

ОСНОВЫ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

В Северо-Западном регионе России представлены разнообразные месторождения и структурно-формационные обстановки их образования: территория включает фрагменты Балтийского кристаллического щита, Восточно-Европейской платформы, Предуральского краевого прогиба, Уральского складчатого пояса, шельфовую зону Баренцева моря. Эти структурные области различны по геологическому строению и минерогенической специализации, но имеют и ряд общих черт. С позиций системного анализа, в качестве элементов принят иерархический ряд геологических объектов: месторождений и проявлений полезных ископаемых, рудных полей, структурно-металлогенических зон в их генетическом единстве. Объединение внешне разнородных объектов (месторождений углеводородов, твердых горючих, рудных и неметаллических полезных ископаемых) потребовало разработки понятийного аппарата, теоретических и методических основ анализа общей системы минерально-сырьевых ресурсов региона. Использована предложенная В.С.Голубевым (1993) концепция рудообразования как сопряженного процесса: руды с высоким содержанием компонентов формируются в наиболее высокоградиентных рудообразующих системах, а масштабы проявления рудной минерализации коррелируются с количеством поступившего в рудообразующую систему тепла. Такие условия возникают вблизи границ различных геосфер или локальных геохимических барьеров. Глубинные (мантийные) тепломассопотоки определяют ведущую – энергетическую – сторону процесса. Крупные синметаморфические месторождения полезных ископаемых, как и крупные месторождения нефти и газа, контролируются локальными тектоническими структурами. В регионе проявлена среднепалеозойская ($D_{2,3}$) эндогенная активизация, с которой связаны уникальные месторождения апатит-нефелиновых руд (Хибинская группа), рудкометалльно-редкоземельная минерализация (Ловозерский массив), алмазоносные кимберлиты Архангельской области, ряд карбонатитовых месторождений Карело-Кольского региона.

North-west region of Russia is characterized by the outstanding diversity of mineral deposits, as well as of structural-formation settings of their location. Its territory includes large fragments of Baltic (Scandinavian) shield, East-European platform, Pre-Urals trough and the Urals folded belt, the Barentz sea offshore zone. All these areas are distinctly differing by their geological structure and the mineragenetic specialization, but, anyway, they have some common features also. Regarding the region as an object of the systems analysis, there is a hierarchical row of geological objects linked in the frame of the unique genetic concept: ore deposits and mineral occurrences, ore fields, structural-metallogenic zones, etc. Such a joining of apparently dissimilar objects (oil and gas fields, coal deposits, ore and industrial minerals deposits) may be possible on the quite general level only. That is why investigation included an elaboration of the needed glossary, theoretical and methodical fundamentals of the regional-scale analysis. There was used the concept, developed by V.S.Golubiev [1993], of the ore-forming process as the conjugated one: the highly concentrated ores are formed inside the most high-gradient ore-forming systems, and the ore-mineralization rate is proportional with the amount of the heat inflow. Appearance of the high-gradient conditions, favorable for the ore-forming, is more probable near a boundary between different geospheres, ore at some local geochemical barrier. Plutonic (mantle-originated) heat-and-mass inflows define in an ore-concentrating process its energetic aspect, which is determining one. The large synmetamorphic ore deposits are controlled by the local tectonic structures, so as the large oil and gas fields confined usually to deep-seated rift-origin zones. Processes of the Middle-Paleozoic ($D_{2,3}$) endogenous activation have most distinctly appeared over the whole North-west region. The have provided formation of the unique large-scale apatite-nepheline ore bodies (Khibiny), REE-rare-metal ore mineralization of Lovozero, diamond-bearing kimberlites of Arkhangelskaya province, a series of carbonatite ore deposits in Karelia and Kola peninsula.

Северо-Западный федеральный округ является одним из крупнейших горно-промышленных районов России. В его пределах находятся сотни месторождений всех основных видов полезных ископаемых: топливно-энергетического сырья, черных, цветных и благородных металлов, разнообразные нерудные ископаемые. Ресурсы энергетического сырья включают нефть и газ Тимано-Печорской и Баренцевоморской провинций, уголь Печорского бассейна, крупные запасы горючих сланцев и торфа. Нефтегазовый комплекс представлен и разрабатываемыми месторождениями Республики Коми, и недавно открытыми, подготавливаемыми к эксплуатации месторождениями Ненецкого автономного округа, и газовыми гигантами на шельфе Баренцева моря.

Широко представлены в регионе месторождения цветных и редких металлов, на базе которых действуют крупные горнодобывающие предприятия: в Костамукше, Ковдоре, Оленегорске, Печенге, Северо-Онежском районе, Ловозере и др. Значительны перспективы выявления и освоения месторождений дефицитных в Российской Федерации полезных ископаемых: хрома, марганца, урана, бокситов, и др.

По добыче некоторых неметаллических полезных ископаемых Северо-Западный регион занимает в России ведущее место. Разведанные к настоящему времени запасы апатитовых руд в Хибинах не имеют перспектив существенного прироста, но их учетная величина ($A + B + C_1$) составляет около 4 млрд т (или 551 млн т P_2O_5). Их добыча по-прежнему обеспечивает около 60 % производства фосфатов в стране. Крупные месторождения алмазов открыты в Архангельской области, и в ближайшие годы возможно начало их разработки. Признаки алмазоносности выявлены во многих районах Северо-Запада: на Тимане, в Ленинградской, Псковской, Новгородской, Вологодской, Мурманской областях, в Карелии. Комплекс поисковых работ на этих территориях планирует проводить в ближайшие годы компания «АЛРОСА». В марте 2002 г. в Республике Коми введен в экс-

плуатацию Хойлинский горно-обогатительный комбинат с годовой добычей 120 тыс. т кускового барита, который обеспечивает сырьем производство буровых растворов в Европейской России и в Западной Сибири. В пределах региона известны многочисленные месторождения блочного, облицовочного камня и других видов строительных материалов.

Весьма широк диапазон условий изученности и освоенности этих ресурсов: многочисленные горнодобывающие предприятия действуют на протяжении десятилетий, весьма значительным является резервный фонд месторождений еще не вовлеченных в эксплуатацию, в том числе нетрадиционных для региона руд (хромиты, молибден и др.).

В традиционном понимании, понятие минерально-сырьевой комплекс (МСК) страны (или региона) включает данные о текущем состоянии и перспективах изменения баланса разведанных запасов, масштабах геологоразведки, добычи, первичной переработки минерального сырья, а также отраслей технического обеспечения горнодобывающей промышленности. Такой подход направлен, прежде всего, на оценку роли МСК в межотраслевом экономическом балансе, определение его места в экономике региона.

В рамках настоящего исследования под минерально-сырьевым комплексом понимается, прежде всего, совокупность видов полезных ископаемых и их месторождений, представленных на рассматриваемой территории и обладающих определенными свойствами (параметрами) – признаками, позволяющими рассматривать их как генетически единую систему. При таком подходе открываются возможности прогнозного анализа с оценкой перспектив возможного увеличения запасов, выявления новых, нетрадиционных для региона видов минерального сырья. В зависимости от вида решаемых задач предполагается использовать на разных уровнях структурно-генетических отношений между геологическими объектами различные наборы параметров. Таким образом, здесь рассматриваются природные характеристики минерально-сырьевого комплекса, позво-

ляющие анализировать его геологическую структуру. Конечной целью этой части исследований является построение структурно-минерагенической карты Северо-Западного региона, отражающей связь элементов МСК в геологическом пространстве и времени и обладающей прогнозным потенциалом. На следующем этапе работ планируется экономический анализ системы МСК, который, в свою очередь, позволит учесть промышленные (геолого-экономические) параметры месторождений, оценить влияние географо-экономических факторов на динамику их освоения. В этой части объектом рассмотрения становится и комплекс экологических и социальных проблем, неизбежно связанных с освоением минерально-сырьевых ресурсов.

Северо-Западный регион характеризуется значительным разнообразием месторождений и структурно-формационных обстановок их проявления: его обширная территория включает фрагменты Балтийского кристаллического щита, Восточно-Европейской платформы, Предуральского краевого прогиба, Уральского складчатого пояса, шельфовую зону Баренцева моря. Геологическое формирование этих областей происходило в разнообразных геодинамических условиях и в значительном возрастном диапазоне, что усложняет анализ структуры минерально-сырьевого комплекса. В геологическом развитии этого блока земной коры широко и разнообразно проявились процессы протоактивизации, следы которой отчетливо установлены в пределах Балтийского щита и, по геофизическим данным, предполагаются под платформенным чехлом. С проявлением среднепалеозойской тектономагматической активизации связано образование месторождений алмазов, апатита, редких металлов, железных руд, редкоземельных элементов, флогопита и других полезных ископаемых. Процессы фанерозойской тектономагматической активизации при их высоком рудогенерирующем потенциале проявились достаточно локально, не оказав существенного деструктивного воздействия на архей-протерозойские комплексы. Именно в таких слабо переработанных

более поздними процессами древних блоках земной коры сосредоточена существенная часть крупных и уникальных месторождений многих видов полезных ископаемых за рубежом, что определяет высокие перспективы в отношении рудоносности Карело-Кольского региона.

Генетическое разнообразие месторождений полезных ископаемых, применение различных геодинамических концепций при выделении металлогенических единиц, существенное различие методик, используемых при минерагеническом анализе платформенных областей, щитов и складчатых областей, создали необходимость разработки общего подхода, позволяющего с единых теоретических и методических позиций подойти к анализу закономерностей размещения различных видов сырья: нефти и газа, угля, рудных и неметаллических полезных ископаемых. Были проведены исследования, цель которых – уточнение понятийного аппарата, выработка теоретических и методических основ для общего анализа минерально-сырьевых ресурсов Северо-Западного региона.

При рассмотрении региона с позиций системного анализа в качестве элементов системы был принят иерархический ряд геологических объектов: рудопроявлений и месторождений полезных ископаемых, рудных полей, структурно-металлогенических зон и других геологических единиц, увязанных в рамках единой генетической концепции. Объединение внешне разнородных геологических объектов (месторождений углеводородов, твердых горючих, металлических и неметаллических полезных ископаемых) возможно только на самом общем уровне. Такие попытки предпринимались рядом исследователей*. Разработка генетической концепции затрагивает в этом случае основополагающие вопросы рудообразования.

* Соколов Б.А. Флюидодинамическая концепция формирования месторождений полезных ископаемых (металлических, углеводородных) / Б.А.Соколов, В.И.Старостин // Смирновский сборник-97 / Фонд им. академика В.И.Смирнова. М., 1997.

Если рассматривать явления с самых общих позиций, рудообразование – это процесс структурно-вещественной перестройки геологической среды, приводящий к возникновению в земной коре структурно-вещественной аномалии как результата функционирования определенной рудообразующей системы. Для анализа такой системы обратимся к развиваемой В.С.Голубевым* концепции рудообразования как сопряженного процесса. По аналогии с выражением для работы тепловой машины, записанным на основании теоремы Карно, при формировании металлоносной аномалии в рудообразующей системе должна совершаться работа по концентрированию рудного вещества:

$$A = nQ = \frac{T_1 - T_2}{T_2} Q,$$

где A – работа по перемещению вещества из окружающей среды к месту концентрации; Q – количество тепла, поступающего в систему; T_1 и T_2 – соответственно температуры нагревателя и холодильника.

Количество поступающего в систему тепла пропорционально интенсивности теплового потока и времени его функционирования. Анализ этого выражения показывает, что для образования рудной концентрации необходимо поступление тепла в рудообразующую систему и что эта система должна быть открытой, – в ином случае $\Delta T = T_1 - T_2$ будет стремиться к нулю. При постоянном тепловом потоке эффективность концентрирования рудного вещества тем больше, чем выше температурный градиент, который в итоге определяет величину n , характеризующую коэффициент полезного действия системы. Руды с высокими содержаниями ценных компонентов формируются в наиболее высокоградиентных рудообразующих системах, а масштабы проявления рудной минерализации, при прочих равных условиях, пропорциональны количеству поступившего в систему тепла. Создание высоко-

градиентных условий при рудообразовании чаще всего реализуется вблизи границ различных геосфер или более локальных геохимических барьеров.

Существенное влияние на процессы рудообразования оказывает характер теплопереноса в рудообразующую систему. Кондуктивный теплоперенос или теплоперенос, осуществляемый медленно фильтрующимися метаморфогенными флюидами, неблагоприятен для формирования крупных скоплений высококонцентрированных руд. Наиболее эффективно эти функции выполняют локализованные в пределах контрастных геологических структур флюидные потоки. Это в равной мере относится к месторождениям твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых. С учетом сказанного выше, разделение месторождений на эндогенные и экзогенные подразумевает, в первую очередь, образование первых за счет потока глубинной энергии, а вторых – за счет потока солнечной энергии. Как образно выразился В.С.Голубев, «... на Земле функционируют "сконструированные" природой устройства, "машины", функционирующие на потоках энергии Солнца и Земли и превращающие ее в работу сопряженных процессов...»*. В данном случае в качестве сопряженных процессов можно рассматривать все процессы, приводящие к усложнению структуры вещества земной коры, в том числе и рудообразование. Для таких «тепловых машин» совершенно безразлично, какая подвижная субстанция (газ, вода, флюид, магма) выступает в роли «рабочего тела»; гораздо важнее природа источника энергии, заставляющей их выполнять полезную работу по концентрированию рудного вещества или другим структурно-вещественным преобразованиям, приводящим к формированию тел полезных ископаемых.

Во всех случаях необходимо наличие в пределах рудообразующей системы источника рудного вещества. Расстояние от источника вещества до места его концентрации может быть самым разнообразным, что определяет объемные параметры рудообра-

* Голубев В.С. Необратимые процессы и эндогенное рудообразование // Сафроновские чтения / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1993.

* Там же, с.58.

зующей системы. При этом важно подчеркнуть относительную независимость генетических и геометрических параметров материнских пород (источников рудного вещества) и каналов тепломассопереноса, определяющих процессы концентрирования рудного вещества. При рассеянном характере рудного вещества, каналы тепломассопереноса должны быть максимально локализованы, что позволяет достигать высокоградиентных условий рудогенеза, определяющих возможность достижения большого коэффициента концентрации рассеянного рудного вещества.

Очень часто при обсуждении вклада глубинных (мантийных) и коровых источников рудного (углеводородного для месторождений нефти и газа) вещества отмечается незначительная роль первого и преобладание второго из них. При этом не учитывается, что глубинные (мантийные) тепломассопотоки определяют, в первую очередь, энергетическую сторону рудоконцентрирующего процесса, которая является определяющей. Крупные синметаморфические месторождения металлических полезных ископаемых всегда контролируются локальными тектоническими структурами, как и крупные месторождения нефти и газа, которые приурочены к рифтогенным структурам.

Если с рассмотренных выше позиций определить региональную рудообразующую систему в пределах интересующего нас блока земной коры, то в самых общих чертах с учетом его геологического строения она представляется следующим образом. Наиболее крупными структурными элементами являются восточная часть Балтийского щита в пределах Карело-Кольского региона, Западно-Арктическая платформа (Баренцевская плита), Восточно-Европейская платформа с Предуральским краевым прогибом и рядом наложенных впадин (Мезенская и Печорская синеклизы), Тиманская складчато-надвиговая область и зона склона Балтийского щита. Все эти структуры достаточно отчетливо обособлены по своему геологическому строению и минерагенической специализации, но в них можно отметить и ряд общих черт.

Так, для всех выделяемых структурных элементов в пределах рассматриваемого геологического блока характерно совпадение ярко проявленных геологических событий, нашедших отражение и в формировании месторождений самых разнообразных полезных ископаемых. На территории Балтийского щита в архее и протерозое происходило формирование зеленокаменных поясов, с которыми связано железорудное и медно-никелевое оруденение. Для рифея характерны процессы активизации с развитием наложенных вулканогенно-терригенных впадин, контролирующих урановое и ванадиевое оруденение. Активизация рудообразующих процессов имела место не только в пределах Балтийского щита, но и в других частях рассматриваемой территории, где докембрийские образования перекрыты породами осадочного чехла. Выявление заложённых в докембрийское время и активизированных в фанерозое структур фундамента является важной задачей: проявляясь в породах платформенного чехла, они могут играть роль локализаторов оруденения самого разнообразного типа. Особый интерес в этом отношении представляет серия рудоносных структур склона Балтийского щита, в пределах которого широко распространены месторождения как докембрийского, так и фанерозойского возраста.

Наиболее отчетливо в пределах Северо-Западного региона проявлены процессы эндогенной активизации среднепалеозойского (D_{2-3}) возраста. Они нашли отражение в формировании уникальных месторождений апатит-нефелиновых руд (Хибинская группа), рудкометалльно-редкоземельной минерализации (Ловозерский массив), алмазных кимберлитов Архангельской области, ряда карбонатитовых месторождений Карело-Кольского региона. В это же время происходило формирование латеритных кор выветривания, с которыми связаны месторождения бокситов Тиманской, Северо-Онежской и Тихвинской групп. Характерно также, что возраст всех нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской не опускается ниже среднего девона, в связи с чем можно предположить существенную стерилиза-

цию основной части докаменноугольных потенциальных нефтегазоносных структур в процессе регионально проявленной среднедевонской эндогенной активизации.

Выявленные особенности однозначно свидетельствуют о генетическом единстве разнообразных проявлений эндогенной минерализации и о сопряженности с ними ряда экзогенных рудообразующих процессов, связанных с контрастной перестройкой тектонических движений. Предлагаемый подход позволяет на общей генетической основе с учетом периодичности активизации эн-

догенных процессов воссоздать временные срезы генерации полезных ископаемых и отобразить выявленную ситуацию в виде минерагенической карты. В случае реализации ее прогнозного потенциала с учетом сосредоточения в пределах Северо-Западного региона широчайшего комплекса полезных ископаемых, образовавшихся в различном возрастном диапазоне и практически во всех возможных геологических ситуациях, предлагаемый подход можно рассматривать как основу для анализа структуры минерально-сырьевого комплекса России в целом.