубоководных условий в северном направлении. Несколько километровые осадочные толщи, в основном, карбонатов и песчаников, отложились примерно от 600 до 400 млн. лет назад. Первый признак минерализации в регионе был зарегистрирован Геологической службой США в 1960 году во время вертолетной разведки Земли Пири. С тех пор были обнаружены несколько суль-

фидных месторождений Zn-Pb, наиболее важным из которых является месторождение мирового класса Ситронен Zn-Pb (Таблица 1). Четыре сульфидных рудных тела были распознаны, и каждое из них имеет длину 1500 м, ширину 600 м и толщину 25 м, с отдельными прослоями сульфидов, имеющими толщину 0,3-2,0 м. Рудные минералы сфалерит (ZnS) и галенит (PbS) сформировались на дне моря в восстановительной среде из гидротермальных флюидов, полученных из подводных источников. Впоследствии, эти горные породы были лишь слегка метаморфизованы и деформированы.

Восточная Гренландия характеризуется наличием горного пояса (Каледонский ороген) деформированных и метаморфизованных от верхне-палеопротерозойских до силурийских горных пород (Рисунок 1). Этот горный пояс образовался при столкновении двух континентов, Лаврентии и Балтики, с сегодняшним расположением западной части пояса в Гренландии и восточной части в Норвегии, Швеции и Великобритании. Осадочные породы от девонского до мелового возраста отлагались в локальных осадочных бассей-

нах после формирования этого горного пояса. Осадочные породы локально содержат Си-минерализацию, а каледонские граниты локально содержат проявления Cu, W, Sb и U.

Впоследствии, эти два континента начали распадаться, как отмечено интенсивным магматизмом, который сформировал многочисленные интрузии, массивные потоки лавы и, наконец, морское дно Атлантического океана. Этот массивный магматизм сформировал Большую магматическую провинцию (БМП), называемую Северо-Атлантической магматической провинцией (САМП; Рисунок 1). Горные породы, которые образовались 63 млн. лет назад, простираются на более чем 3000 км от Баффиновой Земли через Гренландию, Исландию и Фарерские острова в Шотландию и Ирландию и расположены от 63° до 75° северной широты, покрывая расстояние более 1300 км в восточной Гренландии. Базальтовые лавовые потоки формировались, эпизодически, примерно до 13 млн. лет назад. Более 60 интрузий были обнаружены вдоль восточного побережья Гренландии, 28 из них в районе фьорда Кангерлуэсуак, который также является областью с самыми многочисленными и важными минерализациями. Слоистая габбро-диоритовая интрузия Скэргаард вмещает основную ЭПГ-Au минерализацию (Рисунок 1; Таблица 1). Месторождение было открыто компанией Платинова Ресурсес Лтд. в 1986 году и, впоследствии, было изучено различными компаниями. Интрузия всемирно известна своей впечатляющей слоистостью и служит естественной лабораторией для изучения процессов в магматической камере и дифференциации базальтовых жидкостей. Эта интрузия занимает примерно 7 x 11 км на земной поверхности и была образована около 56 млн. лет назад. Один из слоев, толщиной около 60 м, содержит минерализацию по основным пяти Pd-обогащенным прослоям и одному Au-обогащенному прослою. Драгоценные металлы в сплавах палладия, золота и меди с скэргаардитом (PdCu), цвиагинстевитом (Pd₃Pb) и тетра-аурикуприд (AuCu) являются наиболее распространенными минералами.

Сиенитовые и монцогранитовые интрузии вмещают Мо-порфиновые руды, а также периферические Au-обогащенные жилы и

жилы с Zn-Pb минерализацией, например, на Фламмефельд и Мальмбьерг (Рисунок 1). Месторождение Фламмефельд сформировалось 39,6 млн. лет назад в интрузии на малых глубинах и было обнаружено в 1970 году добывающей компанией Нордиск А/С. Гидротермальные флюиды, производные из магмы, сформировали минерализацию примерно в 500 м ниже современной поверхности, с моделируемым диаметром 800 м и толщиной 200 м (Таблица 1). Золото- и серебро-содержащие кварц-карбонатные жилы были обнаружены в пределах 5 км от Фламмефельд: они обычно менее 1 м в ширину и в целом имеют восток-юго-восточное простирание. Порфирово-молибденовое месторождение Мальмбьерг расположено дальше на север, в комплексе Вернер Бьерге. Оно было обнаружено Датской Восточно-Гренландской Экспедицией в 1954 году и с 1958 года по настоящее время было пробурено более чем 30 км, и суммарно было пройдено 1329 м штолен (Таблица 1). Минерализация сформировалась 25,7 млн. лет назад из гидротермальных флюидов, производных из магмы. Эти флюиды образовали от 1 мм до 5 см толщиной молибденовые минерализованные прожилки в структуре, подобной перевернутой чаше, с примерными размерами 700 x 700 x 150 м.

Долгая, сложная геологическая эволюция Гренландии, а также её многочисленные месторождения смотрятся контрастно по отношению к немногим успешным примерам по разведке и добыче полезных ископаемых. Геологические знания все еще являются относительно базовыми для многих областей, а современные геофизические и геохимические данные обычно доступны только на региональном уровне, что делает разработку, основанную на знаниях и минеральных системах, трудной и дорогостоящей. Полезные ископаемые, представленные здесь на карте месторождений полезных ископаемых Арктики, должны рассматриваться, как мгновенный кадр, и разница в плотности месторождений по сравнению с Фенноскандией, например, указывает на минеральный потенциал, который Гренландия, возможно, все еще скрывает в неисследованных областях.

ПОИСКИ ЗОЛОТА В ИСЛАНДИИ⁵

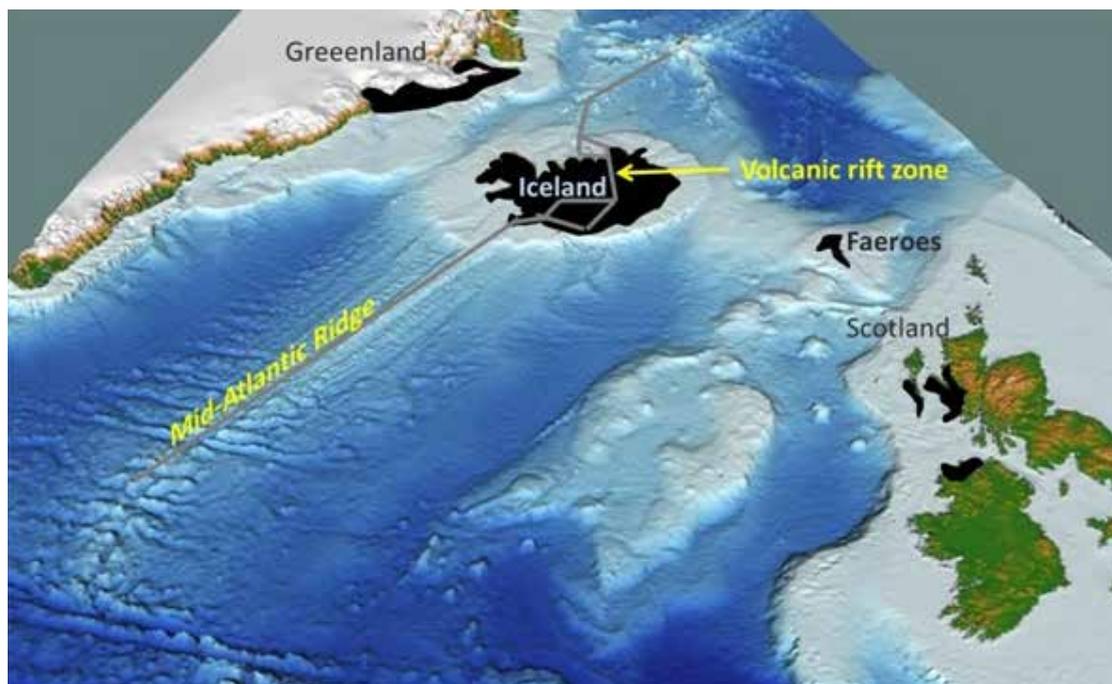
Исландия представляет собой геологическую обстановку, сильно отличающуюся от континентальной земной коры Скандинавии, Гренландии, Аляски и России. Она иллюстрирует процессы в разных ракурсах, обнаруженные в условиях океанической земной коры Атлантического океана. Также она может рассматриваться как "живой" пример геологической обстановки и процессов, которые, в ранние геологические периоды образовали некоторые металлогенические провинции в континентальной земной коре, содержащие месторождения, которые сейчас разрабатываются.

На протяжении десятилетий, гидротермальные системы, связанные с рифтогенезом океанической земной коры, очаровывали ученых, не в последнюю очередь после того, когда стало ясно, что там были образованы промышленные месторождения. Но все же, проблемой для исследований этих больших

глубин является трудность их достижения, не говоря уже о разработке. Исландия - одно из немногих мест на Земле, где срединно-океанический хребет выходит на поверхность, и где его строение может быть визуально рассмотрено и изучено. Исландия, однако, только частично представляет собой срединно-океанический хребет, поскольку она также является мантийной аномалией, так называемой горячей точкой. Рельеф на Рисунке 1 четко это показывает. Мы видим, с одной стороны, Срединно-Атлантический хребет, пересекающий страну с юга на север, а с другой стороны восточно-направленный след мантийного плюма, простирающийся от Гренландии на западе до Фарерских островов и Шотландии на юго-востоке.

Геология Исландии иллюстрирует отчетливую историю рифтогенеза, когда возраст формаций горных пород увеличивается при удалении от вулканических зон, достигая

Рисунок 1. Вид рельефа северной части Атлантического океана, показывающий проявление Срединно-Атлантического хребта, Исландии и признаки широтного простиранья Исландского мантийного плюма.



⁵ Написано Францсон, Х., Робертсдоттир, Б.Г. и Хардардоттир, В.

максимума около 16 млн. лет на самых отдаленных точках востока и запада. В числе очевидных различий между океаническим и исландским рифтами есть более интенсивная вулканическая активность и осадконакопления Исландии, также как и развитие центральных вулканических комплексов, где происходит максимальное проникновение магмы в земную кору. Это, во многих случаях, приводит к генерации более кислых магматических пород, таких как риолиты и второстепенные андезиты, и к относительно неглубокому залеганию крупных интрузивных тел. Данное обстоятельство ведет к формированию интенсивных высокотемпературных систем в этих вулканических зонах. Эти гидротермальные системы, большая часть из которых расположены вдали от океана, пропитаны пресными грунтовыми водами, формируя флюиды с очень низкой солёностью. В некотором отношении, источники магмы отличаются от тех, которые находятся в зонах субдукции тем, что они содержат меньше магматических газов, предполагая более низкую способность транспортировать оксиды металлов в геотермальных системах. Эти системы постепенно покидают вулканические зоны и обнажаются многократной ледниковой эрозией. Эта эрозия зависит от возраста горных пород и, в основном, в пределах 500-2000 м.

Концентрация первичного золота в океанической земной коре невелика, чаще всего ниже 1 части на миллиард, но исследования показали, что содержание золота увеличивается до 13-кратного вдоль хребта Рейкьянес по направлению к Исландскому мантийному плюму. Предполагается, что обогащение золота обязано своим происхождением глубинному апвеллингу мантийного вещества.

Разведка золота в Исландии началась в начале двадцатого века. Она была начата людьми, зараженными золотой лихорадкой в Новом Свете, теми, кто распознал золотосодержащие породы. Эти усилия почти привели к добыче, но планы были заброшены, частично из-за мирового финансового кризиса и мировых войн.

Работы по разведке золота были возобновлены в конце восьмидесятых годов прошлого

века, когда была установлена связь между активными гидротермальными системами и отложением золота. Разведка началась постепенно, в конце прошлого века, и набирает обороты вплоть до настоящего времени. Эти работы, в основном, были проведены под эгидой компании Мелми сф., которая послужила в качестве центра, объединяющего ученых из исландских научно-исследовательских организаций, иностранных компаний и инвесторов. Исследования были сосредоточены на древних и частично размытых гидротермальных системах вулканических комплексов, за пределами вулканической зоны. На Рисунке 2 показаны перспективные области, которые были в разной степени изучены в течение последних двадцати пяти лет. Основной целью разведки были самые верхние (600-1000 м) точки этих древних гидротермальных систем, где предполагается присутствие восходящего геотермального потока в состоянии бурного кипения, и где происходит оптимальная вероятность осаждения золота. Аномалии неблагородных металлов, как правило, не найдены из-за низкой солёности гидротермальных флюидов, за исключением места в юго-восточной Исландии, вероятно, связанного с риолитовой брекчиевой трубкой. Использованные методы разведки включали в себя отбор проб от низко- до высоко-плотных речных осадков в сочетании с отбором образцов наносов и горных пород. Основные результаты показаны на рисунке 2.

Хотя активные гидротермальные системы, как уже упоминалось выше, имеют, в основном, низкую солёность, исключения встречаются вблизи береговой линии, где рифтовая обстановка заходит в море. Самая известная из них находится на полуострове Рейкьянес на юго-западе (Рисунок 2). Этот полуостров можно рассматривать как переход между условиями океанической земной коры и земной коры Исландии. Действительно, слои гидротермальной системы Рейкьянес, которая находится на оконечности полуострова, показывают убедительные доказательства того, что они были образованы на переходе из океанической в субаэральную среду. Гидротермальная система имеет солёность эквивалентную морской воде, хотя и модифицированного состава. Глубокие водоносные пласты, которые питают скважины, достигаю-

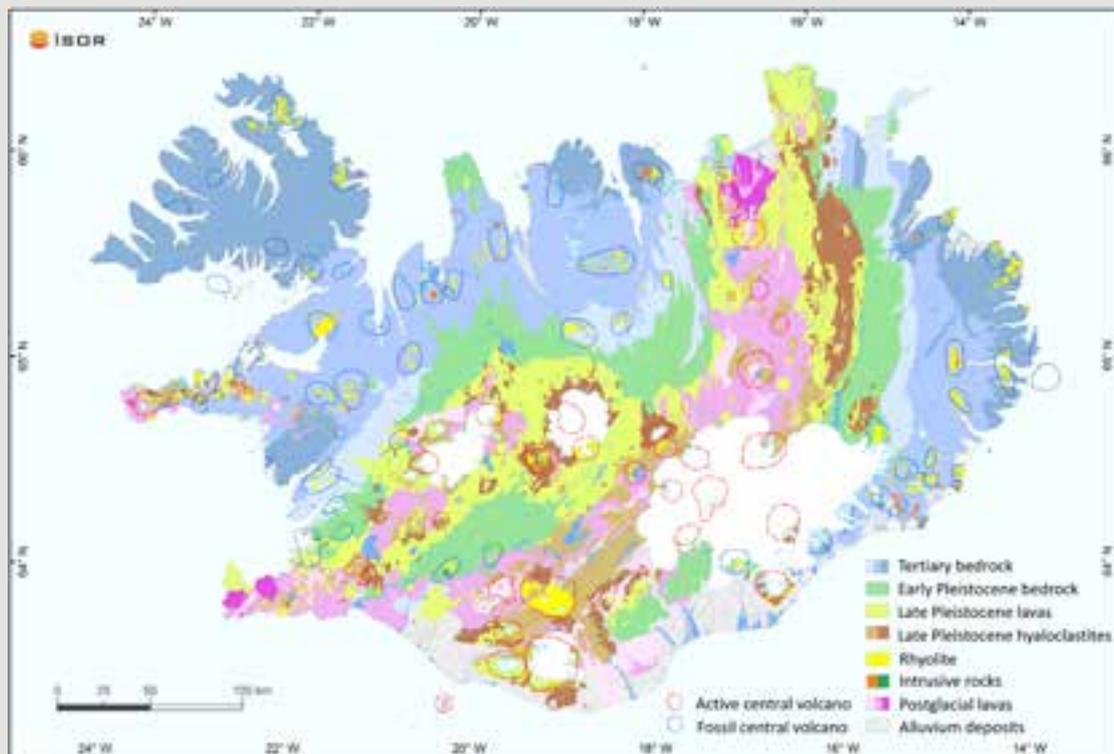


Рисунок 2. Упрощенная геологическая карта Исландии с указанием вулканических зон (розовый цвет), пли-плейстоценовых (зеленый цвет) и третичных образований (синий цвет), имеющих приблизительный возраст 0-0,7 млн лет, 0,7-3 млн лет и 3-16 млн лет, соответственно. Также показаны перспективные участки для разведки золота, проведенной в период с 1990 года по настоящий день, наряду с расположением основных золотых аномалий.

щие более чем 3 км глубины, показывают составы очень похожие на те, что обнаружены у черных курильщиков в глубоких водах на

Срединно-Атлантическом хребте, и таким образом, могут рассматриваться, как аналоги таких систем.

МАССИВНЫЕ СУЛЬФИДЫ МОРСКОГО ДНА АРКТИКИ⁶

В 1977 году, вблизи Галапагосских островов, были обнаружены первые подводные горячие источники на морском дне. Черные флюиды, насыщенные сульфидами, которые вскоре будут названы "черными курильщиками", привносились и формировали металлические отложения на морском дне. Вокруг жерл были уникальные экосистемы на основе хемосинтеза, то есть живущие за счет разрушения соединений серы. Вскоре были обнаружены несколько гидротермальных систем, особенно, вдоль срединно-океанических хребтов.

До недавнего времени срединно-океанические хребты в Арктике были одними из наименее изученных частей глобальных систем хребтов. Систематическое картирование хребтов к северу от Исландии началось в конце 1990-х годов и привело к обнаружению ряда активных и неактивных гидротермальных систем на всем пути от Исландии до, так называемого, Евразийского бассейна вблизи Северного полюса (Рисунок 1). Наиболее важные из них описаны ниже.

Южный сегмент арктической системы хребтов, хребет Колбейнсей и южный хребет Мона, сильно подвержены влиянию горячих точек под Исландией и Ян-Майеном, что приводит к воздымающемуся рельефу и повышенной вулканической активности. Дальше на север, магматическая активность и толщина земной коры уменьшаются, а срединные центры и рифтовые долины становятся более глубокими и более выраженными.

Гидротермальное поле Гримсей находится всего в 30 км от острова Гримсей. Область активного излияния охватывает около 1 км².

Интенсивные газовые пузырьковые струи, благодаря энергичному кипению флюидов при 250 °С, достигают более 300 м над морским дном. Поле содержит поднятия высотой 1-3 м с ангидрит-тальковыми дымоходами на вершинах. Сульфиды могут осаждаться и на глубине, что в итоге приводит к прозрачным флюидам, обедненными металлами.

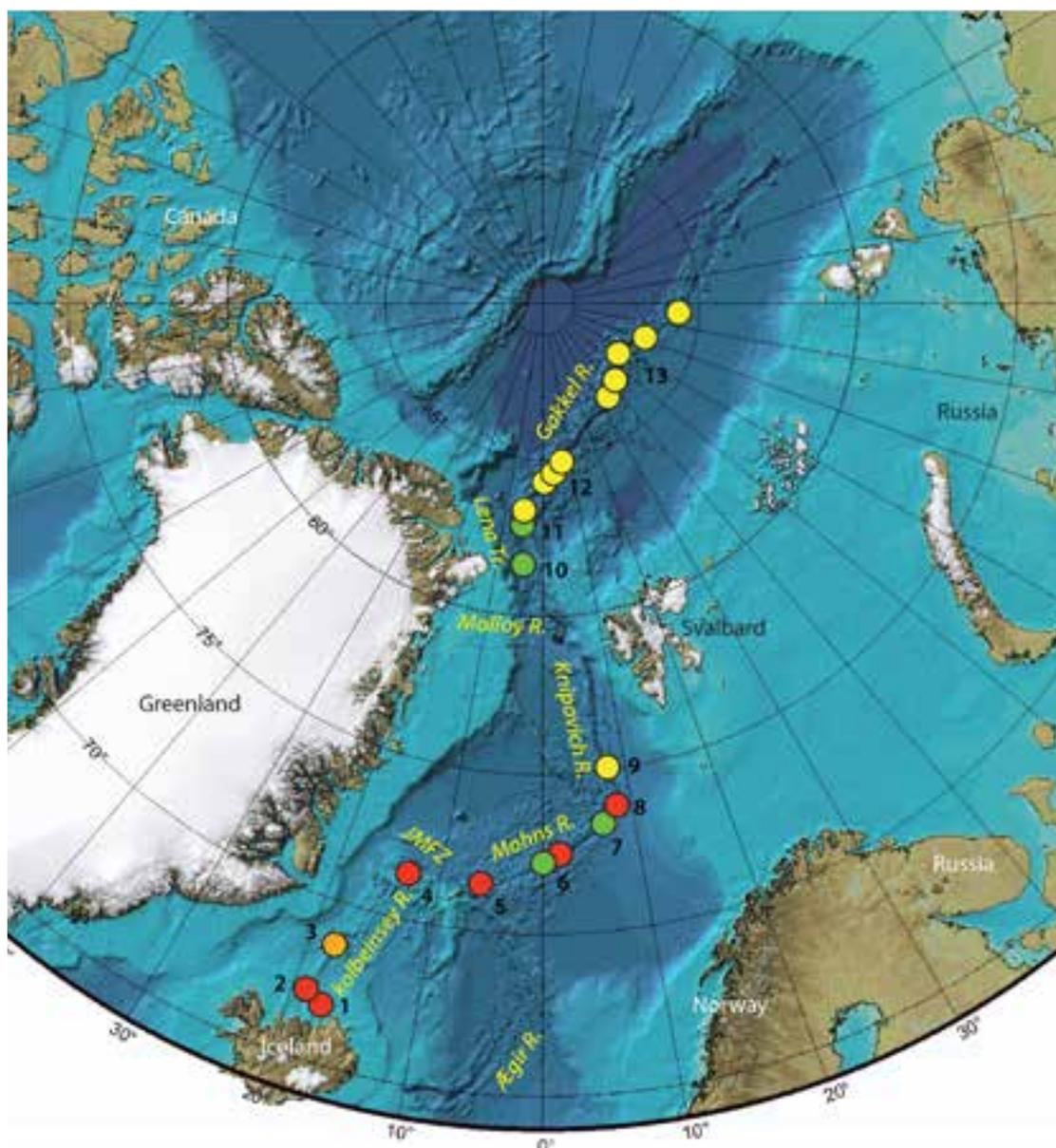
Скьюид Форест является угасшим гидротермальным полем, которое было открыто в 1999 г. Поле расположено на глубинах воды 900 м на плато плосковершинного, полукруглого вулкана и состоит из двух участков с кластерами гидротермальных построек до 4 м высотой. Анализы проб труб из пирротина, сфалерита, пирита и некристаллического вещества указывают на температуру жидкости 250-300 °С.

Стена Троллей, Сория Мория и Перле и Брузе являются активными гидротермальными полями и совместно именуется гидротермальными полями Ян-Майена. Все они расположены на самом южном сегменте хребта Мона, к северу от острова Ян-Майен. Поля характеризуются тем, что обогащены Zn, испуская жидкости с температурой 270 °С и высвобождая газ, обогащенный CO₂, в огромных пузырьковых струях. Поле Стена Троллей содержит, по меньшей мере, 10 крупных выводящих отверстий, каждое с несколькими трубами высотой 5-10 м. Гидротермальное поле Сория Мория имеет, по крайней мере, две выводящие области 100-200 м или более в поперечнике, которые подстилаются потоками лавы. В этом поле присутствуют сульфидные трубы высотой 8-9 м со сфалеритом в качестве основной фазы сульфида, а также участки сооружений не-

⁶ Написано Рольфом Биргер Педерсеном, Университет Бергена и Терье Бьеркгордом, Геологическая служба Норвегии

Рисунок 1. Обзор активных (красный цвет) и угасших (оранжевый цвет) гидротермальных полей, сульфидных отложений (зеленый цвет) и гидротермальных струй (желтый цвет), расположенных вдоль Срединно-Атлантического хребта к северу от Исландии:

- 1) Гримсей,
- 2) Колбейсей,
- 3) Сьюид Форест,
- 4) Семь Сестер,
- 5) Сория Мория, Стена Троллей, Перле и Брузе,
- 6) Медный Холм, Эгирс Килде,
- 7) Монс Треажуре,
- 8) Локис Кастл,
- 9) гидротермальная струя,
- 10) сульфидная залежь,
- 11) сульфидная залежь и горячая вода,
- 12) и 13) гидротермальные струи.



правильной формы с размерами 15-20 м по горизонтали и высотой до 10 м, которые изливают прозрачные флюиды.

Гидротермальное поле Локис Кастл было открыто в 2008 году и стало первым гидротермальным полем "черных курильщиков", которое было исследовано на ультра медленно раздвигающемся хребте и в арктических водах. Поле расположено в северной части хребта Мона. Поле находится вблизи вершины большого осевого вулканического хребта на глубине 2400 м. Излияние происходит в верхней части двух гидротермальных холмов, которые около 20-30 метров в высоту и около 200 м в поперечнике. Излияние отмечено

султаном, который воздымается на 300-400 м над морским дном. Низкотемпературное излияние происходит на склоне возвышения и это дает возможность для роста области баритовых труб. Хотя гидротермальное поле подстилается вулканическими породами, влияние осадков из соседнего осадочного конуса выноса острова Медвежий наблюдается в химии флюидов (например, очень высокие значения метана и аммиака). Гидротермальное поле Локис Кастл содержит уникальную арктическую гидротермальную фауну.

Массивные сульфиды, видоизмененные продукты и гидротермальные отложения были обнаружены в 30-килограммовом образце

из драги в желобе Лены 81° с.ш. в 1999 году. Также был вытасчен окисленный пористый материал, напоминающий части труб. Также были обнаружены фрагменты ультраосновных пород (серпентинитов и гарцбургитов), что указывает на ультрамафитовую вмещающую породу. Поскольку поле было обнаружено без каких-либо других указаний перед драгированием, оно было названо Лаки Б (напоминая находку гидротермального поля Лаки Страйк к югу на Атлантическом хребте). Примерно в 200 км дальше на север, почти на 83° с.ш., другая драга захватила массивные сульфиды в 2002 году. Здесь желоб Лены делает резкий изгиб на восток, и переходит в хребет Гаккеля. Сульфиды представляют собой фрагменты труб. Кроме того, буксируемая камера показала над этим местом мерцающую воду, что указывает на некоторую гидротермальную активность.

Несколько гидротермальных струй были обнаружены вдоль 1100 километровой хребта Гаккеля, который является частью Арктики. Не было вытасчено или наблюдено никаких сульфидов. Из девяти потенциальных мест гидротермальных излияний, излияние на 85° с.ш. было наиболее активным из до сих пор найденных со струей толщиной 1400 м, и оно расположено своей центральной частью на высоте 1000 м над морским дном. Бактериальные маты наблюдались на морском дне, поддерживаемые слегка теплым и обедненным флюидом, просачивающимся через трещины в свежих вулканитах.

НОРВЕГИЯ⁷

Краткое описание геологии Норвегии

Геология материковой части Норвегии характеризуется преобладанием Каледонского горного пояса, который протягивается по Норвегии более чем на 1500 км от Ставангера на юго-западе до самой северной части страны (Рисунок 1): горная цепь, которую мы видим сегодня пережила несколько циклов эрозии и подъема с момента ее образования в палеозойской эре более 400 млн. лет назад.

Намного более древние горные породы, принадлежащие к Фенноскандинавскому щиту, обнажаются на земной поверхности к западу от каледонид в северной Норвегии и к юго-востоку от каледонид вдоль границ со Швецией, Финляндией и Россией (Рисунок 1). Этот щит наращивался от архейского ядра (древнее 2500 млн. лет), с полосчатыми железистыми формациями в своих северо-восточных областях, на запад, с палеопротерозойскими гранит-зеленокаменными поясами, содержащими золото и медь-никель-ЭПГ руды, образованные в период 1800-2500 млн. лет назад.

Палеорифт Осло содержит вулканические и интрузивные комплексы, охватывающие период с позднего карбона до раннего триаса, внедренные в толщи кембро-силурийских отложений (сформированных в период 540-420 млн. лет назад), которые первоначально отлагались в бассейнах на поверхности древних горных пород фундамента, но которые впоследствии были деформированы во время Каледонской складчатости и сохранены при образовании рифта.

История добычи металлов в Норвегии

до 18-го века

Самым старым упоминанием о подземных горных работах (в конце 12-го века) является серебряное месторождения Акерсберг в Осло. Мелкомасштабная добыча медных и серебряных руд началась в нескольких районах страны в первой половине 16-го века. Серебряный рудник Конгсберг, на котором разрабатываются жилы коренного серебра, был открыт в 1623 году и пробыл в эксплуатации с небольшими перерывами до 1958 года. Долгосрочная добыча меди развивалась в последующие тридцать лет в Квикне (1630), Рёрусе (1644) и Лёккене (1654), являющимися массивными сульфидными месторождениями в каледонидах южнее Тронхейма. Добыча руды месторождений Рёрус и Лёккен продолжалась до 1977 и 1987 соответственно. Рёрус является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО как один из наиболее лучше сохранившихся старых шахтерских городов Европы.

18-ый – 19-ый века

Новый медный рудник был основан в Фоллдале в 1748 году. Новые виды металлических руд и минералов также разрабатывались в дополнение к существующим медным, серебряным и железным рудникам. Руды арсенида кобальта были обнаружены в Модуме в 1772 году, что привело к развитию рудника Скутеруд и созданию Блаафарвевэрк в качестве королевской компании для производства красителя "синий кобальт". Никелевые месторождения были обнаружены в Еспедалене в 1837 году, добыча полезных ископаемых началась в 1846 году, а в Эртелиене в 1849 году. Добыча пирита из массивных сульфидов, для использования в производстве серной кислоты, началась в середине 19-го века в Виг-

⁷ Текст главы скомпилирован Рогнвальдом Бойдом, Геологическая служба Норвегии

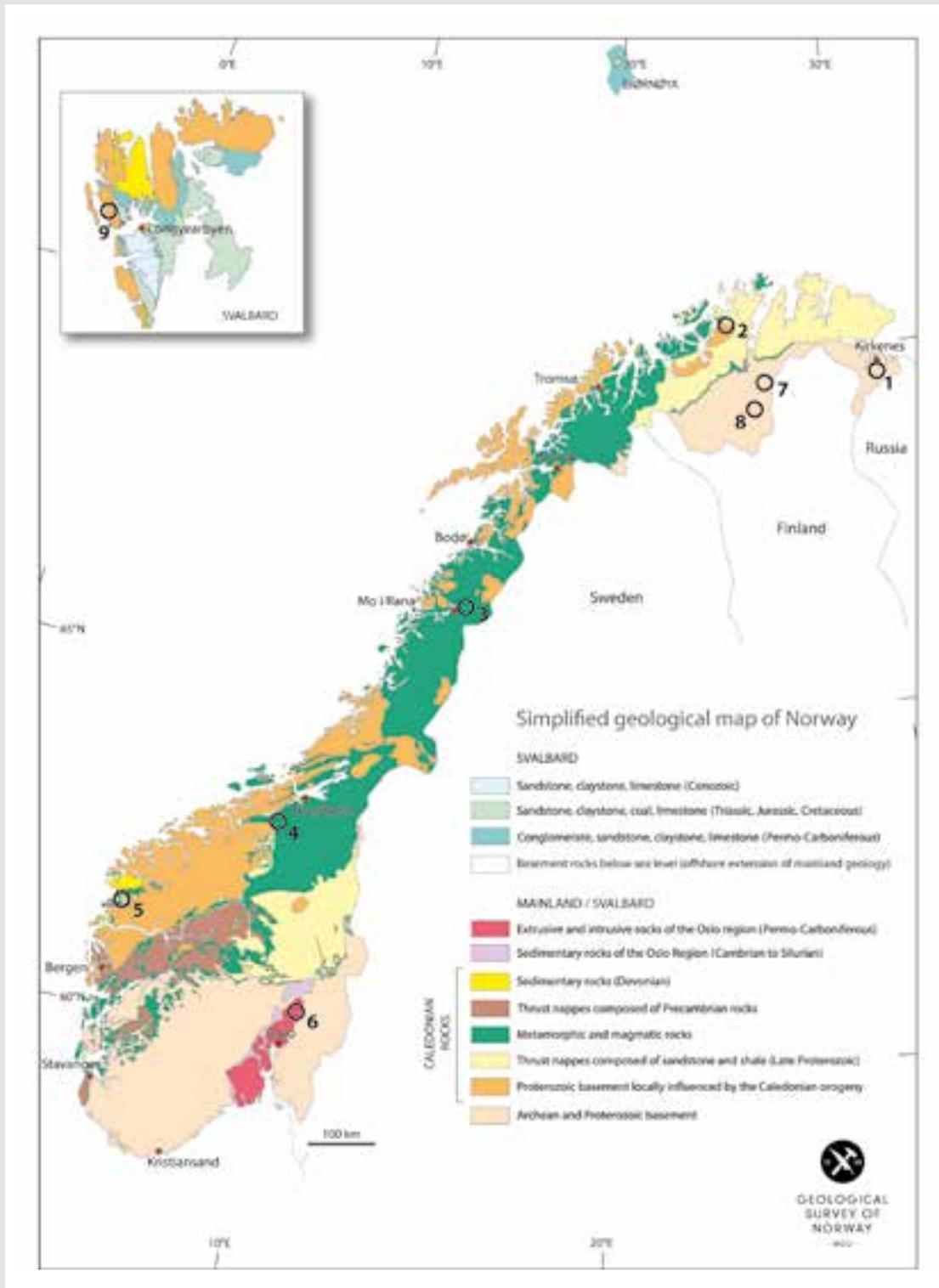


Рисунок 1. Геологическая карта Норвегии. Номера относятся к толщам месторождений, перечисленных в Таблице 1:
 1 Бьорневатн,
 2 Нуссир,
 3 Ёртфьелл,
 4 Лёккен,
 5 Энгебё,
 6 Нордли,
 7 Галлуаври,
 8 Райтеварри,
 9 Сант-Йонс-фьорд.

| | Размер класс | Широта | Долгота | Основные металлы | Основной метал % | Другие металлы | Добытый тоннаж (млн. т) | Ресурсы + запасы |
|-----------------|----------------------|--------|---------|------------------|------------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Бьорневатн | Крупное | 69.65 | 30.03 | Fe | 32 | | 140 | 380 |
| Нуссир | Крупное | 70.46 | 24.20 | Cu, Ag | 1.16/15г/т | Au, PGE | | 74 |
| Ёртфьелл | Крупное | 66.41 | 14.68 | Fe | 34 | | 28.7 | 388 |
| Лёккен | Крупное | 63.12 | 9.70 | Cu, Zn, Co | 2.3/1.8/0.07 | Ag, Au | 24 | 6 |
| Энгебе | Крупное | 61.49 | 5.43 | Ti | 2.4 | | | 400 |
| Нордли | Крупное | 60.48 | 11.02 | Mo | 0.09 | | | 210 |
| Сант-Йонс-фьорд | Потенциально крупное | 78.48 | 12.89 | Au | | | | Не определено |
| Райтеварри | Потенциально крупное | 69.27 | 24.94 | Cu, Au | | Mo | | Не определено |
| Галлуяври | Потенциально крупное | 69.63 | 25.38 | Ni,Cu,Co,PGE | | Au | | Не определено |

Таблица 1. Крупные и потенциально крупные месторождения металлов в Норвегии к северу от 60° с.ш. (Источники: база данных FODD: <http://en.gtk.fi/informationsservices/databases/fodd/>)

снесе и Сторде, а в 1888 году, в Сулительме (также является крупным производителем меди) и на других новых месторождениях, а также на существующих медных рудниках в Рёрусе, Лёккене и Фоллдале. Молибденовые месторождения были открыты в конце 1800-х годов, в том числе месторождение Кнабен, которое разрабатывалось с 1885 по 1973 год.

Несколько новых крупных месторождений железной руды были открыты до конца 19-го века. Неопротерозойские месторождения Дундерланд (включая Ёртфьелл), немного южнее полярного круга вблизи Мо-и-Раны, были обнаружены в 18-ом веке, и архейская полосчатая железистая формация на Бьорневатн в Сюдварангере была обнаружена в 1865 году. Иностранные инвестиции играли важную роль в разведке и разработке месторождений в конце 1800-х и начале 1900-х годов, особенно в северной Норвегии. Наиболее долгоживущим доказательством этого является город Лонгйир на Шпицбергене, названный в честь основателя Арктической угольной компании, созданной в 1906 году.

Добыча металла – 20-ый–21-ый века

Добыча началась на трех основных месторождениях железной руды в течение первого десятилетия нового века - в Сюдварангере (1906), Фосдалене (1906) и Рёдсанде (Fe-V-Ti) (1910). Первые шаги, которые привели, в конечном счете, к главенствующей роли Норвегии в качестве производителя пигментов

оксида титана, были предприняты в начале 1900-х годов, созданием компании, использующей патент на производство пигмента "белого титана" из диоксида титана. Компания Титания А/С начала добычу полезных ископаемых на неопротерозойском месторождении Сторганген в Рогаланде в 1916 году: компания теперь является частью филиала Нейшенел Лид, Кронос. В 1957 году было открыто месторождение поблизости Теллес. Это одно из крупнейших месторождений ильменита в мире, обеспечивавшее более 7% мирового производства ильменита в 2014 году.

Шпицбергенский трактат, подписанный в 1920 году 14 странами, признал суверенитет Норвегии над архипелагом, но дал право на владение имуществом, в том числе право пользования недрами, для граждан всех стран-участниц. Сорок две страны уже подписали договор. Норвежская компания, Сторе Норске Шпицберген Куллкомпани, была создана в 1916 году и в настоящее время владеет тремя угольными шахтами (хотя только одна в эксплуатации) на Шпицбергене. Российская компания, трест Арктикуголь, создала угольную шахту (до сих пор в эксплуатации) в Баренцбурге в 1932 году.

Период промышленного развития после Второй мировой войны характеризовался открытием множества новых сульфидных рудников. К ним относятся: Каледонские

массивные сульфидные месторождения (год открытия показан в скобках) Скороватн (Zn-Cu-пирит) (1952), Блейквассли (Zn-Pb-Cu) (1957), Тверрфьелл (Cu-Zn) (1968), Йома (Cu-Zn) (1972) и Лергрувбаккен, новое месторождение в провинции Рёрус (Cu-Zn) (1973), а также месторождение Бруванн Ni-Cu (1988). Месторождения в палеопротерозойских зеленокаменных поясах включают в себя Бидйовагге (Cu-Au) (1971) и Ульверигген (Cu) (1972 г.). Более экзотические руды добывались на месторождении Сёве из неопротерозойских карбонатитов Фен, где ниобий добывали в 1953-65 годах. Исчерпание ряда месторождений, неустойчивые цены на металлы и конкуренция со стороны крупных, легко разрабатываемых месторождений в других частях мира, привели к закрытию большинства оставшихся сульфидных месторождений в последнем квартале 20-го века.

В настоящее время есть три металлических рудника в Норвегии - ильменитовый рудник в Теллес (на 58° 20' с.ш.) и железные рудники в Рана (Ёртфьелл) и Сюдварангере (Бьорневатн - в настоящее время (апрель 2016) на сохранении и обслуживании). Разрешения на разработку рутилового рудника на ме-

сторождении Энгебё в западной Норвегии и рудника медных/благородных металлов на месторождении Нуссир в северной Норвегии были выдано недавно. Девять месторождений в Норвегии отвечают техническим характеристикам месторождений, которые считаются крупными или потенциально крупными.

Краткое описание основных месторождений

Железорудное месторождение Бьорневатн

Отложения неоархейские железа в металлогенической зоне Сёр-Варангер представлены полосчатыми железистыми формациями (ПЖФ), накопленными 2,8 млрд. лет назад. Гнейсовые комплексы содержат месторождения ПЖФ (Рисунок 2), в основном, состоящие из пелитовых, полупелитовых и псаммитовых отложений с второстепенными толщами метавулканических горных пород, которые являются важными носителями ПЖФ. Руды, как правило, толщиной 1-15 м и обычно составляют последовательность "эшелонированных" линз несколько километров в длину при длине отдельных рудных тел редко превышающей несколько сотен метров.

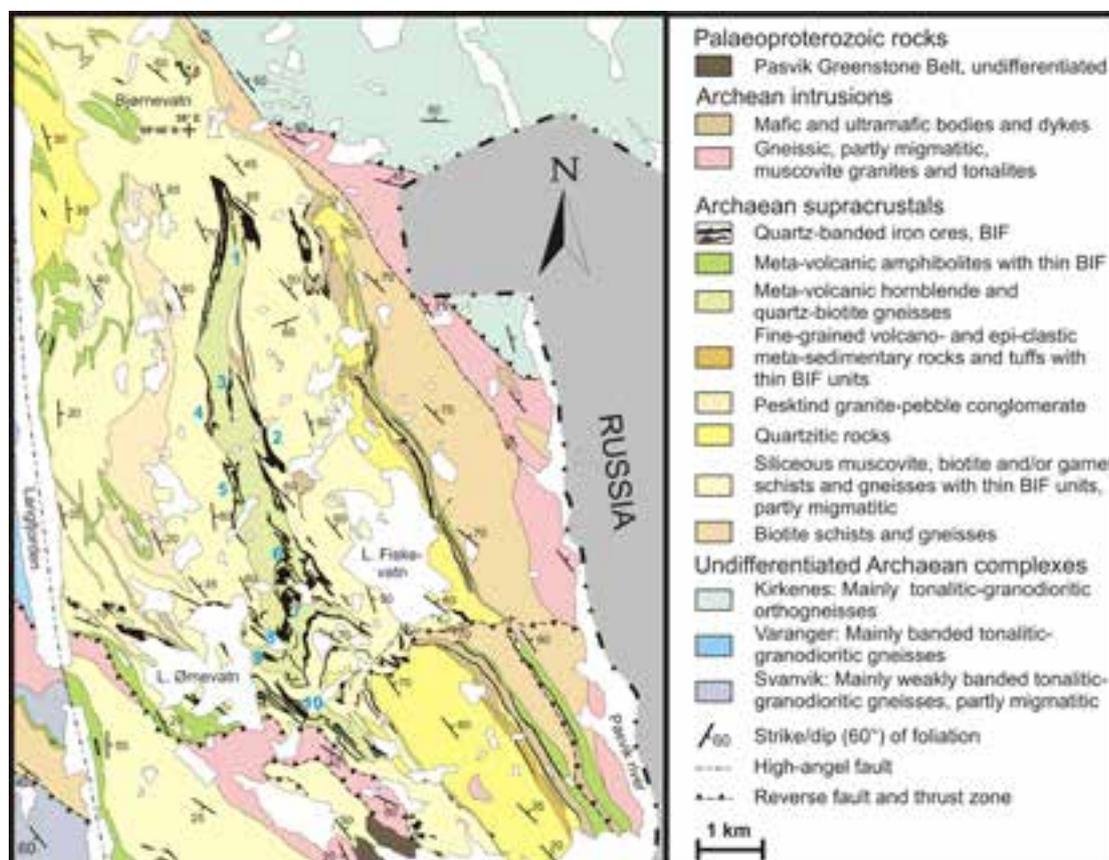


Рисунок 2. Геологическая карта района Бьорневатн.

Рудное поле Бьорневатн впервые было обнаружено уполномоченным по рудникам, Теллефом Далем, в 1865 году, но разработка не начиналась до 1906 года. Полномасштабная добыча началась в 1910 году компанией А/С Сюдварангер и продолжалась до 1997 года. Карьерная и второстепенная подземная добычи дали в общей сложности > 200 млн. тонн руды с содержанием около 30% Fe за этот период. Сюдварангер Груве АС перестала добывать руду в 2009 году: четыре из рудных тел (Бьорневатн, Кьеллманнссосен, Фискетинд и Бьорнфьелл) разрабатывались в 2014 году; вероятные запасы руды были 154 млн. т, содержащей 30,4% Fe (суммарное). Общий объем ресурсов (доказанные + номинальные + предполагаемые) был опубликован в 2015 году: 506,6 млн. т при 31% Fe (суммарное).

Медно-серебрянное месторождение Нуссир

Несколько, вмещаемых осадками, месторождений меди связаны с палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными горными породами, обнажающимися в тектонических окнах в пределах скандинавских Каледонид в западной части региона Финнмарк, северной Норвегии. Наиболее значительным является месторождение Нуссир в тектоническом окне Респарфьорд (ТОР) с предполагаемыми ресурсами 66 млн. тонн медной руды со средним содержанием 1,15% меди и выгодным количеством серебра и золота (www.nussir.no). Близлежащее месторождение Ульверигген (также в ТОР) имеет ресурсы 7,7 млн. т при содержании около 0,8% Cu. Около 3 млн. т руды со средним содержанием 0,66% Cu были добыты в период 1972-1979 годов из четырех открытых карьеров на этом месторождении.

Месторождение Нуссир расположено в верхней части группы Салтватн (Рисунок 3). Два нижних слоя являются минерализованными медью: самый верхний слой проходит по всей обнажающейся длине толщи (около 9 км). Золото и серебро хорошо коррелируются с медью, тогда как распределение минерализации ЭПГ отклоняется по отношению к основной медной руде. Медные минерализации в ТОР, в геологическом плане, похожи на Cu-месторождения медного пояса Центральной Африки и Купфершифер в Польше.

Месторождение железа Рана (Ёртфьелл)

Стратиформные, полосчатые железные руды в долине Дундерландсдал севернее города Мо-и-Рана встречаются в сильно деформированном блоке формации Дундерланд, включающей в себя различные сланцы и карбонаты с второстепенными амфиболитами. Толща, вмещающая железные руды, простирается от Мушээн на юге почти до Тромсе на севере, и, как полагают, имеет возраст 730-800 млн. лет. Есть несколько рудных месторождений в северной части района, но ни одно из них в настоящее время не является промышленным.

Железные руды встречаются, в основном, в виде серии тектонически расчлененных и плотно расположенных сегментов, редко превышающих 4 км в длину. Они встречаются как в линейных структурах толщиной до 30 м, так и в отдельных изоклинальных складках с рудными горизонтами двойной и тройной толщины в шарнирных зонах. Руды, как правило, мелкозернистые (<1 мм) и имеют полосчатое распределение оксидов железа в карбонат-содержащей кварцевой до пелитовой матрице. Руды могут быть разделены на несколько подтипов. Две наиболее важные руды включают в себя низко- и высокосодействующие фосфорные руды. Первая из них, содержащая 0,4-0,9% вес. P_2O_5 , как правило, наиболее железообогатенного типа и включает в себя как зеркальные руды гематита, так и руды магнетита, которые обычно представляют собой отдельные зоны в отдельных рудных телах. Весовое соотношение руд магнетита/гематита, добываемых в районе Ёртфьелл-Кваннватн, в настоящее время составляет около 1:7. Высокофосфорная магнетитовая руда (Fe-P) содержит >0,9 % вес. P_2O_5 и <0,2% вес. MnO. Месторождение Ёртфьелл, на сегодняшний день самое крупное в регионе, включает в себя рудник Кванневанн, который в настоящее время производит около 2,1 млн. т в год. Добыча руды на нынешнем уровне позволяет добывать до 2023 года.

Медно-цинковое месторождение Лёккен

Месторождение Cu-Zn Лёккен вмещается фрагментом офиолитового комплекса (кусочек древней океанической коры). Это месторождение было самым крупным, со-

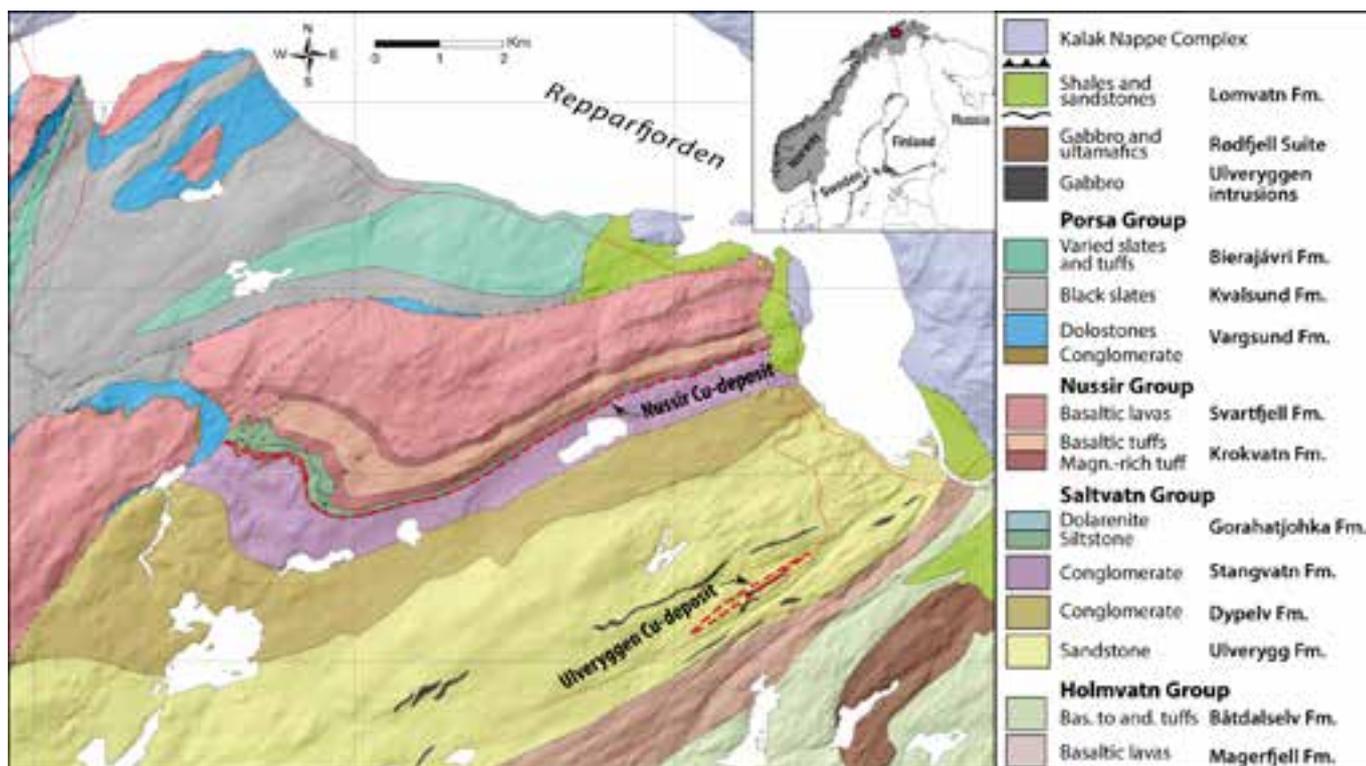


Рисунок 3. Геологическая карта северной части тектонического окна Реппарфьорда с отмеченными медными месторождениями Ульверигген (Реппарфьорд) и Нуссир.

Рисунок 4. Открытый карьер Кванневанн (глядя на восток): показаны руды и окружающая литология.

держатся в офиолите, вулканогенным массивным сульфидным месторождением в мире. Оно имело изначальный тоннаж около 30 млн. т при содержании 2,3% Cu, 1,8% Zn, 0,02% Pb, 16 г/т Ag и 0,2 г/т Au. Около 24 млн. т руды было добыто в течение 333 лет (1654-1987): 6-7 млн. т до сих пор остается в стволах и стенах шахты. Массивная сульфидная руда состоит, в основном, из пирита с второсте-

пенными халькопиритом и сфалеритом, в то время, как галенит, магнетит, гематит и борнит являются локальными второстепенными компонентами, а блеклая руда является наиболее важной второстепенной фазой. Кварц является основным не сульфидом, составляя 12-14% от руды.

Рутиловое месторождение Энгебё,
содержащееся в эклогите

Рутиловое месторождение Энгебё (Рисунок 5) представляет собой, субширотно простирающееся, тело длиной 2,5 км и до 0,5 км в ширину, состоящее из рутил-содержащего эклогита на северной стороне Фёрдефьорда в регионе Суннфьорд на западе Норвегии. Два типа титановых месторождений выявлены в регионе: магматические ильменит-магнетитовые месторождения, связанные с мезопротерозойскими интрузиями, и рутил-содержащие Каледонские эклогитовые горные породы. Эклогиты являются мафическими интрузиями, которые были преобразованы в эклогиты каледонским метаморфизмом высокого давления примерно 400 млн. лет назад, во время скандинавской континент-континент коллизионной стадии горообразования. Другие эклогитовые тела в регионе Суннфьорд (например, Орхея) также известны, как имеющие значительное содержание рутила.

Месторождение Энгебё выклинивается вверх к востоку, но продолжается на глубине в западном направлении. Основной объем рутилобогатых горных пород находится на глубине в центральной и западной частях месторождения. Наивысшая часть месторождения достигает 320 м над уровнем моря сразу к востоку от профиля А-А' на Рисунке 5 и месторождение продолжается, по крайней мере, до 150 м ниже уровня моря в западной части. Рудный тип эклогита содержит более

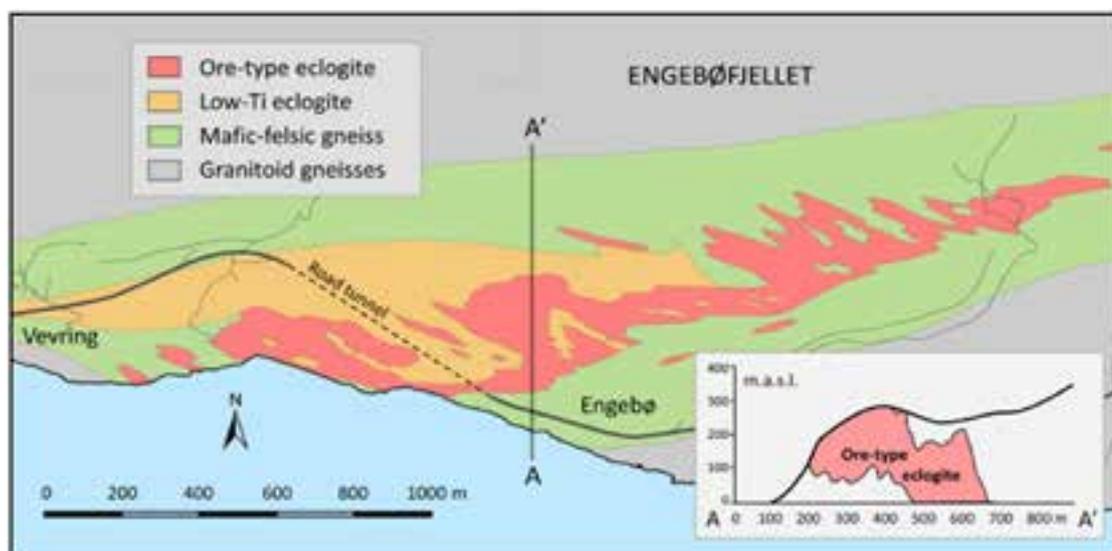
чем 3% вес. TiO_2 , а низкотитанистый эклогит <3% вес. TiO_2 с большими вариациями локально.

Геолог Ханс-Петер Гайс из компании Элькерн, вероятно, был первым, кто осознал промышленный потенциал рутила на Энгебё (в 1973 году). В последующие годы Энгебёфьелл был изучен на рекогносцировочной основе Геологической Службой Норвегии и также разными компаниями. В 2006 году норвежская компания Нордик Майнинг приобрела права пользования недрами на разведку и продолжила развитие месторождения. Этой компании удалось в 2015 году получить разрешение для размещения минеральных отходов на 300-метровой глубине в соседнем Фёрдефьорде. Месторождение в настоящее время развивается дальше, а годовой объем производства 80000 тонн рутилового концентрата на основе добычи 4 млн. т руды рутила, как ожидается, станет реальностью в 2019-2020 годах. Проект Энгебё является первым в мире, который будет основан на извлечении рутила из твердых пород.

Молибденовое месторождение Нордли

Пермско-каменноугольный палеорифт Осло включает в себя два полуграбена, содержащих осадочные породы кембро-силурийского возраста, деформированные во время каледонского горообразования и впоследствии перекрытые вулканитами, и пронизаны многочисленными массивами гранитных батолитов.

Рисунок 5: Геологическая карта рутилового месторождения Энгебё.



Гранитная интрузия Хурдал, расположенная в северной части рифта, и его контактные зоны содержат несколько типов молибденовой минерализации: наиболее важным является месторождение Нордли, штокверковая порфирировая минерализация обнаружена компанией Норск Гидро в 1978 году и интенсивно исследовалась до 1983 года.

Программа бурения привела к определению тоннажа в 200 млн. т при содержании 0,14% MoS₂ (отсечение 0,05% MoS₂), которое, как полагают, является крупнейшим молибденовым месторождением в Европе. Дальнейшее бурение, проведенное компанией Интекс в 2006-2008 годах, привело к незначительной корректировке оценки запасов до 210 млн. т при содержании 0,13% MoS₂ (отсечение 0,07% MoS₂) (Intex, 2015). Интекс владеет лицензией на эксплуатацию действительной до 2018 года, которая дает исключительные права на проведение горных работ.

Месторождения Галлуяври (никель-медное-МПП) и Райтеварри (медно-золоте) в зеленокаменном поясе Карасйок.

Палеопротерозойский зеленокаменный пояс Карасйок (ЗПК, Рисунок 6) является, находящимся на севере, продолжением Центрально-Лапландского зеленокаменного пояса (ЦЛЗП) Финляндии, простирающегося параллельно норвежско-финской границе в восточной части плато Финнмарк. ЦЛЗП содержит важные рудные тела нескольких типов, в том числе железные, золотые и медно-никелевые, некоторые из которых также выявлены на норвежской стороне от границы. ЗПК простирается через плато, покрытое арктической тундрой на высоте 200-600 м над уровнем моря: обнажения этого пояса редки, но регион привлекал золотоискателей и разведочные компании в течение нескольких периодов в 20-ом веке. Двумя наиболее важными целями были месторождение Галлуяври Ni-Cu-ЭПП и месторождение Райтеварри Cu-Au.

Ультрамафитовая интрузия Галлуяври расположена в 20 км юго-западнее города Карасйок. Считается, что толщина интрузии не менее 500 м при длине, по крайней мере, 5 км. Интрузия была последовательно изучена компаниями А/С Сюдварангер (1976-82),

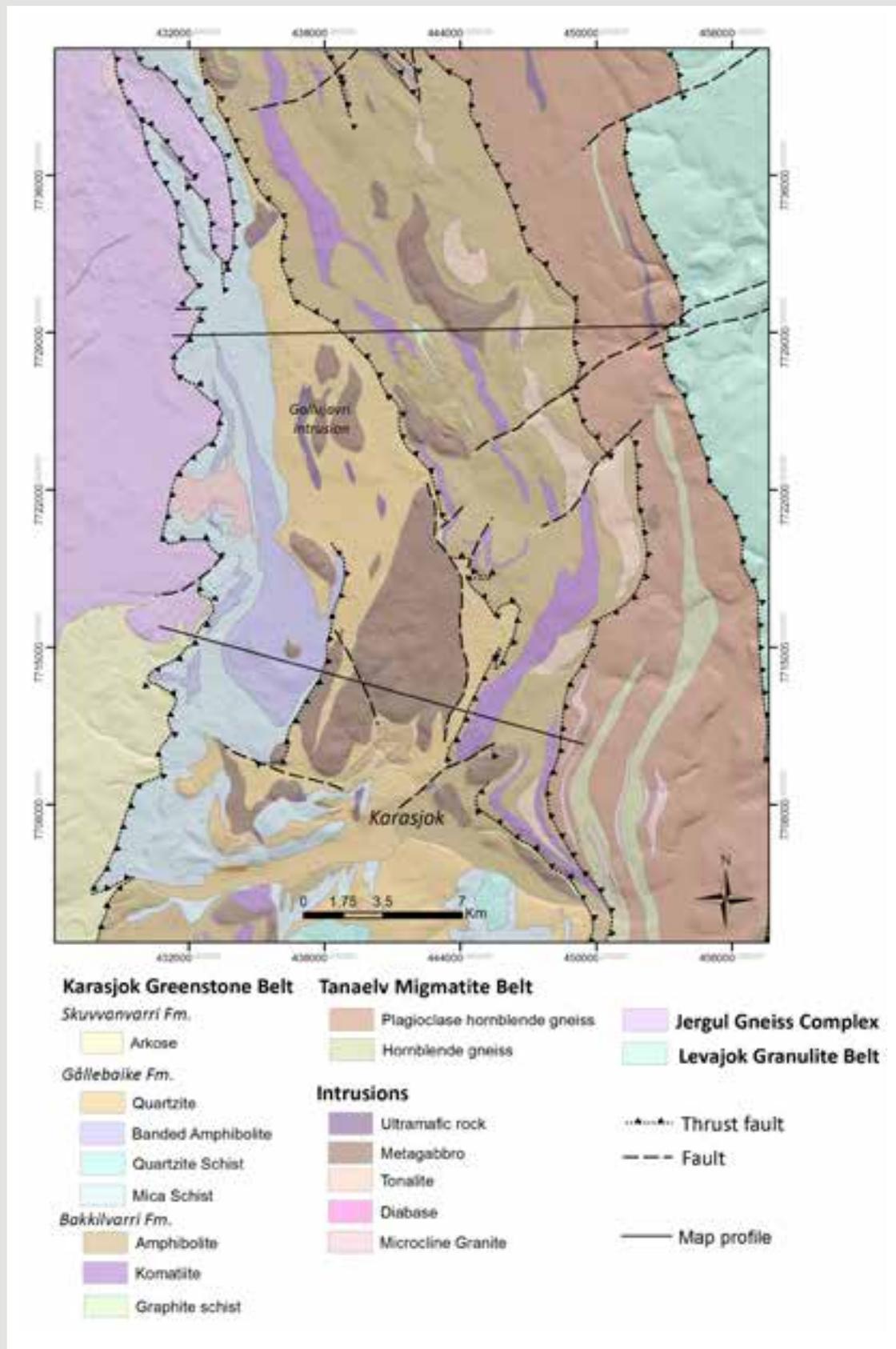
Тершиари Минералс плк (2002-2003), Англо Американ (2006-2010) и Сторе Норске Гюль (2011-2013): правами в настоящее время обладает компания Нуссир АСА. Обнажения на земной поверхности показывают наличие до примерно 4% вкрапленных сульфидов с содержанием до 0,42% Ni и 0,42% Cu в четырех отдельных областях минерализации, одна из которых обнажается вдоль простирания длиной 500 м. Задокументированное содержание благородных металлов достигает до 2,45 г/т Pt+Pd+Au. Таким образом, имеющиеся данные предполагают довольно высокое содержание металла в сульфиде.

Наличие аэромагнитных и гравиметрических данных высокого качества позволило создать трехмерную интерпретацию формы основных метавулканических единиц на Галлуяври и других интрузий в этом районе. Интерпретация указывает на то, что обнажающаяся часть интрузии Галлуяври является частью интрузии, простирающейся в северном направлении, которая может быть около 30 км в длину, погружаясь под небольшим углом на юго-восток, где она достигает глубины около 1 км.

Минерализация Райтеварри вмещается более чем в 25-километровом, спорадически обнажающемся блоке кварц-роговообманково-плагиоклазо-биотитового гнейса (гнейс Райтеварри), примерно в 30 км к юго-западу от города Карасйок. Притягательным для геологоразведочной промышленности было поверхностное проявление минерализации, порядка 10 км². Минерализация состоит из трех компонентов:

- в целом слабое распространение пирротина, пирита, халькопирита и/или сфалерита,
- слоисто-параллельное обогащение сульфидов близких к северо-восточному боку комплекса и
- минерализация вдоль зон разломов. По крайней мере, часть минерализации находится в контакте с блоком сульфидного графитного сланца вдоль северо-восточного контакта комплекса. 170 образцов горных пород показали максимальные значения 0,9 г/т Au, 0,76% Cu и 0,24% Zn.

Рисунок 6. Геологическая карта части зеленокаменного пояса Карасйок (из Skaar 2014). (Месторождение Райтеварри сразу на юге от границы карты).



Скважины, пробуренные компанией РТЗ, выявили значительные различия в содержании сульфидов: одна скважина содержит почти постоянное содержание сульфида 2-2,5% от поверхности коренных пород до глубины 120 м. В некоторых ядрах уровень сульфида практически постоянный 0,5%, а в других уровень 0,5% включает в себя участки до 10 м толщиной с повышенным содержанием сульфида (до 4%). Содержание задокументировано на низком уровне, неизменно <0,8% Cu на участках в 1 м, с золотом редко превышающим 0,5 г/т.

Сторе Норске Гюль провела обширную программу по отбору проб в 2009 году, а в 2008-2009 годах буровую программу из 28 скважин, суммарно пробурив 3443 м. Новые данные показали, что основная минерализованная зона простирается с северо-запада на юго-восток на расстояние 700 м при ширине 300 м: бурение подтвердило не только относительную непрерывность этой зоны, но и показало наличие ранее неизвестного минерализованного тела.

Архипелаг Шпицберген (норвежское название Свальбард)

Металлогения Шпицбергена плохо известна и подробная информация о каждом месторождении содержится, в основном, в неопубликованных отчетах компаний, написанных на русском или норвежском языках. Эти отчеты свидетельствуют о том, что преобладающими рудопроявлениями является эпигенетическая сульфидная минерализация, почти все из них на главном острове, Шпицбергене. Наличие других типов имеет локальное распространение в додевонских породах фундамента, и на современном уровне знаний, является второстепенным.

Хорошо известные примеры эпигенетических руд включают в себя Zn-Pb минерализации в Сант-Йонс-фьорде, Капп Минерале, Хорнсунде и Синкхолмене (Рисунок 7). Лишь немногие из этих минерализаций считаются имеющими какой-либо промышленный потенциал. Они включают в себя, связанные с трещинами, сфалеритовые и галенитовые минерализации, локально сопровождающиеся медьсодержащими минералами и ар-

сенопиритом в жильных карбонатах и/или в кварце. Эти минерализации сосредоточены, в основном, в додевонских породах фундамента, обнажающихся на поверхности в западных частях Западно-Шпицбергенского складчатого пояса, где они связаны с брекчиями и деформационными зонами. Разведочная площадь Сант-Йонс-фьорда в западной части Шпицбергена (Рисунок 7) известна своей сульфидной минерализацией, как это отражено в названии места «Куппер Камп (Медный Лагерь)» на южном берегу фьорда (Рисунок 8). Это место также отмечает северную окраину разведочной площади на золото Холмеслетфьелла.

Геохимические исследования каменистой осыпи (щебня) проводились в 1980 году в сотрудничестве - Геологической Службой Норвегии (НГУ), Сторе Норске Шпицберген Кулкомпани АС (СНШК) и Норск Гидро, приведя к открытию Au-As месторождения Свансен к северу от Конгсфьорда (Рисунок 7) и системы кварцевых жил, некоторые из которых с высоким содержанием Cu- и/или Au, сразу к западу от Вудфьорда. Присутствие золота и арсенопирита на месторождении Свансен было подтверждено последующим картированием коренных подстилающих пород и отбором проб.

Au-As минерализация Сант-Йонс-фьорд

Сторе Норске Гюль АС (СНГ), создана как дочерняя компания СНШГ в 2003 году, провела геохимическую разведочную компанию на земле Оскара II и земле Хокона VII (Рисунок 8) и начала разведочные работы на золото в регионе Сант-Йонс-фьорда в 2009 году. Минерализованная зона характеризуется наличием пирита и арсенопирита и содержит до 55 г/т золота, обнаруженного в надвиговой зоне на Холмеслетфьелла. Исследование, в том числе программой бурения, было продолжено в 2010 году, но вся деятельность была прекращена летом 2013 года, когда компания СНГ была продана. Права на минерализованные области к югу от Сант-Йонс-фьорда, однако, были переданы компании СНШГ.

Образцы каменистой осыпи (щебня) и коренных пород показывают широкий диапазон содержания золота с самыми высокими зна-

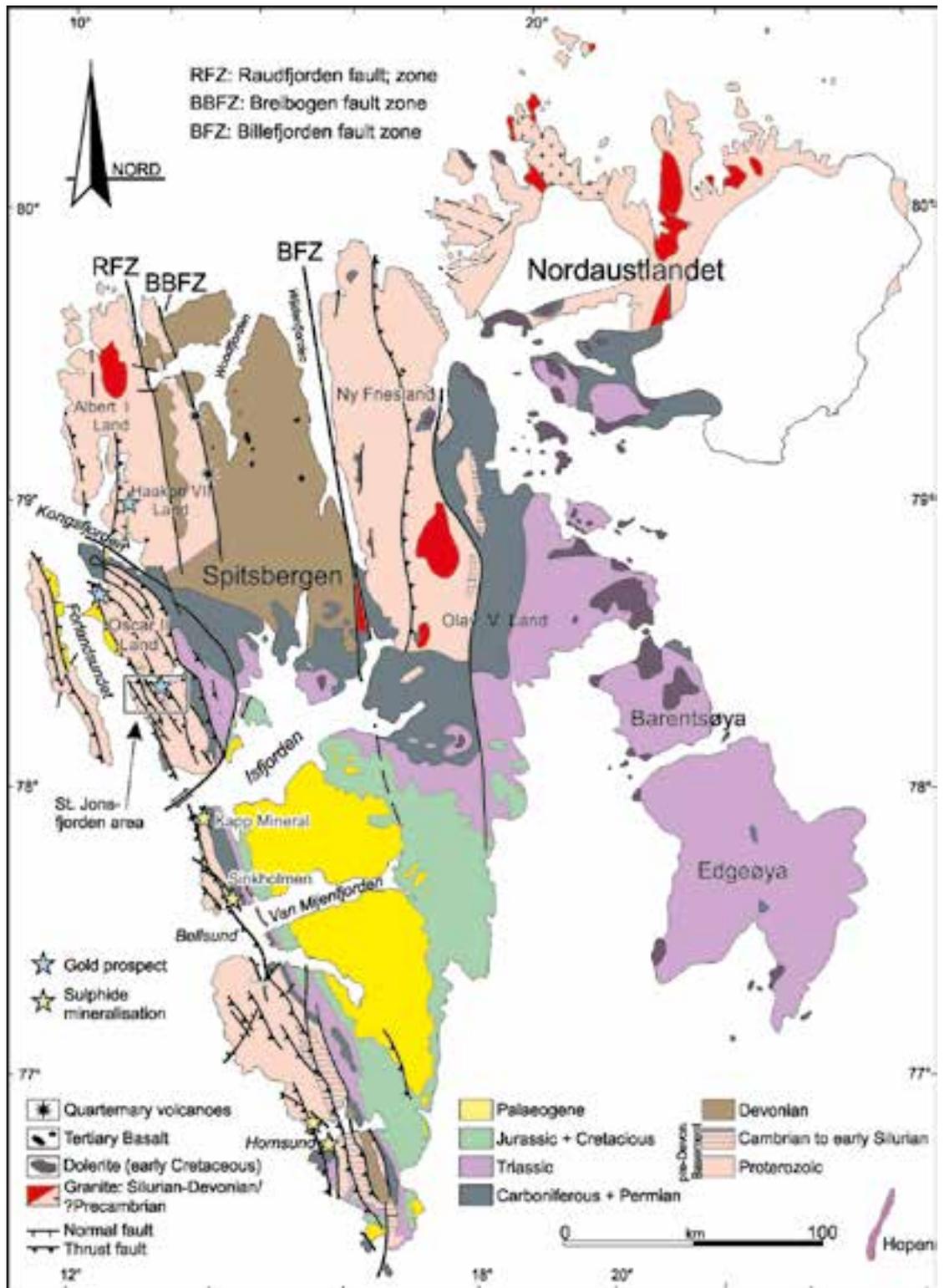


Рисунок 7. Геологическая карта Шпицбергена (Свальбарда). На карте также показано расположение перспективных районов на золото в западной части Шпицбергена (Сторе Норске Гюль АС) и расположение разведочной площади Сант-Йонс-фьорд.

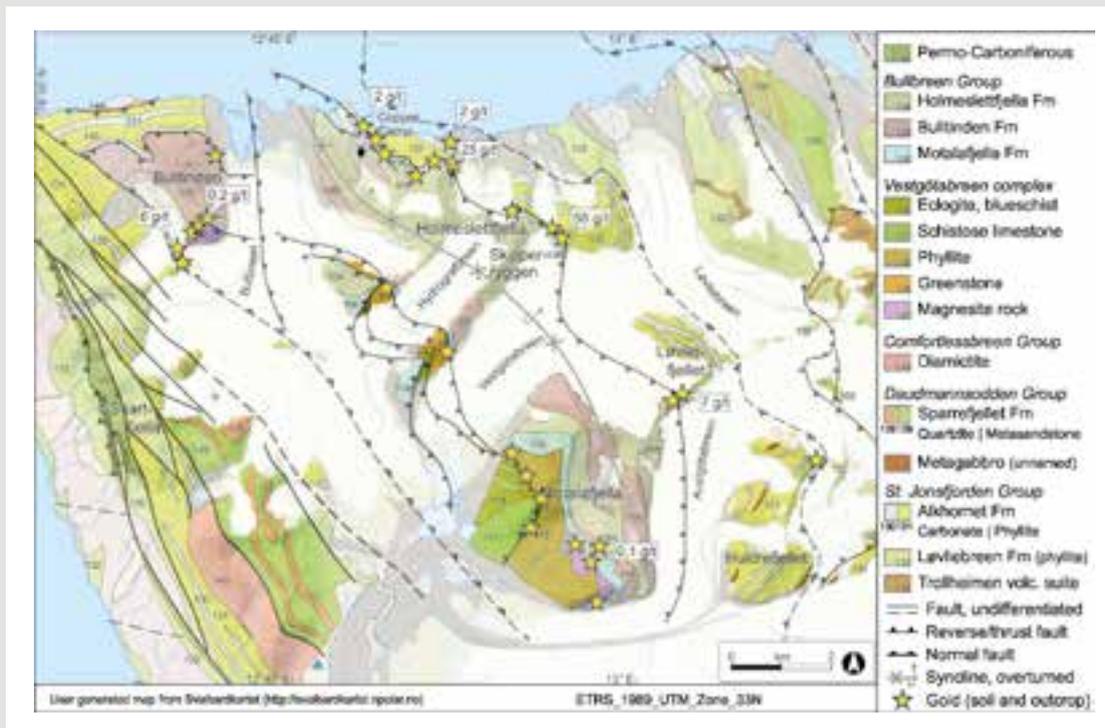


Рисунок 8. Геологическая карта разведочной площади Сант-Йонс-фьорд (с изменениями после Bergh и др., 2003), показывающая значения золота (г/т) из выборочных участков образцов каменной осыпи (щебня) и из образцов коренных пород (курсив = валуны) (Ojala, 2012).

чениями 55 г/т (в обнажениях вдоль надвига к северо-востоку от Скипперригген), некоторые валуны показывают до 25 г/т (северная Холмеслеттфелла) и большинство значений содержания золота изменяются в диапазоне от 0,1-0,2 г/т до значений от 2 г/т и до 6-7 г/т. Карта (Рисунок 8) показывает четкую пространственную связь между золотой минерализацией и палеогеновыми надвиговыми зонами, особенно вдоль верха и основания надвигов надвиговых пластин, содержащих складчатую группу Буллбреен. Наличие повышенных значений золота по простиранию длиной в несколько километров в двух, и, возможно, трёх структурно-ограниченных зонах четко квалифицирует минерализацию Сант-Йонс-фьорда как "потенциально крупную". Структурный контроль оруденения Au-As на основании поверхностных отношений подтверждается результатами бурения.

Au-As минерализация Свансен

Au-As минерализация Свансен к северу от

Конгсфьорда (Рисунок 7) вмещается полосчатыми метапесчаниками и кварцитами, предположительно протерозойского возраста. Многочисленные, в основном, согласные кварцевые жилы, удлинённые рудные линзы и прожилки в см до дм масштабах встречаются в метаосадках, но метровой ширины кварцевые слои являются редкими (Sandstad 1989). Как вмещающие породы, так и кварцевые тела сильно деформированы и смяты в складки. Золото имеет пространственную взаимосвязь с кварцевыми жилами/гребнями, а также сильно будинированными участками метаосадков. Золотые значения грейферных и канальных образцов варьируют от нескольких частей на миллиард до около 80 частей на миллион. Золото имеет сильную положительную корреляцию с As и S и встречается, в основном, в виде свободного золота с зернами до 0,3 мм, хотя размеры зерен под 50 мкм являются более распространёнными.

ШВЕЦИЯ⁸

История добычи полезных ископаемых - ранние времена

История горнодобывающей промышленности Швеции начинается, как показали археологические исследования, в местности Бергслеген, на юге центральной Швеции, две тысячи лет назад. Регион Бергслеген является сильно минерализованной областью, состоящей из вулканических и осадочных горных пород, которые были метаморфизованы, деформированы и пронизаны несколькими поколениями магматических пород. Бергслеген является одним из нескольких рудоносных районов Швеции, которые были сформированы и затронуты свеко-норвежским орогенезом (2,0-1,8 млрд. лет назад).

Свидетельства ранней добычи полезных ископаемых найдены к северу от Упсалы, где фрагменты железной руды встречаются возле сыродутных горнов, датированных Римским железным веком (0-400 н.э.). Пыльцевой анализ и датировка древесного угля показывает, что медный рудник Фалун разрабатывался в раннюю эпоху викингов,

400-800 гг. н.э.. С тех пор, месторождение эксплуатировалось непрерывно, вплоть до закрытия рудника в 1992 году, с пиком производства меди в середине 17-го века. Археологические исследования доменной печи Лапхюттан в районе Норберг, центральный Бергслеген, показывают, что чугун выплавлялся современными методами в течение 13-го века.

Ранние письменные документы о горных работах датируются 13-ым веком. Первый документ, упоминающий рудник Фалу от 1288 года (Рисунок 1), и имеет дело с долями в добыче полезных ископаемых, таким образом делая шахту Фалу одной из старейших, если не самой старейшей, акционерной компанией в мире. Текущим воплощением этой компании является шведско-финская лесопромышленная компания Стора Енсо. Эта шахта была зарегистрирована в качестве объекта Всемирного наследия в 2001 году.

Месторождения железа, меди и серебра - металлов, которые имели наибольшее значение в Бергслеген, как правило, размещаются в вулканических и осадочных горных породах,

Рисунок 1. Панорамный вид на открытую разработку на медном руднике Фалун.



⁸ Написано Андерсом Халльбергом, Геологическая служба Швеции

имеющих возраст 1,91-1,88 млрд. лет. Замещение карбонатных горных пород интрузиями как в вулканических, так и в осадочных горных породах, образует скарн, являющийся наиболее распространенным типом руды в Бергслагене.

17-ый век

В конце 16-го и в начале 17-го века, спрос на железо и сталь увеличился и проложил путь для технологических усовершенствований рудников, доменных и плавильных печей в Бергслагене. Также, в это же время, быстро возрастали спрос и производство меди и других цветных металлов. Изначально, будучи небольшими предприятиями, управляемыми местными фермерами, рудники, плавильные и доменные печи стали крупными промышленными единицами.

Промышленная революция

Промышленная революция, начавшаяся в начале 19-го века на европейском континенте, достигла Скандинавии немного позже, принеся новые производственные процессы и увеличив, в то же время, спрос на металлы, особенно железо. Паровые двигатели, эффективные насосы, железные дороги, взрывчатые вещества, методы обработки фосфоробогатенной (апатитсодержащей) железной руды и использование каменного угля вместо древесного угля в доменных печах - это только некоторые из новшеств, которые модернизировали горнодобывающую промышленность. Эти изменения полностью видоизменили промышленный пейзаж Швеции, а развитие шведской железнодорожной сети позволило начать широкомасштабную добычу руд за пределами района Бергслаген.

Началась новая промышленная эра, и многие иностранные компании и предприниматели, в основном из Великобритании, помогли финансово и технически в расширении инфраструктуры и промышленности. Параллельно, так и во взаимодействии с расширением разведки и горнодобывающей промышленности, в Швеции было потрясающее развитие машиностроительной промышленности, которая поставляла оборудование для разведки, добычи и переработки полезных иско-

паемых в конце 19-го и 20-ом веках. Примерами являются Сандвик, Атлас Копко и АСЕА (ныне АББ). Компания Сандвик была основана в 1862 году изначально, как предприятие, поставляющее горно-буровое оборудование для разведки и горнодобывающей промышленности. За счет слияний и поглощений машиностроительная промышленность была объединена, формируя многонациональные компании в Швеции и Финляндии, которые сегодня являются лидерами мирового рынка, как поставщики для разведки, так и для горнодобывающей промышленности. Компания Атлас Копко была основана в 1873 году с целью производства и продажи оборудования для железнодорожного строительства и эксплуатации. Сегодня инструменты компании Атлас Копко могут быть найдены в шахтах по всему миру. В 1893 году АСЕА построила первую шведскую трехфазную систему передачи электрической энергии для железного рудника Гренгесберг.

Железные руды в Норрботтен, на крайнем севере Швеции, обнаруженные еще в 17-ом веке, стали разрабатываться с приходом железной дороги. Железная дорога между Мальмбергетом и побережьем Балтийского моря была завершена в 1888 году. Добыча на железорудном месторождении Мальмбергет затем поднялась с 60 тонн до 600 000 тонн в течение нескольких лет. Пятнадцать лет спустя, железная дорога достигла Нарвика в Норвегии и открыла путь между Балтийским морем и Атлантическим океаном, который проходит через несколько крупных месторождений железа северной Швеции, в том числе Кирунавара. В 1903 году добыча руд в Мальмбергете и Кирунаваре составила более 50% всей железной руды, добытой в Швеции. Эти шахты на севере имеют лидирующие позиции до сих пор. На сегодняшний день, большая часть железной руды, добытой в Швеции и в Европе, поступает именно из этих двух шахт. Гигантские месторождения Кирунаваре и Мальмбергет и несколько аналогичных, но более мелких месторождений железа, являются, так называемыми, апатит-железными (магнетитовыми) рудами, образованными 1,91-1,88 млрд. лет назад во время свеко-норвежского орогенеза.

Свекокарельский орогенез также затронул

древние породы, которые встречаются в районе Норрботтен. Самая северная часть состоит из архейских метаморфизованных гранитных пород, с небольшим количеством гнейсовых пород супракристалльного происхождения с возрастными до 2,7 млрд. лет. В палеопротерозойское время, примерно 2,3 млрд. лет назад, архейские горные породы были расколоты и прорваны изверженными породами, с последующим накоплением осадочных, вулканических и карбонатных горных пород в рифтовой тектонической обстановке. Эти, так называемые, карельские супракристалльные породы составляют самую старейшую рудоносную формацию Швеции с важными месторождениями железа и меди, а именно месторождения скарновой железной руды в районе Паяла (Тапули, Стора Сахавара и т.д.) и медное месторождение Вискария возле города Кируна.

Во время свекокарельского орогенеза, древние горные породы были деформированы и метаморфизованы, а также обширная вулканическая активность привела к образованию вулканических пород различного состава, которые, наряду с осадочными породами, отложились поверх древних пород. Одновременно с этими супракристалльными горными породами, были сформированы апатит-магнетитовые месторождения Кирунаваара и Мальмбергет, а также большое медное месторождение Айттик.

1920-е годы - новый рудный район

В течение первых десятилетий 20-го века, шведскими банками были созданы несколько небольших холдинговых компаний, под названием "emissionsbolag". Одной из них был Централгруппенс Емиссионсболаг, с миссией по приобретению акций новых горнодобывающих компаний и по развитию рудников. Таким образом, это была своего рода ранняя юношеская разведочная компания. В 1924 году, в то время, когда компания была на грани банкротства, было обнаружено золото-медно-мышьяковое месторождение Болиден. Оно было введено в эксплуатацию через два года.

В последующие годы, с помощью недавно разработанных геофизических приборов,

несколько новых массивных сульфидных месторождений были найдены к западу от Болиден. В настоящее время эти месторождения и их вмещающие породы, образуют район Шеллефтео, один из наиболее важных в настоящее время рудных регионов Европы с пятью действующими рудниками и двумя обогатительными предприятиями.

Рудоносные горные породы в районе Шеллефтео состоят из вулканических пород, отложенных в условиях вулканических дуг и связанных с ними осадочных пород. Вместе со слоистыми песчано-сланцевыми отложениями и крупнозернистыми осадочными породами на юге, они составляют регион Ботния-Шеллефтео, один из регионов, образованных во время свекокарельского орогенеза.

Золото-медное месторождение Болиден, цинк-медное месторождение Кристинеберг, несколько других массивных сульфидных месторождений в районе Шеллефтео, а также медно-порфировое месторождение Талберг были сформированы в тесной связи с вулканической деятельностью. Некоторые месторождения золота, расположенные в непосредственной близости от района Шеллефтео, вероятно, были сформированы на более поздних стадиях орогенеза.

Открытия все еще случаются в районе Шеллефтео. Например, месторождение золота Бьеркдал было открыто в 1985 году с использованием геохимических методов (до отбора образцов) и начало эксплуатироваться в 1988 году. До сих пор (2016 г.) в эксплуатации. Месторождение золота Окерберг было открыто в 1988 году и было в разработке с 1989 по 2001 год. Одно из самых богатых месторождений цинка и меди, когда-либо, найденных в регионе, месторождение Сторлидален, было открыто в 1997 году и разрабатывалось с 2002 по 2008 год. С открытием золото-теллурического месторождения Канкберг в 2012 году, новый сырьевой продукт, теллур, был добавлен к списку добываемых металлов.

Каледониды

Каледонский надвиговый покров (Каледониды) представляет собой еще один важный

минерализованный регион, чей металлический потенциал был известен в течение длительного времени. Несмотря на отсутствие инфраструктуры и, в последнее время, политику в области охраны окружающей среды, что ограничивает разведку и эксплуатацию, несколько попыток разработки были сделаны на протяжении многих лет.

Во время каледонского орогенеза, горные породы, образованные от неопротерозойского до палеозойского времени, включая островные дуги и осадочные породы, вместе с древней земной корой были надвинуты в восточном направлении на ранее существующую Фенноскандинавскую земную кору. Важными рудоносными формациями являются надвиговой комплекс Коли, содержащий массивные сульфидные месторождения, сформированные в условиях островной дуги, и надвиговой комплекс Севе, который как предполагается, включает в себя месторождения меди, вмещаемые осадками.

Одна из старейших горных выработок была в середине 17-го века на месторождении серебра Насафьялл недалеко от норвежской границы. Месторождение меди Фреа, содержащееся в надвиговом комплексе Севе, было найдено в середине 18-го века и разрабатывалось с перерывами. Поздний период исследований Геологической службой Швеции (с 1910 по 1919 год) в каледонидах привел к открытию нескольких массивных сульфидных месторождений, размещенных в надвиговом комплексе Коли. Единственное месторождение, которое находилось в эксплуатации, это Стекенйокк. Это месторождение разрабатывалось на медь и цинк в период с 1976 по 1988 год.

Основание каледонских надвиговых покровов состоит из платформенного чехла осадочных пород от неопротерозойского до палеозойского возраста. Они локально содержат свинцово-цинковые месторождения, содержащиеся в песчанике, так называемого Лаисвал-типа и урановое оруденение в кварцевых глинах (черных сланцах). Эти породы также встречаются в виде надвиговых покровов в каледонидах.

Галенит-содержащие песчанистые валуны,

найденные в 1938 году, привели к открытию свинцово-цинкового месторождения Лаисвал, эксплуатация которого началась в 1943 году, главным образом, в качестве меры по обеспечению внутренних поставок свинца во время Второй мировой войны, но оно оказалось экономически выгодным и в мирное время, и добыча продолжалась до 2001 года. Поиск, содержащихся в песчанике свинца и цинка, привел к нескольким открытиям подобной минерализации вдоль Каледонского фронта, и месторождения Вассбо и Гуттушье, в 500 км к юго-юго-западу от Лаисвала, также были в эксплуатации.

Дополнительные открытия

Улучшенная инфраструктура также открыла Северный регион по разведке других сырьевых продуктов. В 1930 году были обнаружены валуны из того, что в будущем стало крупным медным месторождением Айттик. Десятилетия разведки и разработки, в конечном итоге, привели к открытию этого рудника в 1968 году. Первоначальная добыча составляла 2 млн. т в год, а после нескольких этапов расширения, последний из которых одобрили в 2010 году, были сделаны планы по ежегодной добыче в 36 млн. т в год к 2015 году. Эта цель была достигнута и превышена уже в 2014 году, когда 39,09 млн. т при 0,2% меди, 0,09 г/т золота и 2,14 г/т серебра были добыты и обработаны.

В 1973 году была обнаружена медно-минерализованная зона, в 4 км к западу от месторождения железной руды в Кируне (Godin 1976). Первоначальным методом разведки было распознавание "медного цветка", *Смолки альпийской* (*Viscaria Alpina*), и шахта, которая была названа Вискария по названию цветка, была в эксплуатации с 1982 по 1997 год. В настоящее время существуют передовые планы вновь открыть эту шахту.

Самый последний горнодобывающий регион, признанный в Швеции, является так называемый «Голд Лайн» в Вестерботтене. Голд Лайн относится к простирающейся на юго-восток золотой аномалии, обнаруженной Государственным добывающим комитетом (NSG) во время геохимических исследований валунной глины в конце 1980-х годов.

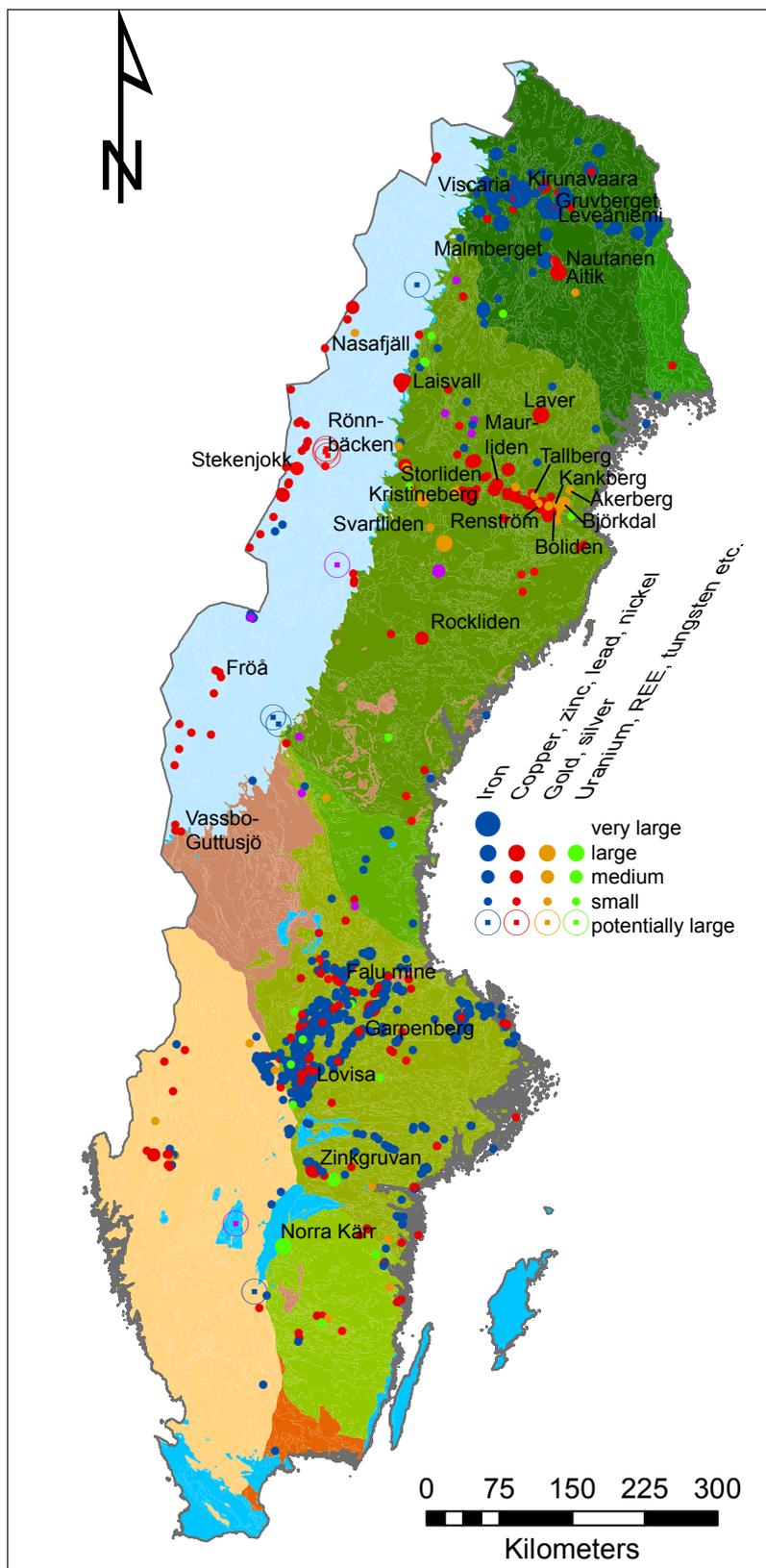


Рисунок 2. Месторождения металлов в Швеции, классифицированные в соответствии с критериями для проекта Фенноскандинавских рудных месторождений (Eilu и др., 2007).

Первым открытым месторождением, а затем и запущенным в эксплуатацию, было месторождение золота Свартлиден. Несколько других месторождений золота в этом районе находятся на стадии развития.

Состояние на конец 2015 года

На сегодняшний день существует 13 металлических рудников в эксплуатации в Швеции (расположение активно-разрабатываемых месторождения упомянутых в этом разделе см. на Рисунке 2). Самым старым эксплуатируемым месторождением является месторождение Гарпенберг, которое, согласно документам, было в разработке в 1402 году, но, вероятно, было в эксплуатации задолго до того. Гарпенберг является цинк-свинцово-медным месторождением со значительным содержанием серебра. Недавние исследование и инвестиции вблизи шахты коренным образом увеличили добычу шахты. На сегодняшний день (2015) годовой объем добычи составляет 2,367 млн. т при 5% цинка, 2,2% свинца и 156 г/т серебра плюс некоторое количество меди и золота. В шахте Цинкгруван, цинковые и свинцовые руды добываются в больших масштабах с 1857 года. В последние годы часть руды, обогащенная медью, также разрабатывается. В 2015 году было добыто 1,126 млн. тонн руды при 8,3% цинка, 3,8% свинца плюс 0,139 млн. тонн руды при 1,7% меди; общий объем 1,265 млн. тонн руды.

В районе Шеллефтео находятся (в 2015 году) четыре шахты в эксплуатации. Шахты Кристинберг и Ренстрем были в эксплуатации с 1935 и 1948, соответственно. На обоих месторождениях медно-свинцово-цинковые руды с некоторым содержанием золота добывались и перевозились на обогатительное предприятие в деревне Болиден. Рудник Маурлиден является местом добычи открытым способом и находится в разработке с 2000 года, добывая тип руды, подобный вышеописанному. Рудник Канкберг, с другой стороны, производит добычу золота и теллура из подземной выработки. В 2015 году эти четыре шахты в районе Шеллефтео дали 1,879 млн. тонн руды на обогатительные предприятия.

В Бьеркдал золотоносная руда добывается из открытых карьеров и под землей. В 2015 году

месторождение дало 1,302 млн. тонн руды при 1,22 г/т золота.

Гигантский рудник Айттик является медно-порфировым месторождением, где мелкозернистый халькопирит распространен во вмещающих породах. Эффективность и высокая степень автоматизации делают открытые горные работы рентабельными даже при низких сортах руды. В 2015 году было добыто 36,361 млн. тонн руды при 0,21% меди и 0,14 г/т золота.

В Кирунаваре, Мальмбергете, Левезниями и Грувбергет добывается апатит-железная руда. В 2014 году эти четыре апатит-магнетитовые месторождения дали 30,6 млн. тонн при содержании железа примерно 45%.

Будущее

Концепция "зрелого месторождения" и "нового месторождения" часто используется горными инженерами и исследователями при разведке, и будущая деятельность по добыче в Швеции также может быть описана с использованием этих терминов. Результаты разведки как зрелых, так и новых месторождений указывают на большой потенциал для будущей добычи в Швеции.

Разведочные работы на зрелом месторождении означают поиск новой руды недалеко от уже существующих месторождений.

Некоторые примеры:

- Лавер, Норрботтен (в эксплуатации 1934-1946): новая разведка показывает, что минерализованная площадь значительно больше, чем считалось ранее, и имеет очень большой ресурс при низком содержании меди в руде.
- Ревлиден (в эксплуатации 1936-1991): новые ресурсы, определены в непосредственной близости от закрытой шахты.
- Наутанки (1902-1907, 1915, 1918): новые ресурсы, выявленные на историческом месте шахты.
- Левезниями (в эксплуатации 1964-1982, возобновлено в 2014 году): увеличили объем ресурсов.
- Вискария (в эксплуатации 1982-1997): закрытая шахта, где были выявлены новые медные и железные ресурсы.
- Разведочные работы по новому месторождению в тех районах, где не было шахт, находившихся в эксплуатации в прошлом.
- Роклин: новое открытие, сделанное в 1980-х годах. Пересмотренная смета ресурсов указывает на значительные объемы руды.
- Норра Карр: месторождение редкоземельных элементов (РЗЭ) известно с 1906 г. В настоящее время определено в качестве важного ресурса РЗЭ.
- Реннбакен: вначале тальк-ресурс, в настоящее время определено, как потенциально большой источник никеля.

ФИНЛЯНДИЯ⁹

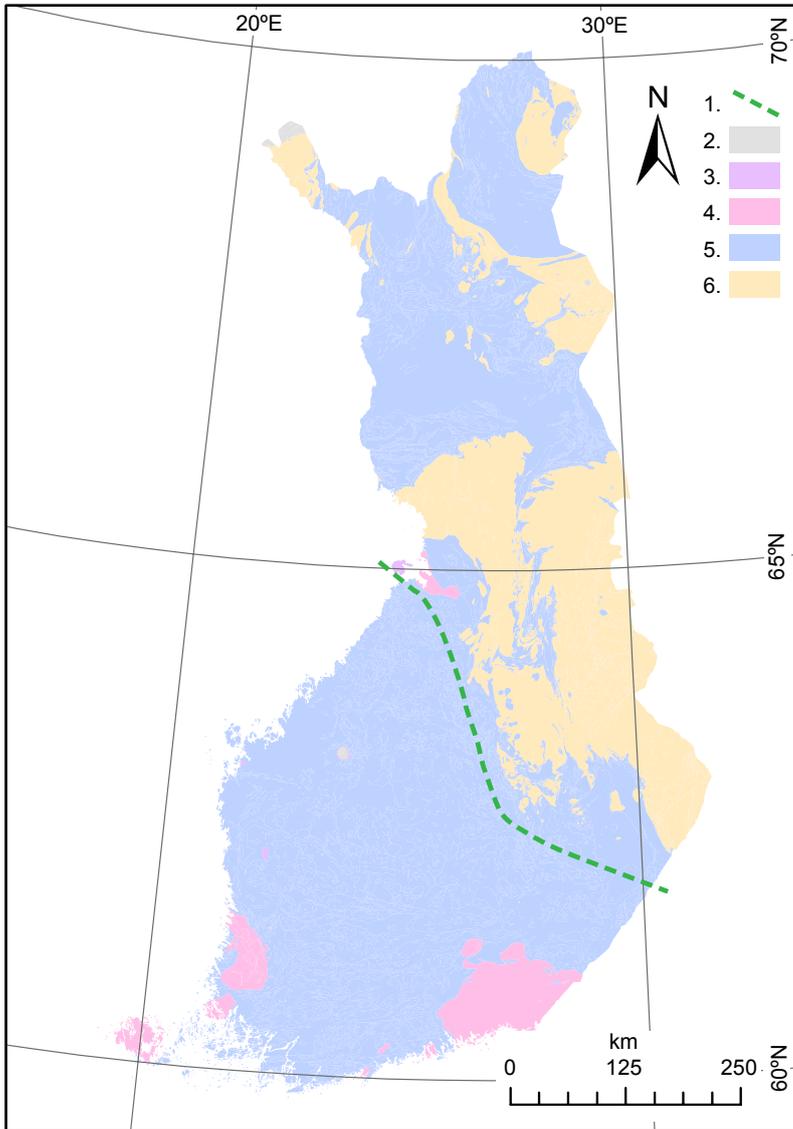


Рисунок 1. Основные геологические единицы Финляндии. 1. Наиболее южное простираие Архейской земной коры. 2. Палеозойские горные породы. 3. Неопротерозойские горные породы. 4. Мезопротерозойские горные породы. 5. Палеопротерозойские горные породы. 6. Архейские горные породы.

Краткое геологическое описание

Финские коренные подстилающие горные породы состоят, практически полностью, из докембрийских пород, которые являются частью Фенноскандинавского щита. Основная масса финских коренных пород образовалась в течении четырех временных периодов. Самая древняя часть состоит из архейского фундамента, возрастом 3200-2700 млн. лет, и вышележащих палеопротерозойских вулканогенно-осадочных покрывающих пород, возрастом 2500-1920 млн. лет (Рисунок 1). Южная часть финских коренных пород была сформирована во время свекофеннского орогенеза 1930-1770 млн. лет назад и последующего мезопротерозойского рапакиви-магматизма 1640-1460 млн. лет назад. Более молодые неопротерозойские и палеозойские осадочные породы, карбонатитовые и щелочные интрузии известны, но они составляют лишь малую часть коренных пород Финляндии.

Каждый из упомянутых выше основных этапов приводил к различным металлогеническим характеристикам и зонам. Во время архейского периода, были сформированы экономически важные месторождения Au, Au-Ag, Ni-Cu и Mo. Кроме того, одно из наиболее значительных разрабатываемых в настоящее время месторождений P также было сформировано во время архейского периода. Раскалывание архейского суперконтинента, около 2440 млн. лет назад, привело к массивному магматизму и образованию значительных месторождений Cr, Fe-Ti-V, металлов платиновой группы (МПГ) и Ni-Cu-МПГ. Последующий рифтогенез архейского фундамента, около 2050 млн. лет назад, привел к магматизму, который дал Ni-Cu месторождения. Осадконакопление в рифтовых бассей-

⁹ Написано Теро Нираненом и Паси Еилу (Геологическая служба Финляндии - GTK)

нах привело к образованию черных сланцев, содержащих месторождения Ni-Zn-Cu. Распад континента сопровождался формированием новой океанической коры и рудообразующими процессами, связанными с дном океана. В результате этого образовались значительные месторождения Cu-Co-Ni. Наиболее продуктивный металлогенический этап в Финляндии произошел во время сложного свекофеннского орогенеза 1930-1770 млн. лет назад. В это время были сформированы несколько различных типов месторождений Ni-Cu, Cu-Zn, Au, Au-Ag и Li вдоль границ сходящихся плит, магматических и метаморфических террейнов. До сегодняшнего дня никаких существенных месторождений металлов, связанных с кислым (рапакиви) магматизмом 1640-1460 млн. лет назад, обнаружено не было, но потенциал интрузий рапакиви для размещения высокотехнологичных металлов, включая редкоземельные элементы (РЗЭ), все еще исследуется. Алмазоносные кимберлитовые трубки с возрастом около 600 и 1200 млн. лет были обнаружены в восточной части страны. Фосфорные месторождения известны в девонских щелочных и карбонатитовых интрузиях с возрастом 420-360 млн. лет, и РЗЭ потенциал этих интрузий также в настоящее время исследуется.

История добычи полезных ископаемых 16-ый – 19-ый века

Железорудная шахта Оямо, которая начала разрабатываться в 1530 году, считается первой шахтой по добыче металла в Финляндии. Вслед за этим, более 350 рудников были в эксплуатации до Второй мировой войны. Масштаб производства на этих рудниках был скромным, хотя добыча и играла важную роль в неспешно развивающемся обществе. До 1920-х годов в рудниках, в основном, добывали железную руду для металлургических заводов на юге Финляндии. Добыча сульфидной руды была, в основном, из одного рудника, Ориярви (Cu-Zn) на юго-западе Финляндии. С 1530 года до конца 19-го века выработка руд металлов составила 1,4 млн. т, из которых сульфидные руды составляют 1,0 млн. т (большинство из которых было выработано после 1850 года) и железные рудники 0,4 млн. т.

20-ый век

Современная горнодобывающая промышленность Финляндии начала формироваться с рудного месторождения Оутокумпу. Это месторождение было открыто в 1910 году, и к 1928 году оно стало самой крупной сульфидно-рудной шахтой в стране. Мелкомасштабная добыча началась сразу же в 1910 году, добыча постепенно увеличивалась в 1920-х и 1930-х годах, и суммарный выход руды был почти 6 млн. т между 1930 и 1945 годами. За время ее существования (1910-1989), около 28 млн. т руды было добыто и 1 млн. т меди было произведено. Месторождение никеля Петсамо (Печенга) было открыто в 1921 году, в самом северо-восточном уголке Финляндии. Развитие рудника в Петсамо было сложным, но в конце концов, в период 1936-1944, было добыто около 0,5 млн. тонн руды, сначала в качестве финско-канадского сотрудничества, а позже, во время Второй мировой войны, Германией. Война между Финляндией и Советским Союзом завершилась в сентябре 1944 года, и регион Петсамо был впоследствии передан Советскому Союзу.

Вскоре после войны, в конце 1940-х годов, были открыты рудники Айала (Cu) и Отанмяки (Fe-Ti-V). Отанмяки постепенно превратился в глобально значимый ванадиевый рудник, ответственный за производство около 10% ванадия в мире в 1960-х и 1970-х годах. Семь металлических рудников были открыты в 1950-х годах, включая рудники Виханти (Zn) и Коталахти (Ni). Наиболее активный период развития рудников до сегодняшнего дня в Финляндии был в 1960-1980 годах, когда более двадцати металлических рудников были введены в эксплуатацию. Наиболее важными были все еще действующие шахты Кеми (Cr) и Пихясалми (Zn-Cu). Как следствие, общий объем производства металлической руды достиг своего пика в 1979 году на уровне чуть более 10 млн. тонн. Несколько небольших рудников были открыты в 1980-х годах, но в то же время ряд крупных рудников были закрыты, а общий объем производства постепенно снизился до примерно 3 млн. тонн в начале 2000-х годов.

До открытия рудников Талвиваара и Кевитса в 2008 и 2012 годах, соответственно, круп-

нейшим сульфидным рудником в Финляндии был Пихясалми. Месторождение было открыто в 1958 году, когда местный фермер выкопал колодец через перекрывающие слои до погребенной массивной руды. К концу 2014 года было добыто более 53 млн. тонн руды, а запасов оставшейся руды хватит еще на 5 лет добычи.

Месторождение хромитов Кеми было открыто в 1959 году местным любителем. Открытая карьерная добыча хромитов началась в 1966 году, а производство феррохрома в 1967 году, в соседнем Торнио, на дальнем северном берегу Ботнического залива. Производство нержавеющей стали в Торнио началось в 1976 году. В 2006 году подземная шахта стала единственным источником руды. В настоящее время проектная мощность рудника составляет 2,7 млн. т руды в год. Известные запасы руды позволяют продолжать добычу в течение нескольких десятилетий, а недавнее сейсмическое исследование методом отраженных волн предполагает, что руда залегает, возможно, и ниже глубины 2 км.

В настоящее время мы вошли в новую эру в истории финской добычи. Два крупных рудника Киттиля Суурикуусико (золото) и Талвиваара (никель), были открыты в 2008 году, а рудник Кевитса (Ni-Cu-МППГ) в 2012 году. Эти три рудника приумножили финскую выработку металлической руды до 14 млн. т в год в 2014 году. В дополнение к этим крупным месторождениям, в последнее время был начат ряд небольших проектов; они включают рудник Йокисиву, который выдал свое первое золото в 2008 году, а рудники Пампало (золото) и Килилахти Оутокумпу-типа (Cu-Co-Ni-Zn) были открыты в 2011 году. Золотой рудник Лаива (Лаивакангас) в западной Финляндии также был введен в эксплуатацию в 2011 году, но в настоящее время он находится на обслуживании и сохранении.

Сводная информация о наиболее важных провинциях и месторождениях

Пять наиболее важных рудных провинций Финляндии показаны на Рисунке 2. Ими являются (с севера на юг): Центрально-Ла-

пландский зеленокаменный пояс (ЦЛЗП), сланцевый пояс Перепохья (СПП), сланцевый пояс Куусамо (СПК), зона Раахе-Ладога (ЗРЛ) и пояс Тампере-Хяме (ПТХ). Значительные и экономически важные месторождения в этой стране встречаются за пределами этих главных провинций.

Центрально-Лапландский зеленокаменный пояс (ЦЛЗП) является одним из наиболее перспективных поясов для нескольких значительных месторождений различного типа, которые уже известны в пределах пояса. Этот пояс весьма перспективен в плане добычи золота, не в последнюю очередь благодаря наличию месторождения мирового класса Суурикуусикко и нескольких более мелких месторождений, где в прошлом добывались Au и Au-Cu. Месторождение Суурикуусикко в настоящее время является крупнейшим месторождением золота в Европе. На конец 2014 года, общие предварительные золотодобывающие ресурсы составляли 57,6 млн. тонн, что при 4,38 г/т Au дает 252,3 тонн Au. Это месторождение гидротермального происхождения и находится в зоне главного сдвига. Оно простирается на 4 км вдоль простирания сдвиговой зоны и, по крайней мере, как известно, достигает глубины 1,5 км. Оно разрабатывается с июня 2006 года. В дополнение к месторождениям золота, несколько Ni-Cu, Ni-Cu-МППГ, Cr, Fe, Fe-Cu-Au, Cu-Zn и Fe-Ti-V месторождений известны в пределах ЦЛЗП. Наиболее значимыми из них являются месторождения Кевитса и Сакатти (Ni-Cu-МППГ), Ханнукайнен (Fe-Cu-Au) и Койтелайнен (Cr). Месторождение Кевитса (Ni-Cu-МППГ) представляет собой магматическую мафическую интрузию, связанную с сульфидным месторождением. Рудное тело состоит из вкрапленных сульфидов, содержащихся в мафической интрузии возрастом 2060 млн. лет. Минерализация занимает примерно 1200 м x 1500 м в горизонтальных размерах и достигает глубины 400 м. Известные минеральные ресурсы на 2012 год составляли 240 млн. тонн при 0,3% Ni, 0,41% Cu, 0,21 г/т Pt, 0,15 г/т, Pd, и 0,11 г/т Au. Добыча на Кевитса была начата в 2012 году, а в 2014 году 7 млн. тонн руды уже были переработаны на Кевитса. Месторождение Сакатти (Ni-Cu-МППГ) было обнаружено в 2009 году и, хотя никаких официальных тоннажей или

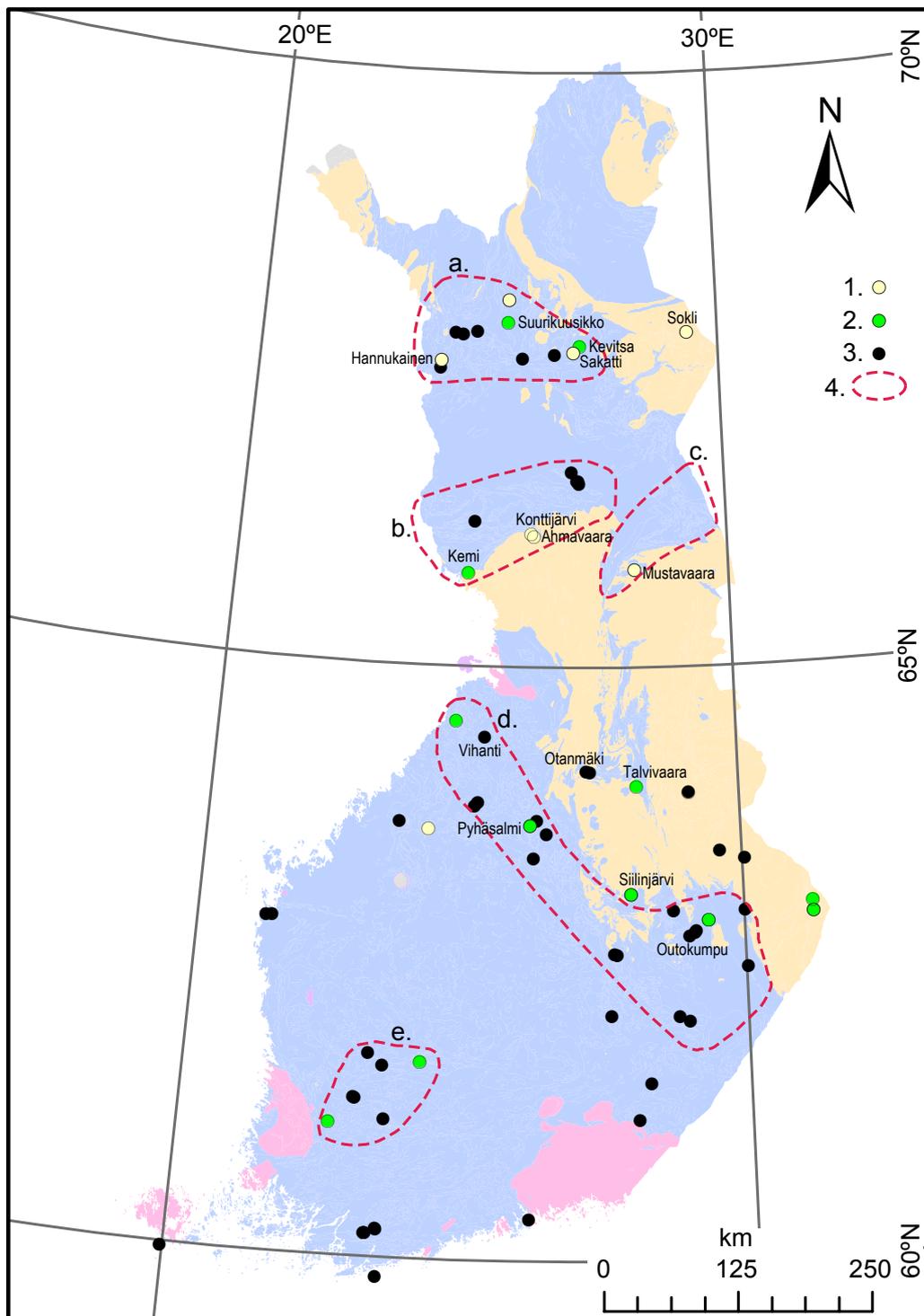


Рисунок 2. Расположение металлических и фосфорных рудников, и наиболее важных провинций полезных ископаемых в Финляндии. 1. Рудник в стадии развития, 2. Активный рудник, 3. Закрытый рудник, 4. Граница провинций полезных ископаемых: а. Центральнo-Лапландский зеленокаменный пояс, б. сланцевый пояс Перепохья, с сланцевый пояс Куусамо, д. зона Раахе-Ладога, е. пояс Тампере-Хяме. Геологический фон, как показано на Рисунке 1.

содержания не было опубликовано, имеющиеся данные указывают на то, что это, вероятно, открытие мирового класса. Месторождение состоит из трех сульфидных рудных тел, содержащихся в интрузии. Месторождение Ханнукайнен (Fe-Cu-Au) расположено в западной части ЦЛЗП. Оно состоит из пяти проделговатых, слегка наклонных рудных тел с оксидом железа и с локально-значимыми величинами Cu и Au. Оно разрабатывалось в двух карьерах открытого типа в течение 1978-1990 годов с общим объемом добычи 4,5 млн. тонн. В последнее время, дальнейшие исследования были проведены с планами переоткрытия месторождения. Суммарные ресурсы Ханнукайнен в 2014 году были 91,9 млн. т при 32,2% Fe, 0,19% Cu и 0,09 г/т Au. Месторождение Койтелайнен (Cr) является несulfидным Cr-оксидным месторождением, содержащимся в мафической интрузии. Месторождение состоит из двух, локально более 2 м толщиной, субгоризонтальных Cr-минерализованных рудных жил, которые протянулись по всей 26 км x 29 км интрузии. Для этого месторождения не была проведена оценка ресурсов, но содержание Cr₂O₃ колеблется в пределах от 10,6% до 32,2% в пробуренных участках месторождения.

Сланцевый пояс Перепохья (СПП) содержит значительные месторождения Cr, Ni-Cu-МПП и МПП. Кроме того, небольшие, но экономически выгодные месторождения Au, Au-Cu, Mo, Fe и Fe-Cu-Co-Au также были обнаружены в этом районе. В последнее время группа Au-U месторождений, с локально очень высоким содержанием Au и U, были обнаружены в центральных частях района. Единственным и самым значительным месторождением в этом поясе является месторождение Кеми (Cr). Оно было обнаружено в 1959 году и находится в непрерывной эксплуатации с 1968 года. Месторождение Кеми (Cr) является расслоенной мафической интрузией, содержащей хром-оксидное месторождение. Минерализация состоит из нескольких крупнопадающих Cr-оксидных горизонтов. Мощность минерализации составляет, в среднем, 40 м, но колеблется от нескольких метров до 160 м. Длина разработанной части составляет 1,5 км и, по оценкам геофизических методов, может достигать глубины 2 км. Текущие запасы полезных ископаемых составляют 50

млн. тонн при 26,0% Cr₂O₃ с дополнительными 97,8 млн. тонн минеральных ресурсов при 29,4% Cr₂O₃. К концу 2014 года было добыто, в общей сложности, 44 млн. тонн руды. Тот же интрузивный комплекс, возрастом 2440 млн. лет, который вмещает месторождение Кеми, также содержит месторождения Ni-Cu-МПП и МПП. Наиболее значимыми из них являются месторождения Конттиярви и Ахмаваара (Ni-Cu-МПП). Сульфидное, вкрапленного типа, месторождение цветных металлов Конттиярви, обогащено элементами платиновой группы и состоит из минерализованной зоны мощностью 10-30 м и серии пластинчатых массивных сульфидных руденений мощностью 0,2-20 м, содержащих месторождение Ахмаваара (Ni-Cu-МПП). Известные минеральные ресурсы на 2007 год составляли 75,3 млн. т при 0,95 г/т Pd, 0,27 г/т Pt, 0,1% Cu, 0,05% Ni, 0,07 г/т Au и 187,8 млн. т при 0,82 г/т Pd, 0,17 г/т Pt, 0,17% Cu, 0,08% Ni, 0,08 г/т Au для Конттиярви и Ахмаваара, соответственно.

Сланцевый пояс Куусамо (СПК) содержит только одно месторождение (Муставаара), которое ранее было в эксплуатации: однако, в центральной части этого пояса есть около 15 известных, несколько непонятных, гидротермальных месторождений Au-Co-Cu-U-RЗЭ. Экономическая выгодность наиболее крупных из них в настоящее время исследуется. Fe-Ti-V месторождение Муставаара разрабатывалось в течение 1976-1985 годов при общем объеме добычи 13,45 млн. тонн руды. В то время месторождение давало 6-9% мирового спроса ванадия. Месторождение является оксидным месторождением, находящимся в мафической интрузии, а минерализация состоит из V- и Ti-содержащего тела оксида железа (ильменомагнетит). В последнее время месторождение было на стадии дальнейшего изучения, и планируется повторное открытие рудника. По самым последним данным, ресурсы, находящиеся в Муставаара, составляют 99 млн. т оксидной руды с 14% весовой долей ильменомагнетита с 0,91% ванадия.

Зона Раахе-Ладога (ЗРЛ) является, исторически, наиболее важной провинцией цветных металлов в Финляндии. Несколько разрабатываемых в прошлом и активных в настоя-

щее время месторождений Cu-Co-Zn, Ni-Cu и Cu-Zn находятся в пределах этой провинции. В дополнение к основным металлам, были обнаружены экономически выгодные месторождения Au, и одно из них уже находится в стадии активной добычи полезных ископаемых. Пожалуй, наиболее важным из месторождений является открытое месторождения Оутокумпу (Cu-Co-Zn), эксплуатация которого положила начало современной горнодобывающей промышленности Финляндии. Первоначальное открытие было сделано в 1910 году, и рудник работал с 1910 по 1984 год. Месторождение содержало около 30 млн. т руды при содержании 3,8% Cu, 0,24% Co, 1,07% Zn, 0,12% Ni, 0,8 г/т Au и 8,9 г/т Ag. Минерализация Оутокумпу состоит из пластинчатых массивных сульфидных рудных тел. Минерализация первоначально была образована гидротермальными процессами морского дна и была метаморфизирована и деформирована в свою окончательную форму и положение во время свекофенских орогенных событий. Ряд подобных месторождений, называемые как Оутокумпу-типа, были обнаружены в прилегающих районах, и одно, Килилахти, в настоящее время разрабатывается. Месторождение Пихясалми (Cu-Zn) является вулканогенным массивно-сульфидным месторождением (ВМС), которое первоначально было сформировано в гидротермальной системе морского дна, а затем было метаморфизовано и деформировано в его нынешнюю форму. Минерализация состоит из вытянутого диапирообразной формы тела, которое простирается до глубины 1400 м. Общий объем выработки, с начала добычи в 1959 году, составляет 50 млн. т при содержании 0,92% Cu, 2,47% Zn, 0,4 г/т Au и 14 г/т Ag. Известные оставшиеся ресурсы, как ожидается, будут выработаны в 2019 году при текущей средней скорости добычи около 1,4 млн. тонн в год. Месторождение Виханти (Zn-Pb-Ag) генетически похоже на Пюхясалми, хотя и имеет другую металлическую ассоциацию. Месторождение состоит из около 20 отдельных рудных тел с переменными размером и содержанием. Месторождение разрабатывалось в период 1954-1992 годов с общим объемом добычи 28,1 млн. т руды при содержании 4% Zn, 0,4% Cu, Pb 0,36, 25 г/т Ag и 0,44 г/т Au.

Наиболее южной из самых важных провин-

ций Финляндии является пояс Тампере-Хяме (ПТХ), который, геологически, состоит из трех смежных поясов; зеленокаменные пояса Тампере и Хяме и сланцевый пояс Пирканмаа. Ряд Au, Au-Cu и Ni-Cu месторождений различного типа были там обнаружены. Четыре из них ранее были в стадии разработки, и два месторождения находятся на стадии активной добычи полезных ископаемых. В дополнение к ранее упомянутым металлам, в этом районе были обнаружены признаки Cu-Mo-W оруденений.

Несколько важных месторождений известны за пределами вышеописанных провинций:

- Месторождение фосфора Сийлинъярви на сегодняшний день является самым крупным промышленным рудником полезных ископаемых Финляндии, и в настоящее время, является единственным фосфорным рудником, действующим в Европе. К концу 2014 года, в общей сложности, 271 млн. тонн апатитовой руды было добыто с начала ввода в эксплуатацию в 1980 году. В 2014 году заявленных оставшихся ресурсов на месторождении было 1617 млн. тонн при содержании 3,8% P_2O_5 . Минерализация вмещается архейской карбонатитовой интрузией возрастом 2610 млн. лет.
- Талвиваара - это крупное, низкосодержащее черно-сланцевое месторождение Ni-Zn-Cu-Co-U, находящееся в осадочных породах. Первоначально оно было открыто в 1977 году, но в то время считалось экономически невыгодным при использовании обычных методов экстракции. Разработки в области технологии кучного биовыщелачивания породили новый интерес к месторождению: добыча была начата в 2007 году, и рудник дал первые металлы осенью 2008 года. Суммарные ресурсы месторождения Талвиваара составляют 2100 млн. тонн при 0,22% Ni, 0,50% Zn, 0,13% Cu и 0,02% Co и 16 г/т извлекаемого U. Талвиваара имеет потенциал, чтобы стать глобальным крупным производителем, особенно никеля. Тем не менее, процесс кучного биовыщелачивания, общий для Ni рудника, и полный процесс извлечения металла, имели ряд осложнений, и рудник все еще не достиг ожидаемых уровней добычи.
- Fe-Ti-V месторождение Отанмяки являет-

ся железно-оксидным месторождением, находящимся в мафической интрузии. Геологически месторождение Отанмяки имеет сходство с месторождением Муставаара. Месторождение в Отанмяки состоит из Ti-V-обогащенных, нерегулярной формы минерализаций оксида железа. Рудник Отанмяки работал в 1953-1985 годах. В общей сложности, 30 млн. тонн руды было добыто при содержании 32-34% Fe, 5,5-7,7% Ti и 0,26% V.

- Месторождение фосфора Сокли находится в девонской (возрастом около 360-380 млн. лет), около 5 км в диаметре, воронкообразной карбонатитовой интрузии. Основная фосфорная минерализация состоит из приблизительно 26 м реголитовой зоны в верхней части интрузии, и имеет экономически выгодное содержание Nb, Ta, Zr и U в дополнение к P. Общие ресурсы реголитовой руды 190,6 млн. тонн при 11,2% P. Было примерно подсчитано, что там, потенциально, до 12210 млн. тонн твердых горных пород P-Nb-Ta руды в дополнение к реголитовой руде. Месторождение до сих пор не эксплуатируется, но недавно проводились исследования по началу добычи на Сокли.

Будущий потенциал

Современную горнодобывающую промышленность Финляндии можно рассматривать, как начавшуюся после открытия и эксплуатации месторождения Оутокумпу около 100 лет назад. Примерно в то же время было обнаружено месторождение Печенга (Ni-Cu). Эти открытия повысили уровень осведомленности о минерально-сырьевом потенциале этой страны и привели к дальнейшему увеличению геологоразведочных работ, которые изначально были ориентированы на цветные металлы и железо. Несмотря на более чем 100-летние геологоразведочные работы в стране, лишь часть территории была хорошо изучена или "индустриализирована". На некоторые типы месторождений и металлов, история разведки значительно короче и сосредоточена на ограниченных площадях. Поиски золота, например, почти не проводились в северной части страны, пока первое месторождение золота не было открыто при проведении исследований на цветные метал-

лы в 1985 году. С этого первоначального открытия ряд золотых перспективных залежей и месторождений, включая месторождение мирового класса Сууркуусикко, были обнаружены в этом районе.

Геофизическое и геологическое картирование коренных горных пород, а также геологическое понимание улучшались совместно с геологоразведочной деятельностью в этой стране. Вся Финляндия была покрыта низко-высотной геофизикой к 2008 году, и, в настоящее время, эти наборы данных содержат огромное количество геологической информации. Совершенно новые провинции полезных ископаемых были распознаны, как следствие лучшего понимания геологии страны. Несмотря на то, что "легкие" месторождения, вероятно, были уже обнаружены, большая часть страны остается недоразведанной или "непаханным полем". Это лучше всего иллюстрируется открытием месторождения мирового класса Сакатти (Ni-Cu) в 2007. Сакатти было обнаружено с использованием новейших геологических данных и нового понимания региона, где разведка цветных металлов и золота осуществлялась различными экспедициями в течение около 30 лет. Тот факт, что месторождения мирового класса такие, как Оутокумпу, Сакатти и Сууркуусикко существуют и до сих пор открываются в этой стране, свидетельствует о том, что потенциал ее полезных ископаемых остается на высоком уровне. Кроме того, разработка и адаптация новых методов добычи полезных ископаемых может превратить старые и ранее нерентабельные открытия в прибыльные месторождения. Технологическое развитие в нескольких областях привело к спросу на металлы, для которых этот спрос ранее был лишь очень ограниченным или не было рынка вообще. К ним относятся, например, высокотехнологичные металлы, такие как редкоземельные элементы (РЗЭ), Be, Bi, Ga, Ge, In, Li, Nb, Ta, Sb и W. Эксплуатация месторождений с этими металлами была начата около 10 лет назад и некоторый потенциал для них известен в этой стране.

Геологическая служба Финляндии (GTK) провела оценку неоткрытых полезных ископаемых с 2008 года. Цель состоит в том, чтобы обеспечить оценки "где" и "сколько"

| | Открытые | Выявленные | По крайней мере, указанное количество при вероятности | | |
|--------|-----------|------------|---|------------|------------|
| | | | 90% | 50% | 10% |
| Ag (t) | 2 738 | 1 174 | 64 | 2 108 | 28 550 |
| Au (t) | 431,6 | 331,4 | 193,3 | 1 356,8 | 8 677,3 |
| Co (t) | 139 628 | 41 188 | 7 600 | 86 000 | 304 000 |
| Cu (t) | 3 154 473 | 1 087 859 | 1 036 000 | 13 619 000 | 54 280 000 |
| Mo (t) | 0 | 0 | 1 300 | 100 000 | 1 100 000 |
| Ni (t) | 778 087 | 438 404 | 934 000 | 5 001 000 | 16 000 000 |
| Pd (t) | 255 335 | 122 031 | 6 969 | 158 500 | 1 984 100 |
| Pt (t) | 52 | 52 | 660 | 5 330 | 27 900 |
| Zn (t) | 4 125 755 | 828 345 | 100 100 | 1 810 000 | 15 890 000 |

Открытые: общая сумма выявленных ресурсов и совокупной добычи в прошлом. Выявленные: оставшиеся ресурсы, определенные по состоянию на 31.12.2013. Все значения в метрических тоннах соответствующего металла. Типы месторождений, включенных в оценку: Орогенный Au, Интрузивный Ni-Cu, Коматиитовый Ni-Cu, Порфиновый Cu, Оутокумпу-тип (вулканогенно-массивно-сульфидные руды), контактного типа (элементы платиновой группы), жилого типа (элементы платиновой группы).

Таблица 1. Известные и предполагаемые неоткрытые металлические ресурсы для различных видов месторождений в Финляндии.

существует неоткрытых минеральных ресурсов в стране. Оценка сосредоточена на видах месторождений, которые считаются одними из самых важных для содержания значительных неразведанных ресурсов металлов в этой стране. Оценка проводилась с использованием трехчастного количественного метода, разработанного Геологической службой США (USGS). Это, основанный на опыте,

статистический метод, и оценка была дана до глубины 1 км. Комбинированные данные для девяти металлов в семи различных типах месторождений страны приведены в Таблице 1. Таблица 1 иллюстрирует открытые, выявленные и предполагаемые тоннажи при 90%, 50% и 10% вероятности количества ресурсов в целом по стране.

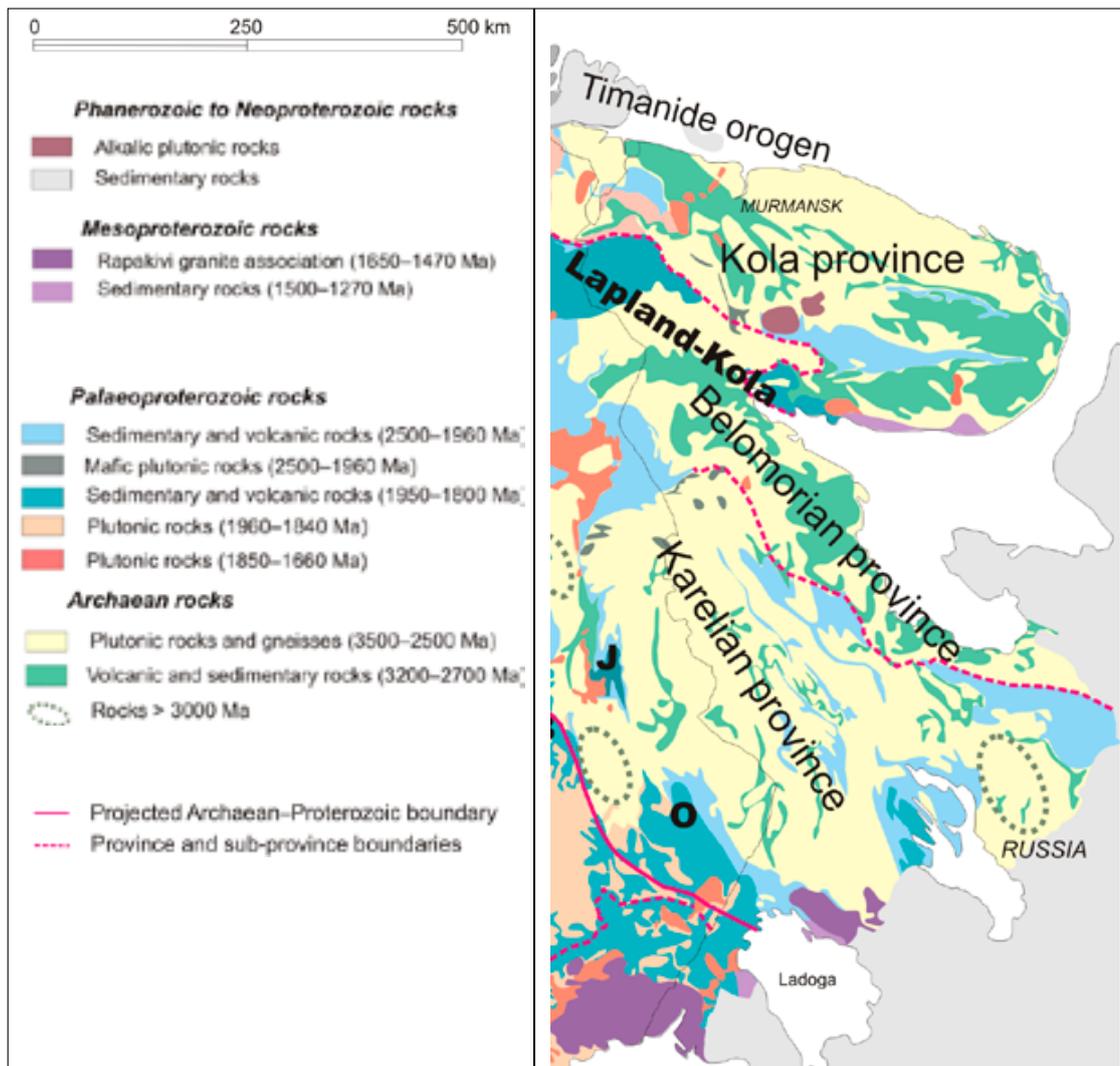
Краткое описание геологии России севернее широты 60°

Мурманская область и республика Карелия
Наиболее северо-западная часть России состоит, в основном, из архейских и протерозойских горных пород, разделенных на три основные провинции - Кольская, Беломорская и Карельская провинции (Рисунок 1). Полуостров Рыбачий, на северном побережье

Кольского полуострова, состоит из осадочных напластований, деформированных во время образования Тиманского неопротерозойского орогена, который прослеживается западнее от северного Урала.

Кольская провинция характеризуется преобладанием архейских гранитных и диоритовых горных пород с более ограниченным распространением осадочных пород и поясов

Рисунок 1. Северо-западная Россия - восточная часть Фенноскандинавского щита (фрагмент Рисунок 1 в Lahtinen, 2012). Государственные границы показаны серым цветом.



¹⁰ Написано Петровым О.В., Морозовым А.Ф., Шатовым В.В., Молчановым А.В., Тереховым А.В., Лукановой Л.И., Артемьевым Д.С., Беловой В.Н., Халеневым В.О.

вулканических и интрузивных пород, в том числе Печенгской свиты, которая содержит важные медно-никелевые руды. Самыми молодыми основными геологическими единицами Кольской провинции являются девонские щелочные интрузивные комплексы, Хибины и Ловозеро, которые являются крупнейшими щелочными комплексами мира и содержат богатые и очень крупные ресурсы специальных металлов.

Беломорская провинция состоит, в основном, из архейских зеленокаменных комплексов и гнейсов, деформированных и метаморфизованных в конце архейского и палеопротерозойского орогенных событий.

Карельская провинция состоит из трех террейнов:

- Западно-Карельский террейн характеризуется преобладанием гнейсов и амфиболитов, имеющих возраст от палео- до неоархейского. Он также содержит мезоархейские зеленокаменные пояса, включая Костомукшский пояс, который содержит важные полосчатые железистые формации.
- Центрально-Карельский террейн содержит интрузии с широким диапазоном состава, а также несколько зеленокаменных (вулканических) поясов. Эти породы являются исключительно неоархейскими.
- Водлозерский террейн в юго-восточной части провинции имеет ядро, представленное палеоархейскими гранитоидами и гнейсами, которые прорваны мезоархейскими гранитами и мафическими комплексами, и ограничен тремя поколениями зеленокаменных поясов, возрастом от мезо- до неоархея.

Восточно-Европейская платформа

Вся северная береговая линия европейской части России, от полуострова Канин, к востоку от Белого моря, до Предуральского краевого прогиба, (смотрите следующий раздел) состоит из горных пород Тиманского орогена, который формирует клиновидный выход на поверхность. Юго-западная оконечность этого орогена граничит с западной окраиной Предуральского краевого прогиба на широте примерно 60° с.ш.. К югу от тиманид, плат-

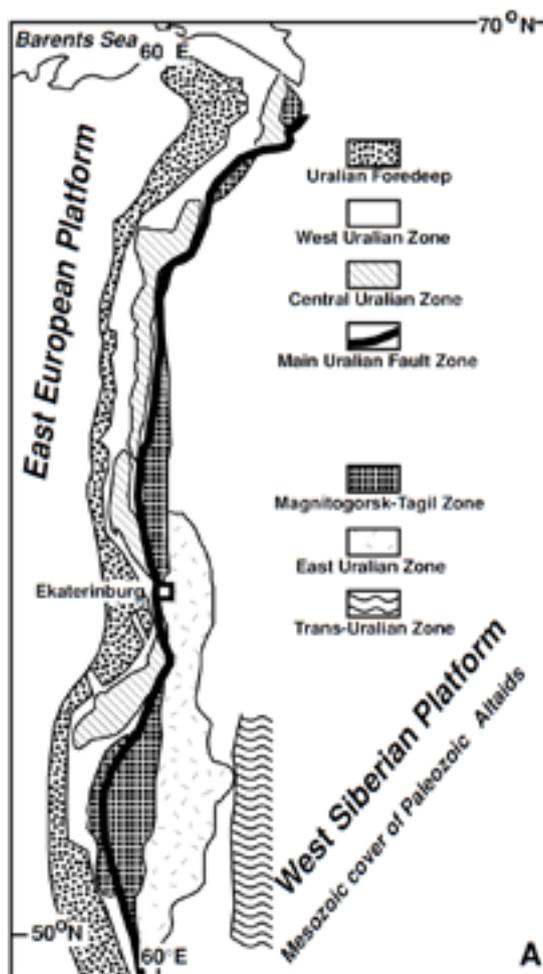


Рисунок 2. Тектонические зоны Урала (по Пучкову, 1997 в Сазонов и др., 2001).

форменный чехол представлен двумя различными комплексами (www.rusnature.info):

- Рифейско-нижневендские осадки, в основном, отлагались в глубоких бассейнах (грабенах, рифтах или авлакогенах) и состоят из терригенных песчано-глинистых пород толщиной до 5 км, локально с присутствием базальтовых пород.
- Верхневендско-фанерозойские осадки образуют обширные синклинали и бассейны толщиной от десятков метров до 20-22 км в самых глубоких бассейнах.

Уральская горная цепь

Урал протягивается на примерно 2500 км от Аральского моря на юге до Баренцева моря на севере, с продолжением на Новой Земле к северу от Карского пролива. Эта провинция является складчато-надвиговым поясом, включая в себя субпровинцию пре-уралидов на западе и субпровинцию главного Урала: на западе Урал граничит с Восточно-Европейской платформой, перекрытой Тима-

но-Печорским бассейном, а на востоке с Западно-Сибирской платформой, перекрытой мезо-кайнозойскими осадками.

Геотектоническое развитие горного пояса включает в себя: субдукционно-островодужные, коллизионные, платформенные и рифтовые условия, каждые из которых имеют свои специфические, хотя и неравнозначно важные металлогенические характеристики. Меридиональное районирование провинции, с запада на восток, как показано на Рисунке 2, представлено:

- Предуральским краевым прогибом: пермская моласса;
- Западно-Уральской зоной: западнанаправленными надвиговыми покровами палеозойских осадочных толщ;
- Центрально-Уральской зоной: обнаженные докембрийские комплексы;
- Главной Уральской разломной зоной;
- Магнитогорско-Тагильским синклинорием (МТС): палеозойские офиолитовые и островодужные комплексы;
- Восточно-Уральским поднятием: как МТС, но также включающим в себя докембрийские комплексы;
- Трансуральской зоной: предкаменноугольные комплексы, перекрытые нижнекаменноугольными вулканическими породами.

Меридиональные тектонические зоны нарушены, простирающимися в северо-западном направлении, поперечными структурами, разделяющими горный пояс на четыре мега-блока (Южный, Средний, Северный и Полярный Урал), характеризующиеся специфическими геологическими, тектоническими и металлогеническими особенностями. Наиболее важными металлогеническими зонами, по типу обнаруженных основных полезных ископаемых, являются:

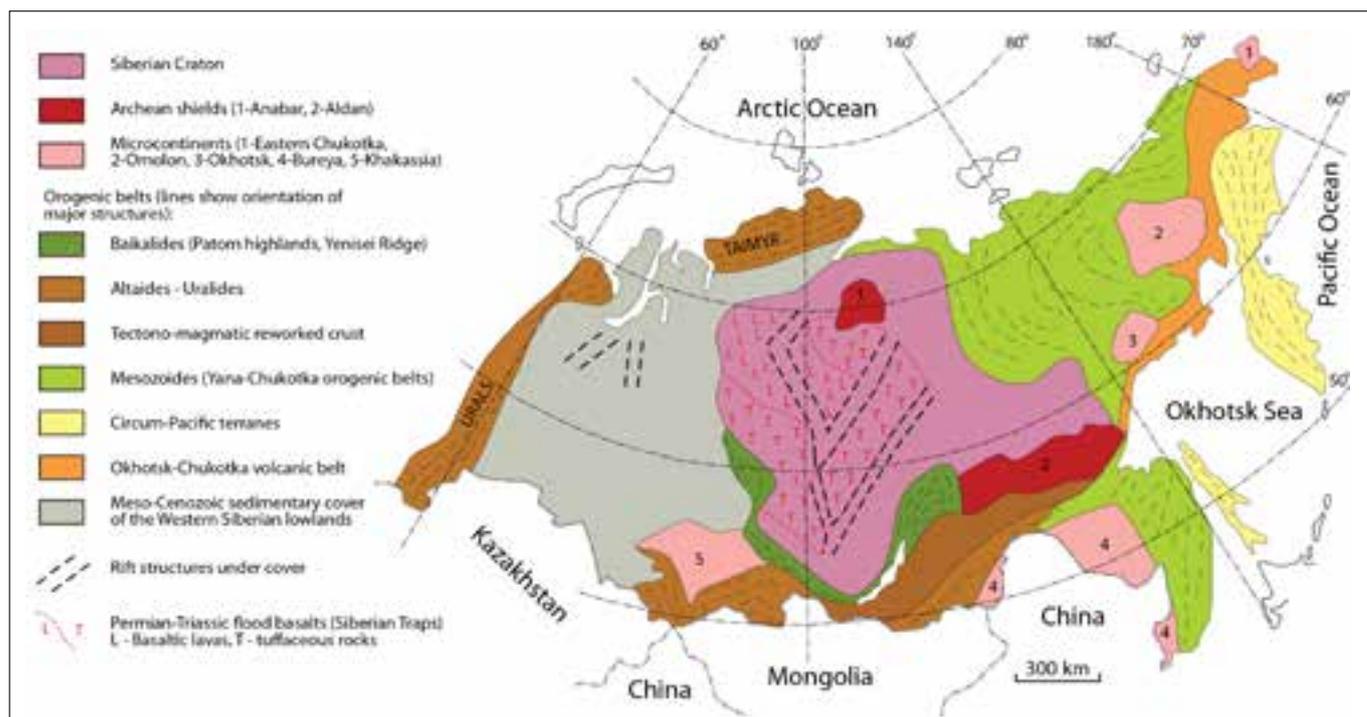
- Западно-Уральская зона: барит, содержащиеся в осадках Cu-Zn.
- Центрально-Уральское поднятие: титаномагнетит, железо, хромиты, золото, вулканогенные массивные сульфидные месторождения, Mo-W в гранитах и другие.
- Магнитогорско-Тагильский синклинорий: вулканогенные массивные сульфидные месторождения, Cu и Au-Cu-порфировые, металлы платиновой группы.

Сибирь

Сибирь включает в себя несколько крупных тектонических террейнов:

- Сибирский кратон;
- Западно-Сибирская впадина;
- Неопротерозойско-палеозойские орогенные пояса к северу и к югу от кратона;

Рисунок 3. Геология Сибири (на основании Рисунка 1 в Seltmann и др., 2010)



- Позднепалеозойско-мезозойские орогенные пояса к востоку от кратона;
- Мелово-третичный Охотско-Чукотский вулканический пояс, который наложен на орогенные пояса с востока.

Следующее описание основано на информации из Seltmann и др. (2010), концентрируясь на районе к северу от 60° с. ш..

Сибирский кратон

Сибирский кратон простирается от реки Енисей на западе до реки Лена на востоке. Архейский фундамент кратона обнажается на земной поверхности на Анабарском и Алданском щитах и на небольших приподнятых блоках вдоль границ кратона. Платформенный чехол кратона включает в себя осадочные и вулканические толщи мезопротерозойского, вендско-кембрийского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Осадочный чехол прорван несколькими магматическими свитами, включая обширные сибирские траппы и, связанные с ними, мафические/ультрамафические интрузивы, ультрамафические-щелочные породы, карбонатиты и кимберлиты.

Анабарский и Алданский щиты являются самыми крупными поднятиями древнего фундамента в пределах Сибирского кратона (Рисунок 3). Анабарский щит состоит из архейских и протерозойских гранулитов, перекрытых надвигом раннепротерозойских гранитно-зеленокаменных террейнов. Алданский щит также состоит из архейских и протерозойских метаморфических толщ, в том числе крупных гранитоидных интрузивов, зеленокаменных поясов и осадочных толщ. Архейские и протерозойские горные породы перекрываются мезопротерозойско-вендскими (возрастом 750-550 млн. лет) и кембрийскими карбонатными толщами, которые представляют собой платформенный чехол.

Протерозойские террейны Енисейского кряжа и Патомского нагорья

Эти два орогенных пояса прилегают к западному (юго-западному) и южному (юго-восточному) краям Сибирского кратона, соответственно (байкалиды на Рисунке 3). Они включают в себя архейские террейны (кри-

сталлические сланцы, гранулиты, гнейсы) и преобладающие мощные мезопротерозойско-неопротерозойские осадочные толщи.

Западно-Сибирская впадина

Западно-Сибирская впадина (Рисунок 3) сравнима по размерам с Сибирским кратоном и лежит в основании большей части Сибири к западу от кратона, и граничит с рекой Енисей на востоке и Уралом на западе. Большая орогенная система, называемая Енисейским кряжем, отделяет южные части Западно-Сибирской впадины от Сибирского кратона. Фундамент Западно-Сибирской впадины к востоку от Урала состоит из докембрийских и палеозойских складчатых структур Алтае-Саянских орогенных поясов. Фундамент большей части Западной Сибири перекрыт 4-6 км терригенными мезо-кайнозойскими осадками.

Неопротерозойско-палеозойские орогенные пояса северной Сибири

Таймыро-Новоземельский орогенный пояс примыкает к Сибирскому кратону на северо-западе Сибири. Этот террейн отделен от кратона Енисейско-Хатангской впадиной, которая состоит из триасово-олигоценых осадочных пород, и имеет байкальский (неопротерозойско-мезопротерозойский) метаморфический фундамент, который содержит блоки архейского возраста (микроконтиненты). Этот фундамент граничит на севере с мезопротерозойско-девонскими терригенно-карбонатными породами и на юге с ордовикско-триасовыми терригенно-карбонатными породами с небольшим количеством базальтов. Орогенные пояса в южной Сибири являются частью Урало-Монгольского складчатого пояса или орогенного коллажа алтаид.

Яно-Чукотский орогенный пояс

Этот Мезозойский орогенный пояс простирается от северо-восточной окраины кратона до Тихого океана (мезозоиды на Рисунке 3). Он состоит из нескольких террейнов/орогенных поясов, включая в себя:

- Верхоянский террейн сразу к востоку от кратона;
- Яно-Колымский складчато-надвиговый пояс;

- Колымский и Омолонский микроконтиненты;
- Олойский и Чукотский террейны.

Формирование этого супер пояса началось на восточной пассивной континентальной окраине Сибирского кратона в мезопротерозое и завершилось в перми-ранней юре с отложением мощных толщ песчаников и глинистых сланцев. Эти породы сейчас образуют Верхоянский и Яно-Колымский террейны. Микроконтинент Колыма отделяет Яно-Колымский надвигово-складчатый пояс от Олойского и Чукотского террейнов: он состоит из архейских и протерозойских горных пород, окруженных ордовикско-каменноугольными напластованиями, в основном, состоящих из карбонатных пород.

Охотско-Чукотский вулканический пояс

Этот мезо-кайнозойский вулканический пояс покрывает восточную часть Яно-Чукотского орогенного суперпояса и, таким образом, отделяет последний от Корякско-Камчатского кайнозойского орогена на востоке (Рисунок 3). Таким образом, Охотско-Чукотский вулканический пояс имеет мезозойский фундамент из верхнетриасовых до нижнемеловых осадочных и вулканических толщ и несогласно перекрывается нижнемеловыми-палеоценовыми вулканическими толщами, которые локально достигают 4-5 км в толщину. К числу последних относятся риолиты (игнимбри-ты), андезиты и базальты.

Внутриплитная (или внутриконтинентальная) тектоническая и магматическая активность

Сибирские террейны пережили несколько интенсивных внутриплитных анорогенных тектоно-термических событий. К ним относятся внедрение магматических пород, таких как сибирские траппы, щелочные и щелочно-ультраосновные комплексы, карбонатиты, кимберлиты и лампроиты. Сибирские траппы имеют протяженность около 7100 км², включая в себя континентальные низкотитанистые толеитовые платобазальтовые образования, их возможные питающие резервуары и комагматичные силлоподобные интрузии. Гигантские Норильское и Талнахское медно-никелевые-МПП месторождения размещаются в мафических сил-

лах, связанных с траппами. Внутриплитные тектонические и магматические процессы также привели к образованию между девонном и мезозоем кимберлитов Якутии, многие из которых являются алмазоносными.

История добычи полезных ископаемых

18-ый –19-ый века

Царь Петр Великий (1672-1725) был ответственен за многочисленные начинания в России, как в связи с поиском, так и с разработкой полезных ископаемых (<http://goldminershq.com/vlad.htm>). Одним из первых важных рудников был рудник на Нерчинском месторождении серебра, к юго-востоку от озера Байкал, которое было обнаружено в 1702 году: рудники в этом районе были в эксплуатации с 1704 по 1854 год, давая 11540000 унций (327154 кг) серебра. Россыпное золото было обнаружено в этом районе в 1830 году и было важным минеральным ресурсом за прошедший период эксплуатации. Первичные золотые оруденения были обнаружены на северном побережье Белого моря в 1737 году и в восточной части Урала в 1745 году, последнее привело к добыче полезных ископаемых, начиная с 1748 года. Число открытий в последней области к 1800 году достигло около 140, несколько из них были в эксплуатации, являясь частью государственной монополии. Государственная монополия была расформирована в 1812 году, что привело к резкому увеличению геологоразведочных работ и россыпной золотодобычи, особенно, на Урале и, во второй половине 19-го века, в Восточной Сибири: Россия, впоследствии, была одним из основных мировых производителей золота.

В первой половине 18-го века были сделаны многочисленные открытия, и рудники были введены в эксплуатацию в Карелии, наиболее важными из которых являются Воицкий (Cu) и Питкяранте (Cu-Sn-Fe). Горнодобывающая промышленность, в конце 19-го столетия, резко эволюционировала, чтобы включить в себя основную добычу Au, Ag, Pt, Cu и Fe на Урале, Fe и Mn на юге России (ныне Украина), Pb-Zn, Ag и Cu на Кавказе и Au и Ag в Сибири (https://en.wikipedia.org/wiki/Russian_Empire).

20-ый век

Горнодобывающая промышленность продолжала свое развитие вплоть до периода Первой мировой войны и революции. Мировая война, сражения гражданской войны и иностранная интервенция вызвали резкое снижение объемов промышленного производства, в целом, в период 1913 – 1921-22 годов (<https://www.marxists.org/history/ussr/government/1928/sufds/cho5.htm>). Производство некоторых металлов упало до уровня ниже 10% от уровня, существовавшего до первой мировой войны и не восстанавливалось вплоть до периода резкого развития горнодобывающей промышленности в 1930-е годы, которое продолжалось в течение многих десятилетий после Второй мировой войны. В следующих подразделах главы в описаниях косвенно показаны многочисленные крупные месторождения, разведочные работы и документация новых месторождений многих полезных ископаемых, некоторые из которых являются одними из крупнейших своего типа в мире. Точные задокументированные данные о запасах и об уровне добычи, как на уровне месторождения, так и на уровне отгрузки, не являются общедоступными для прошлых открытий. Однако, существующая в настоящее время практика позволяет публикацию данных о запасах и ресурсах и их содержание для месторождений большинства полезных ископаемых. В 2014 году Россия была самым значительным в мире производителем алмазов и палладия и одним из трех крупнейших производителей сурьмы, золота, никеля, платины, вольфрама и ванадия.

Сводная информация о наиболее важных провинциях и месторождениях: Золото, серебро

Россия, в настоящее время, является одним из трех крупнейших мировых производителей золота. В России имеются многочисленные месторождения нескольких типов в южной части Урала, но более 80% известных запасов золота и большинство важных золотых рудников находятся в Сибири, на юге Сибири, к востоку от Новосибирска и на российском Дальнем Востоке, включая важные месторождения в Хабаровском крае, Магаданской области и Чукотском округе. Россия также

является важным производителем серебра, и также в первую очередь благодаря рудникам в Сибири. Наиболее важные месторождения к северу от широты 60° с.ш включают в себя месторождения золота Нежданинское, Кубака и Купол и месторождения серебра Дукат и Прогноз:

Нежданинское (Au-Ag)

Это месторождение расположено в долине реки Тыры, на Верхоянском хребте, примерно в 450 км восточнее от областного центра, города Якутска. Месторождение включает в себя около 80 крутопадающих рудных тел, из которых десять являются главными. Самая богатая минерализация находится в плитообразных кварцевых жилах, некоторые из которых могут быть прослежены вниз более чем на 550 м. Эти зоны имеют 270-3500 м в длину и 3,9-11 м в толщину. Более 90% запасов месторождения находятся в рудной зоне № 1, которая имеет длину 3500 м и имеет среднюю толщину 11 м. Руда содержит 6% сульфидов, включая арсенопирит, пирит, сфалерит и галенит во вмещающей породе, состоящей, в основном, из кварца и полевошпатовых минералов. Только золото и серебро имеют коммерческую ценность. Золото встречается в коренном залегании и связано с сульфидами и кварцем. Содержание золота варьирует от 2 до более 5 г/т. Компании «Полиметалл» и «Полюс Золото» в настоящее время имеют совместное предприятие для разработки этого месторождения (http://www.polymetalinternational.com/investors-and-media/news/2015/2015-12-24.aspx?sc_lang=en).

Кубака (Au-Ag)

Это месторождение расположено почти на 160° в.д., недалеко от реки Омолон, к северо-востоку от Магадана. Месторождение было открыто в 1979 году и подробно исследовано в период 1979-92 гг.. Известные рудные тела рудника сосредоточены в блоке, размером около 8 км² в области, которая вытянута в северо-западном направлении. Рудоносный блок состоит из стратифицированных вулканитов кедонской серии. Минерализация связана с прожилково-жилковыми зонами, которые могут быть прослежены до глубин 500-700 м: содержание рудных минералов не превышает 0,5%, а содержание золо-

та примерно 8 г/т. 85% основных запасов золота сосредоточены в Центральной зоне, 10% в Цокольной зоне и 5% в Северной зоне. Месторождение, которое находится на стадии сохранения и технического обслуживания с 2006 года, в настоящее время принадлежит компании «Полиметалл».

Купол (Au-Ag)

Золото-серебряное месторождение Купол расположено в Чукотском автономном округе, примерно в 300 км к юго-юго-западу от Билибино и, примерно на равном расстоянии от Восточно-Сибирского и Берингова морей. Шестнадцать рудных тел были обнаружены на месторождении. Они состоят из кварцевых жил и, в гораздо меньшей степени, брекчий с кварцевым цементом. Рудное тело имеет толщину 2-32 м и длину 50-2300 м. Распределение золота и серебра в рудных телах крайне неравномерное. Содержание золота в рудах колеблется в пределах 0,01-100,0 г/т (редко до 2622,1 г/т), среднее значение по месторождению составляет 21,5 г/т. Содержание серебра 0,5 - 500 г/т (встречаются даже более высокие значения, но редко, максимальное значение 32417,3 г/т): среднее значение по месторождению составляет 266,6 г/т. Самое высокое содержание золота и серебра тесно связано с кварцем и карбонат-кварцевыми брекчиями. Золото встречается в рудах в виде самородков. Соотношение золота к серебру на месторождении колеблется от 1:1,6 до 1:50, 1:10-1:11 в среднем: среднее содержание серебра составляет около 250 г/т. Рудник управляется компанией «Кинросс Голд» (<http://kinross.com/operations/operation-kupol-russia.aspx>): предполагаемые запасы 7616 млн. т при содержании золота 9,94 г/т.

Дукат (Ag)

Рудник Дукат расположен в Омсукчанском районе Магаданской области, в 31 км от Омсукчана, чуть более чем в 100 км от побережья наиболее внутренней части Охотского моря и в 595 км к северо-востоку от Магадана. Месторождение было открыто в 1968 году и является крупнейшим месторождением серебра в России и одним из крупнейших в мире. Рудное поле Дукат расчленено серией разломов северо-восточного и северо-западного простираний, делящих рудное поле на несколько блоков с различным ми-

нерально-сырьевым потенциалом. Два типа рудных тел были идентифицированы: минерализованные зоны и жилы. Минерализованные зоны являются сложными образованиями, контролируемые крупными разломами. Они включают в себя одну или несколько стержневидных жил с брекчиевой структурой, блоки минерализованных предрудных инъекционных брекчий и прожилково-вкрапленную минерализацию во вмещающих породах. Минерализованные зоны, заполняющие структуры, которые полого падают на северо-запад, имеют менее сложное строение. Есть крупные (3-5 м) стержнеподобные кварц-родонитовые жилы с прожилково-вкрапленной минерализацией вмещающих пород (1-3 м). Жилы приурочены к тектоническим трещинам с приблизительным простиранием с севера на юг и в северо-восточном направлении. Контактные зоны резкие, изогнутые и с толщиной 1-2 м. Рудник эксплуатируется компанией «Полиметалл» (http://www.polymetal.ru/operations-landing/dukat-hub/overview.aspx?sc_lang=en): предполагаемые запасы 9,45 млн. т при содержании золота 0,9 г/т и серебра 418 г/т.

Прогноз (Ag)

Месторождение Прогноз расположено на северо-востоке Якутии, в пределах Яно-Адычанского рудного района в трансполярной части Верхоянского хребта на водоразделе рек Сартанг и Нелгесе, которые текут в южном направлении к реке Алдан, притоку Лены. Месторождение находится в средне- и верхнетриасовых песчаниках, которые перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями толщиной 2-10 м. Рудные тела являются сквозными по отношению к вмещающим их породам; они представлены минерализованными зонами дроблений без четких границ. Их центральные части включают в себя брекчии, брекчированные песчаники, кварц-карбонат-сульфидные (сульфосольные) жилы, а их периферийные части состоят из расчлененных пород с кварц-карбонат-сульфидными прожилками.

Рудное тело Главное содержит более 50% запасов и ресурсов серебра. Его длина составляет 4000 м и имеет максимальную коммерческую глубину 250-270 м и до 18 м в толщину (в среднем 4 м). Содержание серебра составляет

10-28 кг/т, свинца <10%-52%, а цинка <10-15%. Рудное тело Болото, в 500-800 м южнее от Главного, является вторым самым результативным рудным телом и включает в себя 21% запасов и прогнозных ресурсов серебра. Его длина составляет 2300 м, простирается вниз по падению на 260 м и до 7 м в толщину (в среднем 2 м). Содержание серебра составляет до 17,7 кг/т, свинца до 25% и Zn до 21,5%. Еще 9 рудных тел были обнаружены на этом месторождении. Месторождение принадлежит компании «Норголд»: предполагаемые запасы 4.9 млн. т (<http://www.nordgold.com/operations/development-projects/prognoz/>).

Россыпные месторождения золота

Примерно две трети добываемого золота в России добываются в Сибири и на Дальнем Востоке России: доля производства из россыпных месторождений составляла около 80% в 1996 году, но снизилась до менее 50% к 2002 году, так как добыча в твердопородных рудниках увеличилась. (Союз золотопромышленников России, 2015: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-gold-mining-industry-in-russia-2015-eng/\\$FILE/EY-gold-mining-industry-in-russia-2015-eng.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-gold-mining-industry-in-russia-2015-eng/$FILE/EY-gold-mining-industry-in-russia-2015-eng.pdf)). Семь наносных россыпных месторождений описаны в большем объеме, который доступен по адресу: www.ngu.no/camet/~robj.

Месторождения цветных металлов и, связанные с ними, руды МПГ

Этот подраздел содержит описания нескольких никель-медно-МПГ месторождений, двух свинцово-цинковых месторождений и порфирового медно-золото-молибденового месторождения. Россия является вторым наиболее важным производителем никеля в мире, крупнейшим производителем палладия и вторым наиболее крупным производителем платины. Кроме того, другие рудники в России (например, в районе Печенги на Кольском полуострове; также рудники в районе Норильска к востоку от реки Енисей на северо-западе Сибири) имеют свой вклад в это положение главного производителя меди, никеля и металлов платиновой группы.

Норильск 1 и 2 (Ni-Cu-МПГ)

Первые данные о месторождении Норильск 1 связаны с купцом К.П. Сотниковым, кото-

рый в 1865-1868 выплавил 3275 кг черновой меди из отложений, обогащенных халькопиритом, и сульфидных жил, пронизывающих эти осадки в основании северного склона горы Рудная. Интенсивные поиски в районе Норильска, связанные с поиском угля для Северного морского пути, начались в 1919-1920 гг. В 1920 году геолог Н.Н. Урванцев нашел первичные сульфидные руды, а в 1922 г. Н.К. Высоцкий нашел платину в медно-никелевых рудах. Крупнейшие коммерческие месторождения расположены вдоль Норильско-Хатангского глубинного разлома. Норильский и Талнахский рудные узлы расположены в этом районе. Два типа руды известны на месторождениях Норильского рудного узла: медно-никелевые сульфидные платиновые руды и низко-сульфидные платиновые руды; эти месторождения являются самыми богатыми своего типа в мире.

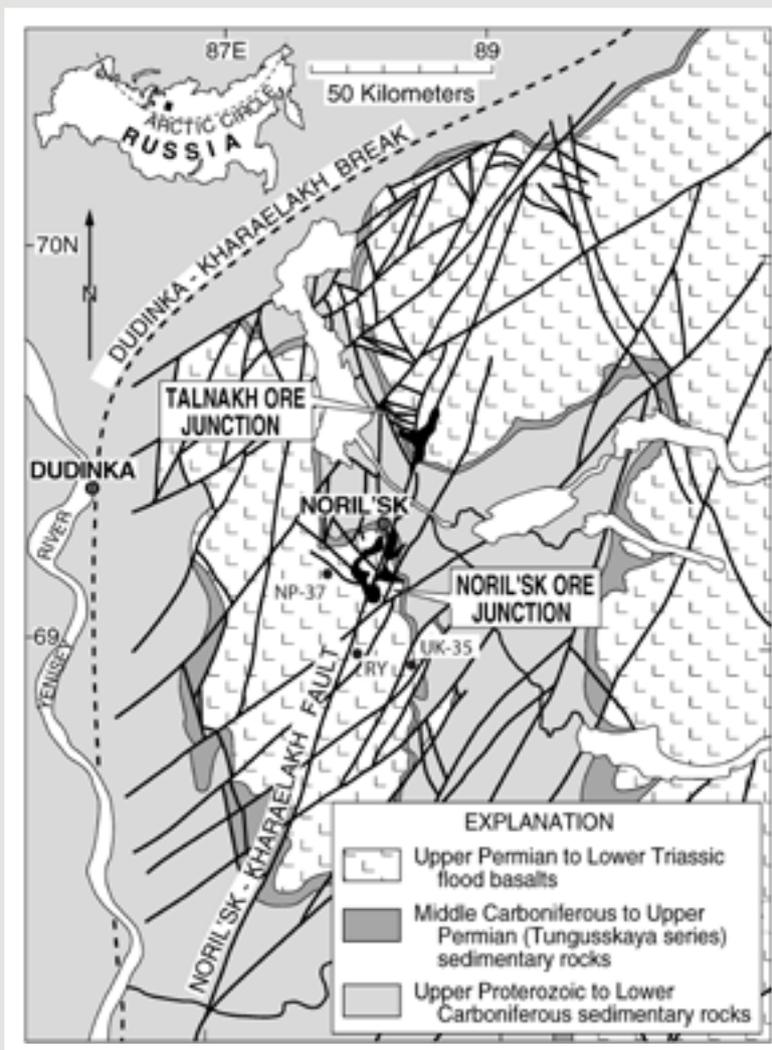
Месторождение Норильск 1 находится в длинной, пластообразной интрузии, вытянутой в северо-восточном направлении с длиной около 12 км. Толщина интрузии колеблется от 30 до 350 м, средняя толщина около 130 м. Сульфидная медно-никелевая минерализация связана с нижними горизонтами ультраосновной интрузии, и включает в себя, как прожилково-вкрапленные, так и массивные типы руд. Это месторождение было единственным рудником, разрабатываемым в этой провинции в течение первых 27 лет эксплуатации. Остаточные запасы и ресурсы мелковкрапленных руд, согласно компании «Норникель», превышают 124 млн. т.

Низко-сульфидное месторождение металлов платиновой группы Норильск 2 расположено в 7 км от Норильска и рассматривается в качестве непромышленного месторождения. Другими месторождениями, оба из них южнее Норильска, являются Черногорское и Масловское: последнее было открыто совсем недавно в 2009 году.

Талнахское (Ni-Cu-МПГ)

Талнахский рудный узел расположен в 25 км к северо-востоку от Норильска и содержит два месторождения: Октябрьское и Талнахское. Талнахское месторождение было обнаружено в 1960 году, а первый рудник, Маяк, был введен в эксплуатацию в 1965 году. Тал-

Рисунок 4. Упрощенная геологическая карта Норильско-Талнахского района, показывающая основные структурные особенности и подповерхностные контуры рудоносных интрузий Норильского типа (черный цвет, истинный масштаб). Хараелахская и Норильская мульды представлены яйцеобразными областями, по обе стороны Норильско-Хараелахского разлома и определены по участкам с обнажениями базальта, которые простираются, соответственно, к северу от Талнахского рудного узла и к югу от Норильского рудного узла (Рисунок из Szatanske и др., 1995).



нахское месторождение в настоящее время разрабатывается под землей на руднике Комсомольский, и есть два рудника на месторождении Октябрьское (Норильский никель, 2015). Месторождение Октябрьское отличается своим высоким содержанием меди и металлов платиновой группы, особенно палладия. Общие оставшиеся запасы и ресурсы в Талнахском рудном узле, по данным «Норникель», превышают 2200 млн. т.

Печенга (Ni-Cu)

Спутник, Верхнее, Ждановское, Тундровское и другие месторождения составляют группу никель-медных месторождений Печенга и расположены в Восточном рудном узле Печенгского рудного поля в Мурманской области недалеко от границы с Норвегией. Самое крупное месторождение, Ждановское, было

обнаружено и исследовано финскими геологами в период 1929-34 гг., но впервые было введено в эксплуатацию в 1959 году: в настоящее время оно разрабатывается под землей на руднике Северный. Основное рудное тело имеет длину по простиранию 1800 м и до 100 м в толщину. Минерализация представлена мелкокрапленным никель-медным оруденением. Общие оставшиеся запасы и ресурсы в группе Печенгских месторождений, по данным «Норникель», превышают 500 млн. т.

Сардана (Pb-Zn)

Стратиформное свинцово-цинковое месторождение Сардана располагается рядом с речкой Алдан в юго-восточной части Якутии и немного севернее 60° с.ш.. Месторождение было обнаружено в 1971 году. Месторождение имеет задокументированный тоннаж 18,3

млн. т при содержании 10,5% цинка и 3,23% свинца. Оно также имеет высокое содержание ряда второстепенных компонентов, в том числе 20-1150 г/т германия (один из важных, но слабо распространенных "критических" металлов) и 1-234 г/т серебра. Лицензия на развитие в настоящее время принадлежит ООО «Сибирские цветные металлы» (член группы «Сумма»), которое планирует начать разработку месторождения в 2017 году. Компания сообщает, что строится дорога из месторождения в порт Аян на Охотское море.

Павловское (Pb-Zn)

Павловское месторождение, которое было обнаружено в 1990-1995 годах, находится на побережье к северо-западу от Южного острова Новой Земли. Месторождение состоит из пяти обширных (> 600 м), полосчатых, пластинчатых слоев от 3-5 до 50 м в толщину. Распределение основных продуктов (цинк, свинец и серебро) в пределах рудных тел относительно однородно. Рудные тела, которые имеют общий тоннаж более 37 млн. т, погружаются с запада (где они обнажаются на земной поверхности) на юго-восток до глубин 200-350 м. Руды включают в себя массивные, жильные и жильно-вкрапленные типы (40-90%), а также массивную руду со сфалеритом и галенитом различных генераций. Содержание свинца колеблется от 1,0 до 2,9%, цинка от 1,6 до 20,8%, а содержание серебра составляет в среднем 14,5 г/т. Лицензия на разработку месторождения, как сообщается, была предоставлена «Первой горнорудной компанией», которая планирует начать разработку в 2019 году.

Песчанка (Cu-Au-Mo)

Месторождение Песчанка расположено в центральной части Чукотского полуострова,

недалеко от западной окраины Охотско-Чукотского вулcano-плутонического пояса, где этот пояс наложен на Омолонский микроконтинент. Пояс содержит несколько гранитных интрузий, расположенных в пределах металлогенической зоны Байм, которая образует линейную структуру, прослеживаемую на расстояние свыше 200 км, и содержит ряд порфировых месторождений. Наиболее распространенная минерализация состоит из халькопирита и пирита, но руды более высокого класса связаны с формацией борнит-халькопирит-теннантита. Ресурсы месторождения представлены в виде 1350 млн. т руды с 0,61% Cu, 0,015% Mo, 0,32 г/т Au и 3,7 г/т Ag.

Черные металлы

Этот подраздел включает в себя описание некоторых месторождений руд глинозема/алюминия, железа, титана, ванадия и марганца в России. Россия является одним из самых важных в мире производителей алюминия и является одним из крупнейших производителей железной руды.

Вежаю-Ворыквинское (бокситы)

Первые бокситные породы были найдены в реке Вычегда на Среднем Тимане в 1949 году: это стало началом детальной разведки, приведшей, в 1970 году, к открытию экономически жизнеспособного Вежаю-Ворыквинского месторождения бокситов. Позже, разведкой были выявлены новые месторождения и проявления (Верхний Щугор, Восточное, Заостровское, Володинское и Светлинское), которые сделали Средний Тиман ведущим районом бокситов в России. Вежаю-Ворыквинское месторождение бокситов является самым крупным во всем Тиманском райо-

| Рудный пласт или поле | Длина, м | Ширина, м | Толщина, м | Глубина распространения, м | |
|-----------------------------------|----------|-----------|------------|----------------------------|---------|
| | | | | пределы | средняя |
| Западный | 2200 | 200-1300 | 1,5-24,4 | 0,6-66,7 | 33,2 |
| Верхне-Ворыквинский | 2200 | 100-600 | 1,5-21,0 | 0,2-57,0 | 18,6 |
| Центральный, рудное тело 1 | 2100 | 2200 | 1,5-27,5 | 0,6-50,0 | 24,4 |
| низкожелезистая бокситная область | 460 | 180-350 | 0,6-3,6 | 18,4-41,9 | 30,7 |

Таблица 1. Параметры Вежаю-Ворыквинского месторождения бокситовых руд.

не. Оно содержит 56,4% от запасов бокситов Ворыквинского рудного узла и почти 12% промышленных запасов всей России. Месторождение включает в себя три пласта: Центральный, Западный и Верхне-Ворыквинский, параметры которых приведены в Таблице 1.

Кейвское Месторождение (кианит)

Использование кианита и других алюмосиликатных минералов, как потенциального источника окиси алюминия, было разработано в Советском Союзе до Второй мировой войны из-за низкого содержания, известных на то время, местных ресурсов бокситов. Основные ресурсы высокоглиноземистых (богатых на кианит) пород расположены в восточной части Кольского полуострова, в 200 км от простирающегося в северо-западном направлении хребта Кейв. Хребет включает в себя нижнепротерозойские метаосадки свиты Кейв, в том числе важные кианит-обогащенные сланцы. Кианитовые месторождения были обнаружены в 1928 году, и разведочными работами, в конечном итоге, было выявлено 29 месторождений кианита, наибольшими из которых являются Шуурурта, Безымянное, Тяпыш-Манюк, Воргельурта, Новая Шуурурта, Червурта и Большой Ров. Форма и текстуры этих месторождений значительно различаются: их доказанные запасы превышают 3 млрд. тонн.

Одним из крупнейших месторождений является Новая Шуурурта, которое расположено в 225 км восточнее города Апатиты в центральной части Кольского полуострова. Руда представлена крупными конкрециями кианитовых сланцев и была обнаружена в 1952 году, и исследовалась в одиночных канавах. Средняя толщина месторождения составляет 148 м, а содержание кианита 42,44%.

Костомукшское (железо)

Костомукшское месторождение было обнаружено в 1946 году в результате аэромагнитной съемки. Оно расположено в 12 км севернее города Костомукша, который был построен для поддержки рудника и процессов переработки руды: полномасштабная добыча и производство окатышей началось в июле 1982 года. Суммарные запасы, утвержденные до начала добычи, превышали 1300 млн. т

при содержании 26,45% Fe (магнитное): месторождение также содержало >1000 млн. т ресурсов, затем было классифицировано как непромышленное.

Это месторождение, которое состоит из железистых кварцитов, подразделяется на три участка: Северный, Центральный и Южный, каждый из которых в настоящее время разрабатывается. До 70% запасов находятся в основном слое, который состоит из трех крутопадающих пластинчатых рудных тел, толщиной 10-330 м, которые прослеживаются на расстояние 3,3-14 км в субмеридианальном направлении. Рудные тела разделены тонкими слоями сланцев. В центральной части месторождения основной слой подвергнут складкообразованию таким образом, что он становится субгоризонтальным. Максимальная толщина слоя в складчатой области достигает 1750 м, а на боках складки его ширина составляет 13-100 м. В центральной части месторождения, на глубине 400 м, толщина главного рудного слоя составляет 250-350 м, уменьшаясь до 120 м на больших глубинах. Вблизи его окончаний, качество руды падает из-за увеличения содержания грюнерита. В настоящее время утвержденные данные месторождения составляют 838 млн. т запасов при содержании 32% Fe и >1000 млн. т ресурсов.

Ярегское (титан)

Ярегское месторождение титана и тяжелой нефти находится в Республике Коми, в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в 25 км к юго-западу от города Ухта. Месторождение, которое размещено в среднедевонском песчанике, было открыто в 1932 году и изучалось на титан с 1958 года. Отложения верхнего и среднего девона в этом районе являются коммерчески нефтеносными, с резервуарами в кварцевых песчаниках.

Уникальной особенностью месторождения является то, что, помимо крупных нефтяных ресурсов, оно также содержит высокие концентрации минерала титана, лейкоксена (преобразованный продукт оксида железа и титана, ильменита). Продуктивный пласт имеет толщину 30-100 м и делится на два слоя, которые содержат три россыпных месторождения:

- 1) Нижняя, пластинчатая россыпь, толщиной 14,5-21,4 м, которая в среднем содержит 11,2% TiO_2 ;
- 2) Средняя россыпь, толщиной 0,4-13 м, содержащая 3,0-10,4% TiO_2 ;
- 3) Верхняя россыпь, в среднем толщиной 3 м, содержащая несколько процентов TiO_2 , но в некоторых местах до 21,9%.

Нижний литологический горизонт состоит из крупнозернистых кварцевых песчаников с алевролитовыми и аргиллитовыми слоями, в то время как верхний горизонт содержит полимиктовые конгломераты и разнозернистые кварцевые песчаники, содержащие до 30% лейкоксена (средний состав: TiO_2 : 58,5-71,9%; SiO_2 : 20-37,8%). Месторождение образовалось в результате эрозии коры выветривания рифейских сланцев и обогащено ниобием и танталом, в дополнение к титановой минерализации.

Ярегское месторождение является крупнейшим месторождением титана в России с расчетными запасами около 640 млн. тонн титановой руды. Нефть на месторождении добывается с 1939 года по уникальной методике буровой проходки. В настоящее время ведутся работы по созданию пилотного завода по производству титанового коагулянта, который имеет важное применение при очистке воды.

Редкоземельные элементы и специальные металлы

Депутатское (олово)

Месторождение Депутатское находится в Якутии, недалеко от 140° в.д. и примерно в 250 км от побережья моря Лаптевых. Рудники были в эксплуатации с 1951 по 2009 год. Только один небольшой гранитоидный блок обнажается на земной поверхности в этом рудном узле; другой интрузивный купол был пробурен на глубине 377 м структурной скважиной под центральной частью Депутатского месторождения. Площадь подповерхностного гранитного купола в пределах рудного узла Депутатский была оценена по геофизическим данным в примерно 50 км² на глубинах 300-1200 м. Всего насчитывается около 150 рудных тел на месторождении. Они подразделяются на три типа: жилы, ли-

нейные удлиненные зоны типа штокверков и минерализованные зоны дробления, отслеживаемые на протяжении многих сотен метров, с толщиной до 10 м и более; комбинации двух или всех трех типов являются распространенными. Большинство рудных тел представлены мощными, протяженными минерализованными зонами сдвига, в пределах которых центральная трещинная жила в целом видна, как наиболее непрерывная протяженная по простиранию и погружению вниз, в сопровождении ряда параллельных прожилков, зон раздробленных и минерализованных горных пород, эшелонированных трещин разрыва и сдвига, также состоящих из рудного материала. Четырьмя основными типами рудного тела, с точки зрения минералогии, являются: 1) кварцевые турмалиновые жилы с касситеритом; 2) касситерит-сульфидно-кварцевые жилы с турмалином и плавиковым шпатом; 3) касситерит-хлорит-сульфидные минерализованные зоны дробления и жилы; 4) кварц-карбонатные жилы со сфалеритом и галенитом; слабо оловоносные грейзеновые формации также обнаружены. Рудные тела второго и третьего типов, сформированные в несколько этапов, имели наибольшее практическое значение.

Остаточные запасы составляют около 25 млн. т при содержании 1,15%. Это показывает, что месторождение, даже после более чем 50 лет эксплуатации, является крупнейшим месторождением олова в России. По состоянию на 2014 год, лицензией на его разработку владеет ЗАО Депутатский ГОК. В последние годы руда не добывалась на месторождении.

Одно из крупнейших россыпных месторождений олова (-вольфрама) в России, Тирехтах, находится в том же регионе. Его ресурсы в общей сложности более 150 млн. м³ оловоносных песков, некоторые из которых частично обогащены вольфрамом.

Томторское (редкоземельные элементы, Nb)

Томторский сиенит-карбонатитовый интрузивный комплекс расположен в северо-западной части Якутии, западнее реки Лена и примерно в 400 км к югу от моря Лаптевых. Он был обнаружен в 1959 году: комплекс и его минерализация были исследованы в последующие десятилетия, но удаленность и от-

сутствие инфраструктуры привели к задержке развития несомненного экономического потенциала этой области. Интрузивный комплекс имеет почти круглую поверхность с сердцевинной, состоящей из нескольких типов карбонатита и широкой периферийной зоны сиенита. На месторождении есть (по крайней мере) три типа минерализации - первичная минерализация в карбонатитах, выветрелый материал в естественном залегании в палеогеолитах, которые имеют среднюю толщину 110 м и перераспределенные продукты выветривания, накопленные в углублениях на поверхности горных пород, которые могут быть до 300 м в толщину (Seltmann и др., 2010). Томторская интрузия включает в себя несколько крупных месторождений, среди которых Буранное месторождение является наиболее лучше задокументированным: запасы Буранного поля равны 42,7 млн. т при содержании 6,71% Nb_2O_5 , 0,595% Y_2O_3 , 0,048% Sc_2O_3 и 9,53% P_3O_5 . Известно, что другие месторождения имеют еще более высокое содержание ниобия и РЗЭ. Правами на добычу полезных ископаемых владеет компания ИКТ-РОСТЭК, которая находится в процессе подготовки месторождения для добычи.

Ловозеро

Щелочной массив Ловозеро впервые был описан В. Рамзай в 1887 году. Площадь поверхности массива составляет 650 км² и является крупнейшей в мире агпаитовой интрузией. Горный массив расположен в центральной части Кольского полуострова, между Ловозеро и Умбозеро. Он состоит из трех последовательных фаз (Калинкин, 1974):

- Стратифицированные серии лопарит-содержащего луяврита/фойяита/уртита, нефелина и канкринит-нефелиновых сиенитов со щелочными сиенитами в краевой зоне.
- Самая большая, центральная часть массива состоит из луяврита и мурманита. Обе эти фазы сопровождаются жилами щелочных пегматитов и редкоземельных метасоматитов.
- Третья фаза - дайки, жилы и вулканические трубки щелочного лампрофира.

Месторождения редких металлов массива связаны с породами первых двух фаз.

Массив Ловозеро содержит двенадцать рудных месторождений, из которых в настоящее время на подготавливаемые (Карнасурт, Кедиквирпахк и Умбозеро) приходится 75% запасов, в размере более 200 млн. т. Действующие подземные рудники имеют запасы, по крайней мере, на 55-100 лет. Ресурсная база состоит из эвдиалит-лопаритовой руды с высоким содержанием тантала (до 1%) и ниобия (до 10-12%). Ловозерский горно-обогатительный комбинат включает в себя обогатительную фабрику с мощностью до 1,5 млн. тонн руды в год.

Колмозеро

Пегматитовое месторождение редких металлов Колмозеро было обнаружено в 1947 году. Месторождение расположено в Мурманской области, в 80 км к востоку от поселка Ловозеро, в безлюдной и неразвитой области. Месторождение состоит из 12 жил альбит-сподуменовых пегматитов, локализованных в комплексе метагаббро и анортозита. Запасы составляют 74 млн. т при содержании 1,14% Li_2O , 0,009 % Ta_2O_5 , 0,011 % Nb_2O_5 и 0,037 % BeO .

Россыпные месторождения олова

В Сибири множество россыпных месторождений олова, одним из крупнейших является Тирехтях, которое находится в 60 км на юго-запад от города Депутатский. Оценочные промышленные запасы составляют более 90 млн. м³ и содержат более 74000 т олова. Руды также содержат вольфрам, индий, скандий и ниобий.

Алмазы

Многие крупные месторождения алмазов в России находятся в кимберлитовых трубках Восточно-Сибирской минералогической провинции, в рамках которой различают несколько кимберлитовых полей. Основными из них являются: Далдыно-Алакатское, Мало-Ботуобинское и Средняя Марха, где кимберлитовые тела разного возраста образуют обширные поля (Рисунок 5). Древнейшие из них, небольшие дайки и трубки докембрийского возраста, находятся в юго-западной части провинции и содержат немного алмазов. Все первичные месторождения промышленного интереса этой провинции были сфор-

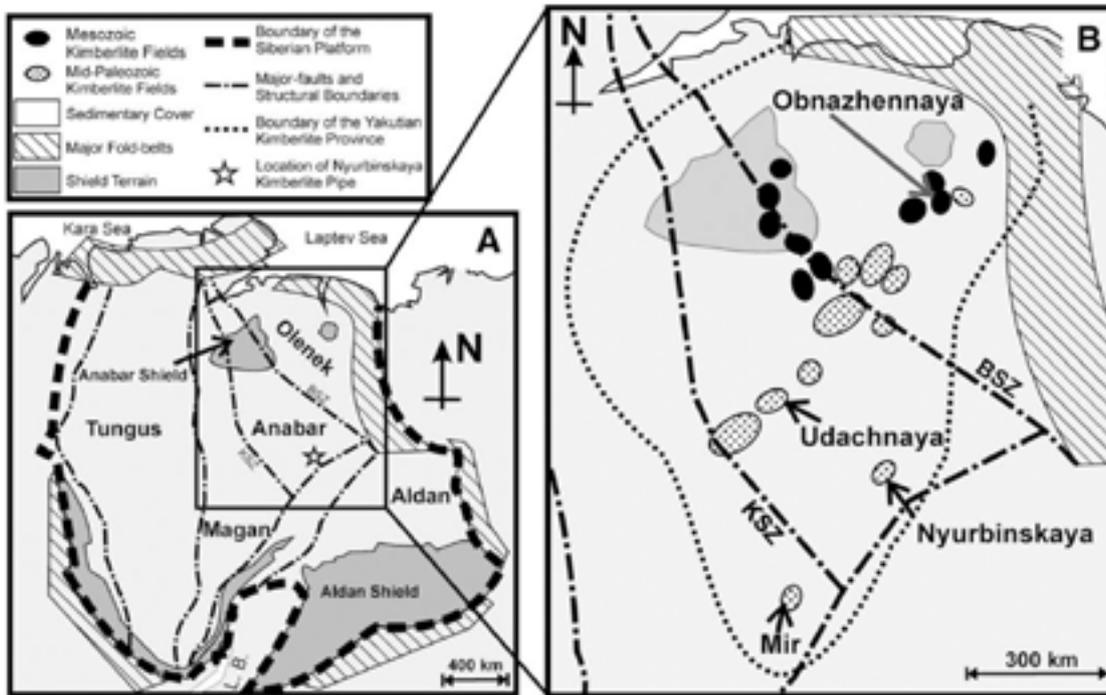


Рисунок 5. Расположение и карта Восточно-Сибирской (Якутской) кимберлитовой провинции (Riches и др., 2010).

мированы во время периода палеозойской тектонической и магматической активности.

Первой кимберлитовой трубкой, которая была открыта в СССР (России), была трубка «Зарница» в Восточно-Сибирской алмазодобывающей провинции. Она была найдена в коренных породах в 1954 году в результате работ промысловым способом фокусированных на пироп, во главе с работниками ВСЕГЕИ Л.А. Попугаевой и Н.Н. Сарсадских, которые были пионерами в этой области. В последующие годы было обнаружено большое количество алмазодобывающих кимберлитовых трубок, содержащих богатые месторождения алмазов (в нескольких частях мира), используя этот метод.

Удачная

Месторождение «Удачное» уникально благодаря своим размерам и среднему содержанию алмазов. Кимберлитовая трубка была обнаружена в 1955 году в результате промысловых разведочных работ, во главе с Н. Здота и В.Н. Щукиным из Амакинской экспедиции и Л.А. Попугаевым и Н.Н. Сарсадских (ВСЕГЕИ).

Трубка «Удачная» является одной из крупнейших трубок, разведанных в Республике Саха (Якутия). С 1971 года месторождение «Удачное» разрабатывалось открытым спосо-

бом; текущие размеры поверхности которого 2,0×1,5 км, и месторождение эксплуатируется на глубину более 600 м (Рисунок 6). Месторождение в настоящее время разрабатывается на подземном руднике «Удачный». Рудник, по прогнозам, достигнет максимальной производственной мощности 4 млн. т в 2019 году. Трубка «Удачная» прорывает венд-палеозойские терригенно-карбонатные горные породы осадочного чехла. Она приурочена к пересечению системы разломов субширотного простирания с разломом северо-западного простирания (Харьков, Зинчук, Крючков, 1998), и может быть прослежена как единое

Рисунок 6. Открытая разработка трубки Удачная.



рудное тело от поверхности до глубины 250 м. Ниже этого уровня трубка распадается на два независимых рудных тела: Восточное и Западное, разделенных блоком окружающих верхнекембрийских осадков. Расстояние между рудными телами значительно возрастает с глубиной, от примерно 100 м на уровне нижней части существующего карьера (-320 м) до 325 м на глубине 1080 м.

Состав кимберлитов, размер зерен и содержание алмазов в трубке «Удачная» были подробно изучены, на основании данных из разрабатываемых горизонтов в верхней части месторождения. Стоимость 1 карата алмазов класса +0,5 мм из месторождения трубки «Удачная» составляла в 2012 году до \$ 65,5 за карат. Добыча открытым способом все еще ведется, но и подземный рудник уже строится. Самые крупные алмазы, найденные на месторождении: «Александр Пушкин» - 320 карат, «Власть Советов» - 196,6 карат, «60 лет Якутской АССР» - 173,7 карата, «Академик Сахаров» - 172,5 карата.

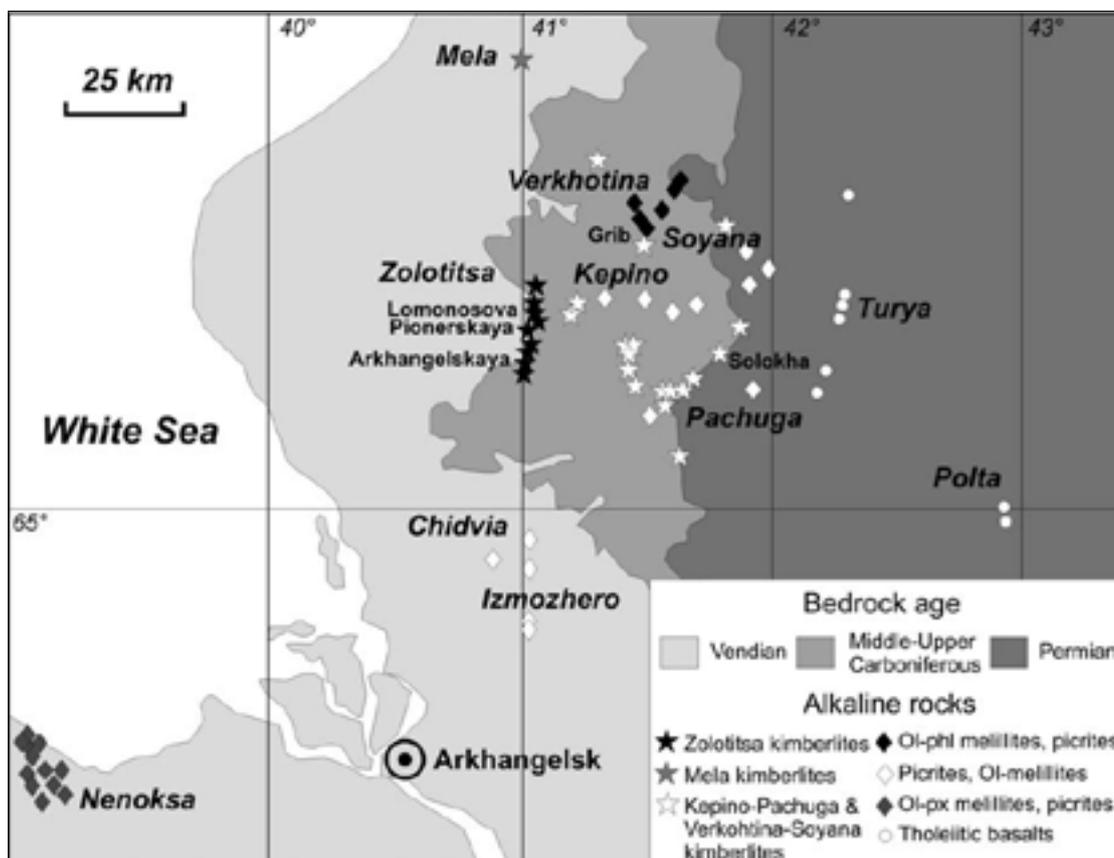
Мир

Кимберлитовая трубка «Мир», которая была

обнаружена в 1955 году, является круто погружающейся, трубчатой, но конической только до глубины 300 м, а в интервале глубин 300-900 м она становится цилиндрической. Это тело становится заметно уже в интервале глубин 900-1000 м и превращается в магматический источник, субвертикальную кимберлитовую дайку, длиной около 300 м и толщиной 25-30 м. Трубка «Мир» состоит из кимберлитовых пород, образовавшихся в результате трехфазного вторжения кимберлитовых магматических интрузий.

Извлечение алмазов на месторождении началось в 1957 году открытыми горными работами и продолжалось в течение 44 лет. Карьер кимберлитового поля трубки «Мир» 525 м в глубину и 1,2 км в диаметре. Открытая добыча полезных ископаемых из алмазоносных кимберлитов была прекращена в июне 2001 г. По результатам геологоразведочных работ, глубина алмазоносного кимберлитового поля более одного километра. Компания «АЛРОСА» начала подземное извлечение алмазов в 2009 г. Содержание алмазов трубки «Мир» является высоким, в среднем выше 3 каратов на тонну. Алмазы известны за свое

Рисунок 7. Распределение кимберлитов и других щелочных комплексов в Архангельской алмазоносной провинции (Lehtonen и др., 2009).



| Кимберлитовая трубка | Категория по JORC Кодексу | Вес руды (кило-тонн) | Содержание алмазов условно-ситового класса +3 (карат/т) | Содержащиеся алмазы условно-ситового класса +3 (килокараты) |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|---|---|
| Архангельская | Возможно | 57,087 | 0,76 | 43,189 |
| Карпинская-1 | Возможно | 18,438 | 1,13 | 20,918 |
| Всего вероятных запасов | | 75,525 | 0,85 | 64,107 |

Таблица 2. Рудные запасы Ломоносовского месторождения (Отчет: "Micon International Co Limited", 2013).

довольно высокое качество. Алмазы включают в себя октаэдры (61%), ромбовидные додекаэдры (10%), комбинационные формы (30%) и кубы. Бесцветные камни являются наиболее распространенными, но коричневые, голубовато-зеленые, дымчато-серые и фиолетовые вариации также встречаются. Исследования содержания алмазов в районе трубки до глубины 1000 м не показали каких-либо регулярных изменений в их распределении в кимберлитовой руде. Самый крупный алмаз, «XXIV съезд КПСС», извлеченный на руднике «Мир» в 1980 году весил 342,5 карата. Запасы месторождения трубки «Мир» в классе А + В + С1 составляют 139558,9 карата на тонну, а в классе С2 3338,5 карата на тонну.

Ломоносовское алмазное поле

Открытие в начале 1980-х годов новой алмазоносной кимберлитовой субпровинции на севере европейской части России (100 км к северо-востоку Архангельска) явилось результатом систематического изучения геологического строения региона, начатого архангельскими геологами в начале 1960-ых годов. В 1978 году, была проведена аэромагнитная съемка, были выделены перспективные магнитные аномалии, а разведочное бурение выявило большое количество алмазоносных трубок, в том числе промышленных, формирующих отдельные поля (Рисунок 7).

Каждая трубка состоит из подводящего канала, который, в случае с трубками «Архангельская», «Карпинская-1» и «Пионерская», перекрыт кратерными фациями. Трубки «Архангельская», «Карпинская-1» и «Ломоносовская» почти круговые в плане, в то время как трубки «Карпинская-2» и «Пионерская» являются эллиптическими.

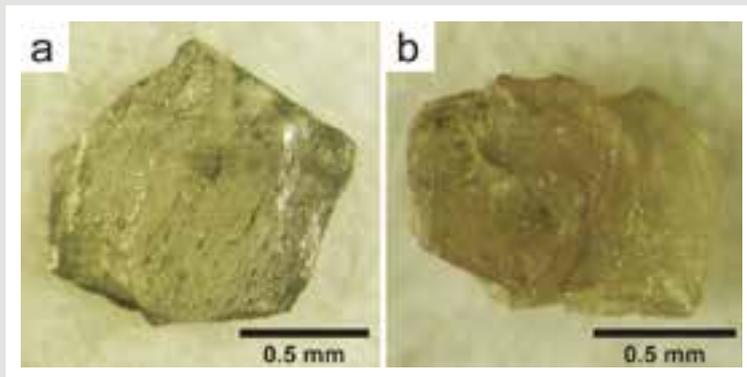
Кристаллы алмаза, как правило, серые или с серым оттенком (42%); доля бесцветных алмазов составляет 39%. Цветные (черные, желтые, зелено-серые, коричневые) кристаллы, и те, что с различными оттенками составляют 19%. Более чем 50% кристаллов являются прозрачными. Доля непрозрачных алмазов составляет 15%, срощенных 21,5%, состоящих из обломков кристаллов 11,8% и двойниковых кристаллов 10%. Сорок процентов кристаллов являются трещиноватыми. Доля изометрических кристаллов составляет 35%, а деформированными являются 25%.

Ломоносовский ГОК, производственное предприятие открытого акционерного общества «Севералмаз», в настоящее время разрабатывает трубки «Архангельская» и «Карпинская-1». Добыча открытым способом была начата на трубке «Архангельская» в 2005 году. Размеры поверхности карьера 1,16 км × 1,12 км, а его глубина в настоящее время составляет 110 м. Вскрышные работы начались на кимберлитовом поле трубки «Карпинская-1» в 2010 году. В настоящее время глубина карьера составляет 90 м; размеры его поверхности 830 м × 500 м. Карьер «Карпинской-1» запланирован быть введенным на полную производственную мощность (2 млн. т/г) в 2015 году.

Попигай

Попигайская импактная структура (диаметр 100 км) образовалась в результате столкновения с астероидом примерно 35,7 млн. лет назад; структура находится примерно в 200 км юго-восточнее Хатангского залива (который расположен в юго-западном углу моря Лаптевых). Горные породы фундамента (различные гнейсы и сланцы) и позднепротеро-

Рисунок 8. Импактные алмазы из Попигайской импактной структуры



зойско-мезозойский чехол с общей толщиной около 1 км, в том числе графитовые водоносные горизонты, стали мишенью удара. Внутренняя структура астроблемы характеризуется наличием центральной депрессии, круговыми поднятиями кристаллического фундамента, а также кольцевой траншеи, окруженной зоной деформированных пород. Депрессии и траншеи заполнены различными ударными брекчиями и импактитами, образованными ударными преобразованиями и перемещениями дробленых и расплавленных местных пород. Ударные брекчии и импактиты встречаются также в небольших районах за пределами кратера.

Графит в зоне воздействия был преобразован в алмаз за мельчайшие доли секунды, скорость преобразования была такова, что нормальные темпы развития кристаллов не были физически возможны: попигайские алмазы являются, по отношению к алмазам ювелирного качества из кимберлитов, описанных выше, маленькими и очень твердыми. Алмазоносные импактиты находятся на поверхности в пределах площади около 1140 км²; общая площадь их развития составляет около 3500 км². Алмазы широко распространены в этой области. Настоящие алмазные импактиты встречаются в виде толстых (до 600 м), обширных (до 10-15 км²) субгоризонтальных и линзовидных тел; более мелкие разнообразные тела толщиной десятки метров также присутствуют.

Доказанные запасы и прогнозные ресурсы импактных алмазов в коренных породах об-

щей площадью около 120 км² на Попигайской астроблеме достигают до 212 гигакарат. В дополнение к областям месторождения и рудника, общее количество алмазов в импактитном слое толщиной 50 м в остальной части района (около 1020 км²) оцениваются примерно в 150 гигакарат. Запасы и ресурсы россыпных импактных алмазов также очень значительны. Алмазные запасы Попигайской астроблемы превышают запасы алмазов всех других алмазоносных провинций в мире.

Будущий потенциал в отношении развития минерально-сырьевой базы российской Арктики

Большое внимание уделяется основным ресурсам в арктических регионах России - углеводородам. Однако, ресурсы многочисленных металлов, также очень велики: они включают в себя залежи железной руды, титана, ванадия, циркония, меди, никеля, кобальта, золота, металлов платиновой группы, алмазы и многие другие. Этот регион является одним из самых важных в мире источников никеля и металлов платиновой группы.

Сектор полезных ископаемых занимает ключевое положение в экономике арктических регионов в большинстве стран Арктики: это делает статус и качество минерально-сырьевой базы (МСБ) и динамику ее развития весьма важными. В глобальной перспективе, наблюдается устойчивая тенденция развития стратегических ресурсов металлов Арктического региона. Российская Арктика является регионом исключительной важности для

| Область | Основные типы полезных ископаемых |
|--------------------------------|---|
| Кольский полуостров | ЭПГ, Cu, Ni, Ti, Ta, Nb, РЗЭ, Fe, P, Fl, Cr, Mn, Au |
| Таймыр-Норильск | Ni, Cu, Co, ЭПГ |
| Томторская | РЗЭ, Nb, Fe, Al, P |
| Якутия-Анабарская | Алмазы, Sn, Fe, специальные металлы |
| Маймечка-Котуйская и Уджинская | P, Fe, Nb, ЭПГ, алмазы |
| Таймыр-Северная | Au, Mo, W, Cr, V, цветные металлы |
| Яно-Чукотская | Sn, Au, Hg, W, Cu, Mo, Ag, ЭПГ, цветные металлы |

Таблица 3. Сводные данные по основным видам полезных ископаемых, найденных в отдельных регионах и провинциях арктической России.

экономики, национальной безопасности и международных отношений Российской Федерации. Развитие Северного морского пути является одной из иллюстраций национального приоритета к региону, который в приоритетном порядке был и будет по-прежнему иметь особое значение для развития минерально-сырьевой базы в самом северном арктическом регионе.

В 2015 году российское правительство приняло решение о разработке уникальных Томторских месторождений железа, алюмофосфатов и редких металлов. Месторождения содержат чрезвычайно высокое содержание РЗЭ, ниобия и других продуктов: создание необходимой инфраструктуры создаст на Томторе новый сырьевой источник для производства феррониобийных сплавов, иттрия, скандия, алюмофосфатов и других высокоценных продуктов. Комплексное развитие Томтора создаст новый центр по производству стратегически важных сырьевых материалов.

Арктический регион (Кольский полуостров, Архангельск, Норильск, Таймыр, Якутия и Чукотка) содержит следующие проценты запасов России по ряду ключевых полезных ископаемых: апатитовый концентрат (90%),

никель (85%), медь (60%), ЭПГ (> 98%), вольфрам (50%), редкоземельные элементы (> 95%), олово (> 75% доказанных запасов), золото (около 40%), серебро (около 90%) и алмазы (> 99% в Якутии, в Архангельской области и в Таймырском автономном округе). Есть также крупные месторождения ртути в Яно-Чукотской провинции и на Таймыре.

Многочисленные крупные месторождения, до сих пор, классифицированы менее точно в качестве ресурсов. Среди них наиболее важными являются месторождения: марганца (на Новой Земле), хрома (в Ямало-Ненецком автономном округе и в Мурманской области) и титана (на Кольском полуострове). Разведанные и прогнозные ресурсы на арктическом шельфе и на Арктической группе островов включают в себя: аллювиальное олово, золото, алмазы, марганец, цветные металлы, серебро, флюорит, самоцветы и различные драгоценные камни.

Существуют все основания полагать, что дальнейшие крупные открытия будут сделаны в российской Арктике, и, что горнодобывающая промышленность будет продолжать иметь жизненно важное значение в обозримом будущем.

ПОЯСНЕНИЯ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ

- Аллювиальный:** материал, транспортируемый в виде взвеси и отлагаемый реками
- Гранит:** plutоническая горная порода, содержащая кварц, щелочной полевой шпат и плагиоклаз, обычно также небольшое количество слюды
- Гроздевидный:** минерал с поверхностью, имеющей сливающиеся сферические формы
- Железная шляпа:** железосодержащий продукт выветривания, перекрывающий сульфидные месторождения
- Карбонатиты:** магматические горные породы, обогащенные карбонатными минералами
- Кимберлит:** магматическая горная порода, образовавшаяся в мантии Земли и взрывообразно проникшая в земную кору по трубке сформированных каналов
- Кратоны:** континентальные области, недеформированные и метаморфизованные в течение длительного периода времени
- Мафический:** plutоническая горная порода с высоким содержанием темных, ферромагнезиальных минералов
- млн. лет: миллионов лет
млн. т: миллион тонн
млрд. лет: миллиардов лет
- Моласса:** мощная, сильно изменяющаяся осадочная толща, частично морского и частично континентального происхождения
- Ороген:** крупномасштабный линейный или дугообразный подвижный пояс, который был подвергнут складкообразованию и деформации
- Орогенез:** процесс горообразования, в основном, во время столкновения континентов
- Офиолит:** срез древней океанической земной коры, надвинутый на континент
- Рапакиви:** горная порода, чаще всего гранитного состава, в которой кристаллы выросли с образованием округлой текстуры
- Россыпь:** речной или пляжный осадок, в котором ценные минералы, полученные в результате выветривания изначальной горной породы, были сосредоточены в результате естественных процессов
- Скарны:** горные породы, в основном, образовавшиеся при контакте между магматическими интрузивными породами и карбонат-содержащими породами под влиянием флюидов, полученных из интрузии, вмещающих пород или метеорной воды. Флюиды могут быть обогащены кремнием, алюминием, железом, магнием и т.д.. Иногда имеют промышленное значение для меди, цинка, свинца, серебра, золота и т.д.
- Супракрустальные горные породы:** породы, образовавшиеся на поверхности, например, песчаник, сланец, карбонат, вулканические породы
- Террейн:** обособленный аллохтонный (перемещенный) фрагмент океанического или континентального материала с ярко выраженной тектонической историей
- Тоналит:** plutоническая горная порода с кварцем и плагиоклазом в качестве важных компонентов
- Турбидит:** осадок, осажженный из турбидитного потока, обычно имеющий сортированную слоистость
- Ультрамафит:** магматическая горная порода, в которой $\geq 90\%$ состава состоит из темных минералов, обогащенных магнием и железом
- Цветные металлы:** группа распространенных, химически активных металлов, обычно это кобальт, медь, свинец, никель и цинк
- Щелочные горные породы:** магматические горные породы, обогащенные натрием и/или калием
- Эклогит:** горная порода, обычно, обогащенная магнием и железом, которая метаморфизована при давлениях в условиях нижней земной коры и состоящая преимущественно из граната и пироксена
- Экспалянт:** осадочные отложения, сформировавшиеся выпадением минералов, связанных с гидротермальной активностью на морском дне
- Эскер:** стратифицированный аллювиальный песок и гравий, осажженные ледником
- Для других терминов: <http://geo.web.ru/db/glossary.html>

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ В АРКТИКЕ

Геологические службы, действующие в Арктическом регионе, собрали информацию о наиболее важных месторождениях полезных ископаемых к северу от 60° северной широты - в базе данных, на карте и в соответствующих пользовательских описаниях (для специалистов в геологии и более краткая версия для широкого круга читателей в этом издании). Наиболее крупные месторождения металлов и алмазов на суше являлись приоритетными. Версия с кратким описанием публикуется на английском, французском и русском языках.

Эти публикации представляют собой первую подборку информации о наиболее важных месторождениях приоритетных видов ресурсов в Арктике. Эта подборка показывает не только важность, которую горнодобывающая промышленность имела в Арктике на протяжении сотен лет, но и приоритетное внимание к разведке полезных ископаемых в этом регионе в последнее время. Горнодобывающая промышленность является очень важной для северных регионов большинства стран Арктики и несколько месторождений к северу от 70° северной широты (в Канаде, Гренландии, Норвегии и России) разрабатываются или подготавливаются к добыче полезных ископаемых. Добыча некоторых продуктов из рудников Арктики представляет собой основную часть мировой добычи. Результаты исследований как в уже признанных разрабатываемых провинциях, так и в новых, перспективных областях, показывают, что существует значительный потенциал для новых важных открытий.



GEOLOGICAL
SURVEY OF
NORWAY

- NGU -

ISBN 978-82-7385-164-2



9 788273 851642 >