

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

УДК 551.24:550.81

© А.А.Гаврилов, 2014

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ MORPHOSTRUCTURAL-MINERAGENIC

МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.А.Гаврилов (ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН)

Предложена модельно-целевая установка морфоструктурно-минерагенических исследований, включающая оригинальное определение предмета изучения, положения о гомологии, конвергенции, минерагенической асимметрии, паспортизации очаговых систем и ориентированная на выявление областей и зон кумуляции эндогенной энергии, идентификацию структурно-вещественных следов явлений тепло-массопереноса в рельефе и геологической среде. В качестве примеров апробации предлагаемых теоретических положений приведены краткие результаты морфоструктурно-минерагенического изучения Восточно-Азиатского и Кольско-Карельского надплюмовых мегасводов.

Ключевые слова: морфоструктура центрального типа, плюм, минерагения, мегасвод, очаговая система, гомология.

Гаврилов Александр Анатольевич, gavrilov@poi.dvo.ru

PRESSING QUESTIONS OF THEORY AND PRACTICE OF MORPHOSTRUCTURAL-MINERAGENIC RESEARCHES

A.A.Gavrilov

The target-model position of morphostructural-mineragenic researches is proposed. It includes the original definition of research subject, concepts of homology, convergence, mineragenic, asymmetry, the certification of focus systems and directed to the revelation of areas and zones of the endogenous energy cumulation. It is aimed too at the identification of structural-material traces of the heat-mass transfer phenomena in relief and within geological environment. The brief results of morphostructural-mineragenic study of the East Asian and the Kola-Karelian over-plume mega-arches as examples of tests of theoretical concepts are considered.

Key words: morphostructure of the central type, plume, minerageny, mega-arch, focus system, homology.

Существование сложного комплекса факторов (структурный, энергетический, геохимический, хронологический и др.) развития рудно-магматических и алмазоносных очаговых систем как специфических структурно-вещественных элементов литосферы требует их адекватного описания и комплексного изучения, основанного на анализе и синтезе разнородной геологической, геоморфологической, геофизической и другой информации, включая данные дистанционного зондирования из космоса. Наиболее полно такой комплексный подход к решению вопросов структурного контроля проявления полезных ископаемых, анализа закономерностей размещения, поиска, прогноза месторождений, районирования территорий реализован в морфоструктурно-минерагенических исследованиях. Однако, несмотря на большое число публикаций (И.К.Волчанская, И.Н.Томсон, В.С.Кравцов, В.В.Соловьев, Н.В.Скублова, В.В.Середин и др.), многие вопросы методологии и методики этого научного направления, развивающегося на стыке смежных наук — тектоники, морфотектоники, геоморфологии и минерагении, остаются, по-прежнему, актуальными и требуют дальнейшего уточнения и детализации.

Вопросы методологии и методик исследований. Развитие морфоструктурных исследований сопровождается экстенсивным ростом информации и приводит к необходимости их дифференциации и специализации. Очевидно, что цели, задачи, объекты, предмет и методы морфоструктурного изучения территорий при решении вопросов инженерной, динамической, поисковой или рудной геоморфологии

будут различны. В одних случаях акцент делается на анализе блоковых форм и геодинамически активных зон разломов, в других — потребуются комплексная оценка морфоструктурного плана территории, в-третьих — в качестве главных объектов рассматриваются очаговые магматические структуры и т.д. Существенно будут различаться также методы получения информации и предметы исследований, представляющие собой различные модели объектов. Все это вызывает необходимость

определения модельно-целевой установки морфоструктурных исследований, учитывающей специфику поставленных задач, особенности геологического и геоморфологического строения конкретных районов.

Образование эндогенных месторождений руд металлов и неметаллов неотделимо от энергоемких процессов, приводящих к переводу кларковых соотношений рудных элементов в магме и горных породах в промышленно значимые [18]. Такие предпосылки возникают только в условиях существования мощных источников энергии и реализации в геологической среде явлений мобилизации, переноса, дифференциации и концентрации частиц эндогенного рудного вещества. Поэтому проявления и месторождения полезных ископаемых необходимо оценивать не только как геохимические, но и как палеоэнергетические аномалии соответствующего уровня и возраста, тесно связанные с эндогенным режимом территории и структурами, опосредующими тепломассоперенос как в недрах, так и между недрами и земной поверхностью. В этом случае цель морфоструктурно-минерогенетических исследований заключается в выявлении и изучении выраженных в рельефе энергонесущих структур литосферы, играющих определяющую роль в создании условий для образования аномальных концентраций широкого ряда химических элементов, природные соединения которых используются в качестве минерального сырья.

Общая направленность морфоструктурных исследований на выявление глубинных факторов и механизмов тектономорфогенеза требует такой формулировки предмета исследований, которая позволяла бы охватывать всю последовательность и целостность рельефообразующих процессов от возникновения глубинных энергетических импульсов и слабо структурированных движений масс до формирования эндогенных геоморфологических форм. Перемещения рудного вещества в недрах и на поверхности Земли представляют часть планетарного круговорота потоков энергомассопереноса, следовательно, предметом морфоструктурно-металлогенетических исследований должен служить весь комплекс моделей, связанный с изучением энерго-, магомгенерирующих систем, а также глубинных и поверхностных факторов, путей миграции магм, газов, флюидов, гидротерм, условий мобилизации и концентрации мантийных, коровых групп рудных и нерудных элементов [5]. В качестве опорных построений могут быть использованы модели очаговых и разломных систем, разработанные при изучении районов современного вулканизма и рудообразования как на суше, так и на дне морей и океанов; структурные и геодинамические модели гранитосводового тектогенеза орогенных областей [4, 12 и др.], а также другие результаты изучения взаимосвязей потоков тепломассопереноса и форм их отражения в рельефе.

С теоретических позиций объектами морфоструктурных исследований для изучения эндогенной минерогенезации могут быть все известные типы рудоконтролирующих и рудолокализирующих дислокаций. Однако и энергетическая подоплека процессов рудогенеза, и многочисленные данные изучения рудных полей и районов (работы В.А.Невского, А.А.Фролова, И.Н.Томсона, Г.И.Туговика, Г.Ф.Яковлева, И.К.Волчанской, Н.Т.Кочневой, В.В.Соловьева, Н.В.Скубловой, В.В.Середина и др.) подтверждают тот факт, что на всех уровнях организации рудных систем (тело, зона, месторождение, поле, узел и т.д.) главная роль в создании условий для генерации и концентрации полезных компонентов принадлежит очаговым системам (эксплозивные, интрузивные и др.), их рядам и рудоконтролирующим зонам разломов. Традиционным объектам морфоструктурных исследований орогенных областей — блоковым дислокациям — отводится второстепенная роль, так как у них отсутствуют прямые генетические связи с процессами рудогенеза. В пределах месторождений они выполняют функцию рудолокализирующих структур. Поэтому в качестве главных объектов исследований целесообразно рассматривать выраженные в рельефе энерго-, магомгенерирующие и контролирующие структуры, образование и функционирование которых неразрывно связано с процессами тепломассопереноса в недрах.

Реализация лишь двух принципиально возможных способов передачи энергии в пространстве — объемного и канального — лежит в основе доминирования двух главных типов энергонесущих систем и структур. В геологической среде это образования с радиально-концентрической инфраструктурой и элементами симметрии $\propto \dot{L}_{\infty} C \propto P \rightarrow n \dot{L}_{\eta n} P$, связанные с энергогенерирующими центрами (плюмы, магматические камеры, очаговые системы и др.), и линейные — с элементами симметрии $\dot{L}_{\infty} \propto P \rightarrow \dot{L}_2 P$, обусловленные наличием энергетических каналов, зон (рифты, разломы, контролирующее поступление и распределение магм, терм, флюидов, газов и др.), где $\dot{L}$ — оси, а P — плоскости симметрии. Переходной является линейно-узловая форма организации подобных систем разного порядка, совмещающая черты двух основных типов и образующая ряды энергетических точек или центров (цепи вулканов, интрузий, магматических сводов, мантийных диапиров и др.) с характерными элементами трансляционной симметрии. С этих позиций любой

магмоконтролирующий разлом можно рассматривать как потенциальную или нереализованную линейную систему магматических центров [5]. Энергогенерирующие центры, их пространственные группировки и каналы (зоны) соответствующих параметров и рангов определяют общий силовой каркас геологической среды в пределах каждой территории.

Адаптация известных физических представлений об объемном и канальном способах передачи энергии в пространстве к целям и задачам геологии позволяет предложить концепцию структурообразующих энергетических центров и зон [5], которая органично включает многие положения концепций очагового тектогенеза [9, 10, 20 и др.], мантийного диапиризма, астенолитов, плюмовой тектоники, горячих точек, пятен [2, 8 и др.], интрателлурических потоков, струй, с одной стороны, и линейной тектоники, сквозных рудоконцентрирующих линейментов, структурно-энергетического каркаса планеты (В.Х.Хобс, Г.Н.Каттерфельд, И.Н.Томсон, М.А.Фаворская, И.К.Волчанская, А.И.Полетаев, А.Е.Федоров и др.) — с другой. Такой подход ориентирует стратегию поисковых, прогнозных работ и проведение металлогенического районирования, прежде всего, на выявление и определение основных элементов (центры, узлы, каналы) энергетической сети территории соответствующих эпох рудообразования. Широкое использование камеральных методов получения информации (при небольшом объеме дорогостоящих экспедиционных работ), возможность синтеза разнородных данных определяют особую актуальность и перспективы применения морфоструктурных и космогеологических исследований для выявления энергонесущих структур литосферы.

Наиболее крупные структуры и морфоструктуры центрального типа (СЦТ и МЦТ) Земли рассматриваются как проекции глубинных конвективных ячеек, мантийных плюмов, геоконов; более мелкие представляют инъективные дислокации, связанные с явлениями эффузивного и интрузивного магматизма, разноглубинной диапировой, протрузивной, интрузивной и эксплозивной тектоники [9, 12, 20 и др.]. Многочисленные данные сейсмической томографии, мантийной геохимии, экспериментального и численного моделирования конвективных и адвективных процессов подтверждают наличие во многих районах Земного шара (Исландия, Южная Африка, Восточная Азия и многие др.) локальных, региональных и планетарных (суперплюмы) инъективных дислокаций мантийного вещества с относительно повышенной температурой, пониженной вязкостью и плотностью. В обобщенном виде мантийный плюм можно представить в виде лакколита (радиусом до 1000 км и более) с относительно тонким подводящим каналом, радиус которого на порядок меньше размеров основного тела. Формирование суперплюмов связывают с происходящими во внешнем ядре процессами, в частности с образованием струй газов на границе мантии и ядра. В качестве геологических признаков мантийных плюмов А.Ф.Грачев [8] предлагает рассматривать: сводовые поднятия радиусом до 1000 км, структуры тройных сочленений разломов и рифтов, базальтовый магматизм трещинного типа, высокий тепловой поток, увеличенные мощности земной коры, специфические геохимические и изотопные характеристики магматических пород и др. Очевидно, что применение для выявления плюмов и других очаговых систем геоморфологических методов, данных дистанционного зондирования из космоса и всей совокупности признаков, разработанных для изучения МЦТ регионального и планетарного рангов, существенно увеличивает информационную основу индикации и идентификации инъективных дислокаций, позволяя привлечь для обнаружения скрытых рудоконтролирующих геологических структур еще и ландшафтные признаки. Важное прикладное значение при минерогенических исследованиях могут иметь, например, данные о наличии упорядоченной внутренней структуры и минерогенической асимметрии очаговых систем, полученные при изучении МЦТ и СЦТ [5, 6].

Термодинамические особенности эволюции энерго- и мамогенерирующих центров определяют обусловленные синергетикой процессы самоорганизации сложных систем при диссипации энергии в геологической среде. Тенденция к минимизации энергопотерь приводит к тому, что магматическая камера, несмотря на имеющуюся анизотропию геологической среды, стремится к образованию формы с наиболее оптимальным соотношением объема и площади поверхности (шар и его гомологи). Поэтому любой выброс магмы на поверхность по линии наименьшего сопротивления среды (область пробоя) несет элементы симметрии телесного угла шара или конуса, которые соотносимы с формулой симметрии поля силы тяжести Земли. Перемещение к поверхности газового, газофлюидного «пузыря» в условиях высокого литостатического давления нижней мантии приводит к образованию цилиндрического подводящего канала. При приближении к верхним частям литосферы в условиях снижения литостатического давления происходит увеличение объемов глубинных газов и флюидов. В результате очаговые системы преобразуются в конические формы, проекции которых выражены на поверхности системами

кольцевых, дуговых и радиальных разломов. Дегазация и дефлюидизация нижней мантии способствуют разуплотнению литосферы, изменению PT -параметров среды и формированию мамогенерирующих центров, продуцирующих уже смешанные мамогазофлюидные потоки. Подобные модели строения и развития глубинных и коровых инъективных дислокаций подтверждают геологические данные о морфологии магматических колонн, результаты тектонофизического моделирования интрузивных, эксплозивных, эффузивных структур [3] и плюмов [15]. В процессе эволюции глубинные энергетические центры и потоки тепломассопереноса при взаимодействии со слоистой геологической средой формируют не только каркасную сеть радиально-концентрических разломов, но и ярусную систему сателлитных магматических

камер в узлах пересечений радиальных, конических разломов с границами геолого-геофизических разделов [9, 20 и др.], где скачкообразно изменяется литостатическое давление. При этом образуются три универсальных типа инфраструктур СЦТ: ядерный (бессателлитный), ядерно-сателлитный и сателлитный (безъядерный). Они отражают центрально-, периферийно-фокусированные и нефокусированные виды распределения полей напряжения и потоков тепломассопереноса. Проведенные исследования показали, что выделенные типы инфраструктур проявлены у всех известных генотипов и рангов МЦТ. Это свидетельствует о наличии подобия схем их внутреннего строения или структурной гомологии очаговых систем, что подтверждается сходством формул симметрии объектов [5].

Полученные данные о закономерностях внутренней организации СЦТ позволили сформулировать положение об общей гомологии и конвергенции очаговых систем: все инъективные дислокации в геологической среде независимо от механизмов формирования, глубины заложения, параметрических характеристик, возраста и генетического типа в ходе своего развития стремятся к образованию гомогичных и конвергентных форм и инфраструктур с симметрией центрального типа. В основе инвариантности развития СЦТ и МЦТ лежит следующий ряд факторов: наличие энерго-, газо-, флюидо- или магмогенерирующих центров, очагов; слоистое строение недр; наличие термодинамически обусловленных общих механизмов формирования различных инъективных дислокаций и очаговых систем; общность фазовых состояний, форм, способов и условий миграции эндогенного материала при процессах тепломассопереноса в геологической среде. Из этого положения следует, что модели локальных очаговых структур, разработанные на основе репрезентативных геоморфологических и геолого-геофизических данных, принципиально применимы для объяснения механизмов формирования и развития мантийных диапиров, плюмов, представляющих собой глубинные инъективные дислокации. Наличие гомологии между планетарными, региональными и локальными МЦТ служит важным признаком достоверности выделения мегаобъектов. Кроме того, предполагается выделение гомологических рядов очаговых морфоструктур, отражающих как региональные, так и общие особенности конструктивного и деструктивного этапов тектономорфогенеза. К конструктивным формам относятся выраженные в рельефе инъективные дислокации, связанные с процессами наращивания вулканогенно-осадочного слоя (локальный уровень) и земной коры (региональный уровень) в целом. Морфоструктуры центрального типа деструктивных этапов тектогенеза сопряжены с процессами рифтогенеза, мантийного диапиризма, базитового вулканизма и сопровождаются уменьшением мощности земной коры [5].

Изучение конкретных особенностей морфологии и внутреннего строения кольцевых морфоструктур различного генезиса, размеров, рангов и возраста в пределах разных регионов и областей позволяет идентифицировать плюмы, реконструировать и оценивать многие факторы формирования и развития магматических очагов, а также других проявлений эндогенной активности недр и свойств (факторов) геологической среды. Анализ обратных связей, в частности применение параметрических характеристик (радиусов) СЦТ и МЦТ для изучения вертикальной расслоенности земной коры и мантии [9, 20 и др.], рудной стратификации мантии [10], привлечение данных о нуклеарах (работы М.З.Глуховского, В.М.Моралева, Е.В.Павловского и др.) для анализа древней истории Земли — первые шаги в этом направлении исследований.

Важное достоинство применения очаговых морфоструктур для паспортизации рудно-магматических систем, поиска, прогнозирования полезных ископаемых и минерагенического районирования — возможность использования их формализованных структурно-геометрических, структурно-вещественных, морфологических и энергетических характеристик. Это относится к форме, площади сечений, морфологии геологических тел и тектонических дислокаций в пределах очаговых морфоструктур, количественным оценкам площадей, объемов магматических и метаморфических пород, симметрии распределения магматических потоков и размещения месторождений полезных ископаемых, пространственной организации структурных элементов и другим параметрам. Паспортизация и составление

баз данных МЦТ рудоносных и алмазонасных территорий рассматривается в качестве необходимых условий проведения поисковых и прогнозных работ. Введение понятия линейной системы очаговых структур как таксона минерагенического районирования позволило решить вопрос пространственных и иерархических соотношений линейных и изометрических площадей развития эндогенных руд металлов и неметаллов. В отличие от существующих классификаций [4, 12 и др.], включающих блоковые структуры, основу унифицированной схемы соотношений категорий морфоструктурно-минерагенического районирования составляют только энерго-несущие классы дислокаций и сопряженные с ними формы рельефа [5]. Рудный пояс интерпретируется как ряд магматических сводов, с которыми ассоциируются металлогенические области. В их пределах выделяются минерагенические зоны, состоящие из рядов тектономагматических морфоструктур, каждая из которых соотносится с рудным районом. Последние, в свою очередь, подразделяются на рудоносные зоны, образованные цепочками локальных МЦТ и т.д. (таблица).

Тесная связь очаговых систем с развитием магмоконтролирующих разломов и блоковое строение земной коры приводят к относительно небольшому (дисимметрия) или существенному нарушению радиально-концентрической организации структурно-вещественных комплексов очаговых структур и размещения

проявлений полезных ископаемых, обуславливая явление минерагенической асимметрии, которое выражено резко различной продуктивностью и специализацией диаметральных блоков. При региональном анализе в число рассмотренных рудо-контролирующих очаговых систем были включены вулканотектонические депрессии, вулканические, плутонические купола, тектономагматические, сводовые поднятия и другие морфоструктуры, связанные с центрами эндогенной активности. На основе опубликованных данных [11, 12, 15 и др.] и оригинальных материалов изучены особенности асимметричного размещения в очаговых системах алмазоносных кимберлитов Вилуйской субпровинции, рудных объектов золота, серебра, меди, свинца, цинка, олова, вольфрама, редких металлов, ртути в Приамурье, Приморье, Восточном Забайкалье и в других регионах. Проведенное обобщение геолого-геоморфологических данных показало, что в основе асимметричного (относительно центра и диаметрального разлома) размещения полезных компонентов в очаговых структурах лежат следующие основные факторы:

- неравномерное размещение сателлитных магматических центров (с учетом их размеров, возраста) и связанных с ними структурно-вещественных парагенезисов;

- литологические и физико-механические различия свойств пород и степени их проницаемости для водных и флюидных потоков в диаметральных и секторальных блоках;

- разные рисунки и плотности разрывных нарушений;

- ориентировка, углы наклонов плоскостей сместителей, строение диаметрального разлома и опоясывающих его дизъюнктивов;

- пространственная ориентировка, магмо-, газо-, флюидо- и водоподводящих каналов;

- специфика геодинамического режима, определяющая дифференцированный характер поднятий и опусканий секторальных, диаметральных блоков и различия их денудационного среза [7].

Многочисленные факты неравномерного размещения рудных объектов разного возраста, формационной принадлежности, ранга в пределах МЦТ различных размеров, генезиса и порядка позволяют рассматривать явление минерагенической асимметрии как одну из главных (наряду с радиально-концентрической зональностью) особенностей локализации различных типов полезных ископаемых в очаговых системах [6].

Таким образом, предлагаемая модельно-целевая установка морфоструктурных исследований включает несколько основных положений:

- использование в качестве методологической основы представлений о взаимосвязи структуро-, породо-, рудо- и рельефообразующих потоков вещества и энергии недр, существовании универсальных форм реализации процессов тепломассопереноса и структурирования в геологической среде;

- выбор в качестве главных объектов исследования лишь энергонесущих типов морфоструктур;

- привлечение максимально широкой исходной базы данных, переход к синтезу геолого-геоморфологической, геофизической, космогеологической и другой информации в рамках морфоструктурных моделей описания рельефа на основе принципа конформности;

- использование формализуемых и количественных характеристик МЦТ, их структурных и вещественных признаков для оценки энергетики очаговых процессов;

- подход к МЦТ как системным объектам анализа, выявление элементарных очаговых форм и всего комплекса иерархических, пространственных, функциональных связей проекций магматических центров разной глубины заложения и пространственной организации с рельефом;

установление пространственно-временных и иерархических соотношений категорий морфо-структурного и металлогенического видов районирования;

использование положений теории симметрии для анализа закономерностей пространственного размещения оруденения в очаговых структурах и морфоструктурах (явления металлогенической асимметрии);

разработка схем унифицированного описания инфраструктур СЦТ и МЦТ, проведение их паспортизации и формирование в перспективе на этой основе баз данных и аналитически обоснованных поисковых и прогнозных признаков.

В качестве примеров апробации предлагаемых теоретических положений ниже приведены результаты морфоструктурно-минерагенического изучения Восточно-Азиатского и Кольско-Карельского надплюмовых сводов.

Восточно-Азиатский мегасвод. Общие особенности размещения региональных положительных форм рельефа на юге Дальнего Востока и прилегающих территориях Китая связаны с Восточно-Азиатским (Амурским) мегасводом, представляющим собой МЦТ планетарного ранга с радиусом (R) 1100–1200 км [20]. В работах, посвященных характеристике позднемезозойско-кайнозойского магматизма Востока Азии [14, 24 и др.], содержатся петрографические, геохимические и изотопные данные, позволяющие идентифицировать ее с проекцией плюма. Геолого-геоморфологические материалы об инфраструктуре надплюмового мегасвода [5] указывают на существование сложной многоярусной системы глубинных инъективных дислокаций, которая соответствует модели расщепления плюма на линейные и изометричные группировки мантийных диапиров. Главные элементы внешнего концентрической этой гигантской коль-

цевой постройки — Восточно-Забайкальский, Становой и Сихотэ-Алинский орогены, внутренне- го — Большехинганский и Корейско-Охотский. Структурную основу главных орогенных поясов на юге Дальнего Востока образуют линейные системы сводово-блоковых и тектономагматических поднятий. Формирование и главные черты развития орогенов определяются периодической активизацией глубинных циркумтихоокеанских разломов, Восточно-Азиатского плюма и его сателлитных магмогенерирующих

центров при устойчивой миграции фронта орогенного кислого магматизма в позднем мезозое – раннем кайнозое с запада на восток, а явлений рифтогенной деструкции земной коры и базитового вулканизма в среднем – позднем кайнозое с востока на запад [5]. Имеющиеся данные об устойчивой радиально-концентрической организации основных морфоструктурных элементов региона, массивов палеозойских (рис. 1), мезозойских гранитоидов [16, 17] (в интерпретации автора) и кайнозойских центров базитового магматизма [24] свидетельствуют о длительном (сотни миллионов лет) и унаследованном характере развития Восточно-Азиатского мегасвода как проекции глубинной очаговой системы центрального типа. Примерные оценки показывают, что площадь ареалов гранитоидов разного возраста (позднеархейские, ранне-, среднепротерозойские, палеозойские, мезозойские и раннекайнозойские) в пределах Восточно-Азиатского надплумового мегасвода составляет ~2,5 млн. км², т.е. не менее 62% его общей площади. Это позволяет оценивать мегасвод как область унаследованной консолидации и дилательного (хотя и дискретного во времени и пространстве) гранитообразования. В качестве сателлитных структур в нем выделяются ядра роста континентальной коры и долгоживущие центры эндогенной активности меньшего порядка. Показателен в этом отношении Буреинский свод, включающий одноименный срединный массив, где магматическая активность проявлялась в позднем архее, раннем протерозое, раннем и позднем палеозое, раннем триасе, раннем и позднем мелу и где в настоящее время расположен Кульдурский геотермальный район. В Гонжинском и Мамынском древних тектономагматических поднятиях центрального типа, расположенных в зоне взаимодействия Амуро-Зейской плиты и Буреинского массива, концентрируются тела позднеархейских, раннепротерозойских, позднепалеозойских и раннемеловых магматических пород преимущественно кислого состава [5].

Анализ имеющихся материалов о рудоносности Восточно-Азиатского надплумового мегасвода позволяет соотносить его с крупной металлогенической провинцией сиалического типа [5]. Профилирующими рудными элементами для нее являются W, Mo, Sn, Au, Pb, Zn и другие металлы, ассоциирующие с магматическими формациями гранитоидного ряда [16, 17, 21 и др.]. Сателлитный тип инфраструктуры Восточно-Азиатской кольцевой мегапостройки и наличие диаметальной полосы рифтогенных межгорных впадин (Сунляо и Амуро-Зейская системы) обуславливают концентрацию до 60–70% рудных объектов в пределах ее внешних концентров (рис. 2). Более высокая концентрация свинцово-цинковых месторождений в западном диаметральном блоке (Приаргунский полиметаллический пояс) характеризует металлогеническую асимметрию этой мега-МЦТ. Различна металлогеническая специализация и ее секторальных блоков. Рудные пояса мегасвода соотносятся с рядами орогенных, магматических сводов, каждый из которых рассматривается как металлогеническая область, в них, в свою очередь, выделяются линейные системы рудных районов (см. таблицу) и т.д. В процессе своего развития позднемезозойские орогенные своды вовлекают в поднятие и обеспечивают препарирование и экспозицию более древнего палеозойского и протерозойского оруденения. Поэтому орогенные пояса территории отличаются в целом гетерохронностью, реювенацией и многообразием формационных типов месторождений [12, 21 и др.].

Выделяющиеся в Хингано-Охотском орогене Баджальский, Верхнеселемджинский и Ям-Алинский своды вмещают крупные редкометальные месторождения Комсомольского, Баджальского, Дусе-Алинского и других рудных районов Среднего Приамурья. Максимальные показатели интенсивности оловянного и вольфрамового оруденения связаны с Баджальским магматическим сводом, что, вероятно, обусловлено его формированием на периферии восточного диаметального блока Буреинского срединного массива, палеозойские породы и рудная минерализация которого могли служить первично обогащенным источником металлов для позднемеловых рудопоявлений и месторождений. Для северной части Сихотэ-Алинского ряда сводовых и тектономагматических поднятий характерна, прежде всего, золото-серебряная, золотая и полиметаллическая минерализация при подчиненном значении редкометальных проявлений. Крупные месторождения и проявления расположены на периферии Пильдо-Лимурийской металлогенической области, в Усть-Амурском и Мевачанском рудных районах, соотносимых с одноименными МЦТ субрегионального ранга [5]. Возраст рудной мине-

рализации укладывается здесь в диапазон поздний мел – олигоцен. Южнее, в Приморье, металлогени- ческая специализация, показатели интенсивности и экстенсивности оруденения Сихотэ-Алинских сво- дов меняются. На начальных этапах развития оро- гена сформировался ряд раннемеловых магматиче- ских сводов. В последующем при смещении фрон- та гранитоидного магматизма к востоку произошла их интеграция с позднемеловыми сводово-блоко- выми морфоструктурами. В центральных наиболее эродированных частях раннемеловых и позднеме- ловых поднятий доминируют проявления и место- рождения вольфрам-оловянной и оловянной групп формаций, в то время как на периферии развита преимущественно золото-серебряная и полиметал- лическая минерализация. Наиболее высокая кон-

Рис. 1. Положение крупных месторождений относительно ареалов палеозойских гранитоидов центральной части Восточно-Азиатского мегасвода, по [17] с дополнениями в интерпретации автора:

1 — границы крупных тектонических элементов; массивы коллизионных известково-щелочных гранитоидов: 2 — ка- ледонских, 3 — герцинских; 4 — массивы внутриплитных гранитоидов щелочных и повышенной щелочности; 5 — кон- туры

геодинамических обстановок (буквы в кружках) и ареалов гранитоидов (цифры): А — активных окраин, К — кол- лизионных, В — внутриплитных, 1 — Цзямусы-Ханкайский, 2 — Хинганский, 3 — Туранский, 4 — Мамынский, 5 — Северо-Аргунский, 6 — Синьхуа, 7 — Муданьцзянский, 8 — Цзинаньский, 9 — Добаошаньский, 10 — Дахинганский; 6 — контур Цзямусы-Буреинского палеозойского плюма; 7 — месторождения: *a* — сверхкрупные (9 — Вознесенское Be, F, 10 — Добаошань Cu, Mo, Au), *b* — крупные (11 — Преображенское Be, F, 12 — Токур Au, 13 — Сяосинанча Cu, Au, 14 — Хунцилин Ni, Cu, Co); 8 — возраст месторождений (*a* — каледонский, *b* — герцинский); 9 — дуговые и коль- цевые разломы проекций магматических центров; 10 — основные трансрегиональные разломы

центрация полезных ископаемых отмечается в Кавалеровском и Дальнегорском рудных районах, расположенных в пределах одноименного свода. Общая металлогеническая специа- лизация этой региональной мантий- но-коровой структуры оловянно- полиметаллическая, но наряду с мно- гочисленными скарновыми и жиль- ными месторождениями олова, цинка и свинца в его пределах известны рудные объекты меди, вольфрама, золота, серебра, а также уникальное боросиликатное месторождение.

По сравнению с древними над- плюмовыми мегасводами Сибирской (Монголо-Сибирский, Анабарский, Алданский) и Русской (Кольско- Карельский, Среднерусско-Приволж- ский) докембрийских платформ Во- сточно-Азиатское поднятие относи- тельно молодое (палеозой — мезозой) с небольшим уровнем денудационно- го среза, что обуславливает ограни- ченное влияние рудных объектов до- кембрийского и палеозойского возра- стов на его металлогеническую спе- циализацию.

Кольско-Карельский реликто- вый надплюмовый мегасвод. При дистанционной оценке алмазоносно- го потенциала Северо-Западного ре- гиона России и прилегающих райо- нов Финляндии Ю.Н.Сорокуровым с соавторами [19] представлена ориги- нальная схема размещения районов с

гии для реализации процессов формирования месторождений, проявлений алмазов и руд метал- лов. По совокупности аномальных значений про- известными и потенциально благо- приятными признаками для проявле- ния кимберлитового (лампроитового) магматизма. Основными компонента- ми прогнозной модели стали проек- ции мантийных диапиров и коровых очаговых систем, рассматриваемых в качестве главных источников энер-

Рис. 2. Схема металлогенического районирования Восточно- Азиатского (Амурского) мегасвода, составлена с использованием дан- ных [11, 16, 17, 21]:

площади развития мезозойского оруденения, ассоциирующиеся с ком- плексами: 1 — вулканоплутоническими, 2 — гипабиссальными интру- зивными, 3 — абиссальными интрузивными; предполагаемые каркас- ные разломы мегасводовых МЦТ: 4 — дуговые, кольцевые, 5 — радиальные; 6 — мегасводы (В-А — Восточно-Азиатский, К — Корейский, М-С — Монголо- Сибирский)

Рис. 3. Благоприятные участки (по дистанционной прогнозно- поисковой модели в ранге «район») для проникновения к по- верхности кимберлитов, лампроитов, по [19] и проецируемые на поверхность каркасные дуговые и кольцевые разломы вы- деляемого автором Кольско-Карельского надплюмового ре- ликтового мегасвода:

1 — участки аномального присутствия благоприятных признаков, σ : а — 0,5, б — 1, в — 2, г — 3; 2 — площадь развития осадочных комплексов, перекрывающих тела кимберлитов и лампроитов; находки: 3 — кимберлитов, 4 — лампроитов, 5 — толеитовых базальтов, 6 — щелочных и ультращелочных пород, 7 — лампро- фиров; системы разломов, намеченные по геолого- геоморфологи- ческим данным: 8 — дуговые и кольцевые, 9 — радиальные (а), диаметральный Кандалакшско-Северодвинский (б); 10 — госу- дарственная граница; аномалии: 1 — Центральнокольская, 2 — Восточнокольская, 3 — Кандалакшская, 4 — Зимнебережная, 5 — Куосамо-Костомукшская, 6 — Ветреннобережная, 7 — Плесец- кая, 8 — Куаво-Куопийская, 9 — Онежская, 10 — Ладожская

литов юго-западных и северо-восточных областей региона и используемые комплексы прогнозных признаков послужили основанием для выделения двух разных алмазоносных субпровинций, соотносимых с кольцевыми проекциями (R 500 км) центров эндогенной активности недр верхнемантийного заложения.

Развиваемые автором положения о существовании универсальных типов внутреннего строения СЦТ и МЦТ, гомологии, конвергенции и минерагенической асимметрии очаговых систем [5, 6 и др.] позволяют иначе интерпретировать данные о структурной позиции алмазоносных и потенциально алмазоносных районов Северо-Западного региона. Их закономерное радиально-концентрическое размещение, а также данные морфографического анализа рельефа и опубликованные геологические и геофизические материалы [1, 7, 22, 23 и др.] позволяют предположить существование здесь не двух глубинных инъективных дислокаций, а одного Кольско-Карельского палеоплюма и, соответственно, одноименного надплюмового мегасвода (R 700–750 км). Внешний центр выделяемого реликтового поднятия проявлен в настоящее время дискретными зонами дуговых морфографических элементов, выраженных цепочками озер, речными долинами, протяженными спрямленными уступами рельефа. В генерализованном виде граничные линейные элементы трассируются на северо-западе и западе от Барангер-фьорда и долины р. Тулома до побережья Ладожского озера вдоль предгорной системы впадин западных отрогов хребта Манселькя. Серии крупных разломов на границе мегасвода в этом секторе выявлены, в частности, при геологическом картографировании северных побережий Онежского и Ладожского озер [7]. Далее один из концентров прослеживается от северо-восточного побережья Ладожского озера через оз. Белое, по долинам рек Сухонь, Вычегда (нижнее течение), Вымь и Печора (в нижнем течении) до берегов Баренцевого моря. Расположенный южнее дуговой граничный линейный элемент протягивается от юго-западного берега Ладожского озера по долинам рек Колпь, Кострома, Ветлуга, Вятка, Кама, Печора (в среднем течении) и достигает морского побережья в районе Печорской губы. В качестве основных орографических элементов юго-восточного и восточного сек-

торов Кольско-Карельского мегасвода рассматриваются дугообразная цепь поднятий Северные Увалы и Тиманский кряж.

В позднем кайнозое осевая часть мегасвода испытала рифтогенную деструкцию и опускание, что привело к заложению систем впадин Белого моря [22]. Поэтому на современном, инверсионном, этапе развития для него характерны центрическая гипсометрическая зональность, свойственная отрицательным МЦТ (рис. 3), радиально-центробежный рисунок гидросети и приуроченность основных проявлений и месторождений полезных ископаемых (как и на Восточно-Азиатском мегасводе) к периферийным относительно приподнятым блокам.

Геологическая позиция реконструируемого поднятия определяется положением в северо-восточной части Восточно-Европейской платформы, где сочленяются структуры Балтийского щита, Баренцевоморского и Тимано-Печорского геоблоков, характеризующихся различным возрастом пород складчатого фундамента (ранний протерозой, рифей, венд) и разной полнотой разреза чехла платформенных отложений (рифей, венд, палеозой, кайнозой) [1, 22 и др.]. В соответствии со временем формирования наиболее древних крупных ареалов гранитоидов, установленных в ядре выделяемого мегасвода [7], можно предполагать, что его становление началось в раннем архее и продолжалось до позднего палеозоя, когда завершились процессы магматизма и рудообразования. В раннем и среднем рифее в его осевой части сформировалась система рифтогенных прогибов и грабенов, некоторые из которых активизировались в среднем палеозое и позднем кайнозое, образуя так называемую рифтовую систему Белого моря [22]. Позднекайнозойский грабен Канда拉克шского залива, в частности, наследует рифейский рифт, который расположен в зоне Канда拉克шко-Северодвинского трансрегионального разлома северо-западной ориентировки, отчетливо проявленного на космических снимках и в рельефе территории. По другим данным [23], можно предполагать, что тектоническую основу северо-восточного и юго-западного сегментов надплюмового мегасвода образуют соответственно структуры Кольского и Карельского кратонов, между которыми в осевой части расположены структуры Лапландско-Умбинского гранулитового и Беломорского подвижного поясов. При этом на основе изучения состава магматических пород, структур течения корового материала, анализа внутрикратонной эндогенной активности в работе [23] постулируется положение о том, что тектоническое развитие территории связано с подъемом двух

(Кольский и Карельский) плюмов. Формирование областей растяжения, соотносимых с гранулитовыми поясами, объясняется гравитационным растеканием головных частей инъекций глубинного материала. По мнению автора, сходство геологических разрезов осадочных, вулканогенных и метаморфических пород, а также абсолютного возраста магматитов Кольского и Карельского кратонов свидетельствует о наличии общих особенностей их геодинамического режима, что предполагает развитие одного суперплюма, в апикальной части которого сформировались крупная диаметральная и несколько более мелких зон растяжения. И в Восточно-Азиатском, и в Кольско-Карельском мегасводах процессы растяжения, деструкции и опускания происходили в их центральных, осевых, частях, что хорошо согласуется с известными

тектонофизическими данными о растяжении, растекании и обрушении апикальных участков сводов, антиклинальных складок и диапировых дислокаций (работы В.В.Белоусова, М.В.Гзовского, Х.Рамберга и др.).

Основные особенности металлогения Карельской и Кольской провинций плюмowego мегасвода определяются широким спектром различных по масштабам проявлений рудной минерализации Fe, Ti, Cu, Ni, Co, Cr, U, Pb, Zn, Sn, Mo, Au, Ag, Ta, Nb, а также апатит-нефелиновых, лопаритовых, колчеданных руд и алмазов. Процессы рудогенеза протекали в период активного формирования мегасвода как древнейшего ядра роста континентальной коры (нуклеара), структуры ранней консолидации и гранитообразования (ранний докембрий) и во время многочисленных этапов тектономагматической активизации (ранний протерозой 2,2–2,0 млрд. лет, ранний рифей, средний, поздний палеозой). Именно с ними связано образование зеленокаменных поясов, палеорифтогенных систем, шовных зон, отличающихся специфическим магматизмом (коматит-базальтовая, ультрабазит-базитовая щелочная серии и др.), а также минерагенической специализацией. Выделяется не менее девяти крупных эпох рудообразования. Возраст наиболее древнего медно-никелевого и медно-золотого оруденения зеленокаменных поясов в Карелии датируется, например, поздним археем (2800 млн. лет), время формирования золото-редкометальной минерализации, связанной с орогенными гранитами, — ранним протерозоем (2500 млн. лет), а алмазоносного кимберлит-лампроитового плюмowego комплекса — средним рифеем (1000 млн. лет) [13]. Представляется, что своеобразие металлогении Кольско-Карельского и Восточно-Азиатского мегасводных поднятий обусловлено разной продолжительностью нуклеарных стадий развития, несоотносими-

Рис. 4. Благоприятные участки (по дистанционной прогнозно-поисковой модели в ранге «район») для проникновения к поверхности кимберлитов, лампроитов и ареалы Ладожской и Мезенской субпровинций, обусловленные активизацией верхнемантийных очагов, по [19] с дополнениями в интерпретации автора:

ареалы влияния верхнемантийных очагов: 1 — Ладожского, 2 — Мезенского; 3 — внешние границы проекций верхнемантийных очаговых систем; остальные усл. обозн см. рис. 3

тов; железистыми кварцитами (поздний архей — ранний протерозой); залежами кианитов (поздний архей); золото-ураноносными конгломератами (поздний архей — ранний протерозой); колчеданными рудами среди метавулканитов, лептитов; медно-никелевыми ликвационными, приуроченными к протерозойским ультраосновным и основным массивам; титаномagnetитовыми, апатит-magnetитовыми, связанными со среднепалеозойскими ультраосновными — щелочными комплексами; нефелин-apatитовыми (Хибины) и лопанитовыми (Ловозеро), ассоциирующими с позднепалеозойскими щелочными комплексами; алмазонаосными кимберлитами и лампроитами различного времени формирования [13, 19 и др.].

Возраст алмазонаосных пород в пределах надплюмового мега-свода варьирует. В районе Куоса-мостовской площади и в ряде проявлений на Кольском полуострове они возникли в рифее. Тела кимберлитов на Заонежском п-ове и в районе Пряжи образовались в позднем протерозое (венд). Данные изотопных определений аналогичных по составу комплексов на территории Финляндии свидетельствуют о нескольких этапах рудогенеза: 1100 (средний рифей), 594 (венд — ранний кембрий) масштабами проявления базитового и кислого магматизма в дофанерозойский и фанерозойский этапы развития, существенными различиями денудационного среза и другими факторами. Локальные морфоструктурные позиции месторождений, рудопоявлений Кольско-Карельского мега-свода зависят от генезиса, возраста орудения, но в большинстве случаев (за исключением метаморфогенных объектов) определяются инъективными, разломными энергонесущими типами дислокаций и сопряженными с ними формами рельефа.

Главные типы рудных месторождений региона представлены: редкометальными пегматитами, связанными с беломорскими, ладожскими и ятулийскими гранитами (архей — протерозой); кварц-молибденитовыми жилами и рудонаосными зонами, ассоциирующими с интрузивами ладожских границ и 450–434 (поздний ордовик) млн. лет [19]. Все это указывает на неоднократное проявление щелочно-ультрабазитового магматизма и унаследованное, хотя и пульсационное, развитие Кольско-Карельского плутона. Потенциально продуктивные очаговые системы ультрамафит-щелочной и мафит-щелочной формаций в верхних частях литосферы, вероятно, формировались на этапах активизации глубинных разломов и рифтогенной деструкции мега-свода, как это отмечается для рифей-вендского магматизма [1].

Различия в возрасте алмазонаосных пород западных и восточных областей региона автор объясняет исходя из положения о минерагенической асимметрии очаговых систем [6]. Предполагается, что отмеченные гетерохронность и различная продуктивность кимберлитовых и лампроитовых ком-

плексов определяются спецификой строения и эволюции юго-западного и северо-восточного диаметральных блоков Кольско-Карельского мега-свода в период от среднего рифея до раннего палеозоя. В северо-восточном сегменте расположены 32 объекта, в юго-западном — 12 (рис. 4). Дифференцированный характер развития блоков обусловлен, в частности, возникновением на северо-востоке надплюмового мега-свода Баренцево-морского протяженного среднерифейского палеорифта северо-западного простирания, в то время как на юго-западе процессы рифтогенеза и щелочно-ультрабазитового магматизма проявились ограниченно. Роль структурного шва выполняла в этот период зона Кандалакшско-Северодвинского глубинного разлома, влияющего на формирование как Онежско-Кандалакшской, так и Керещко-Лешковской палеорифтовых систем, описываемых в работе [1].

В настоящее время более отчетливо проявлена геоморфологическая и геологическая асимметрия северо-западного относительно приподнятого диаметрального блока (Балтийский щит), в то время как юго-восточный перекрыт платформенным чехлом. Разделяет их рифтогенная система глубинных разломов и позднекайнозойских впадин, протянувшихся от Финского залива до Белого моря в северо-восточном направлении и ориентированных перпендикулярно по отношению к среднерифейским рифтам. Однако, как показывают приведенные материалы, изменения структурного плана, геодинамических режимов и векторов ориентировки регионального поля напряжения, происходившие в каледонский, герцинский и мезозойский циклы тектогенеза, не привели к принципиальным изменениям внутреннего строения мега-сводного поднятия. Сохранность радиально-концентрической пространственной организации центров ультрабазитового, базитового магматизма и сопряженных с ними алмазонаосных районов региона на протяжении более 1 млрд. лет, черты унаследованности развития рифтогенных грабенов и прогибов Белого моря с рифея до кайнозоя можно объяснить лишь отсутствием масштабных трансформаций Кольско-Карельской глубинной очаговой системы не только в позднем архее — палеопротерозое [23], но и фанерозое, что определяется высокой степенью консолидации структур надплюмового мега-свода и консервативностью сети каркасных глубинных разломов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балуев А.С. Геодинамика рифейского этапа эволюции северной окраины Восточно-Европейского кратона // Геотектоника. 2006. № 3. С. 23–38.
2. Белоусов В.В. Переходные зоны между континентами и океанами. — М.: Недра, 1982.

3. *Бондаренко П.М.* Физические модели центрально-симметричных структур // Морфотектонические системы центрального типа Сибири и Дальнего Востока. М., 1988. С. 144–148.
4. *Волчанская И.К.* Морфоструктурные закономерности размещения эндогенной минерализации. – М.: Наука, 1981.
5. *Гаврилов А.А.* Проблемы морфоструктурно-металлогенического анализа. Ч. II. – Владивосток: Дальнаука, 1993.
6. *Гаврилов А.А.* Минерагеническая асимметрия и дисимметрия эндогенных СЦТ. Ст. 1. Принцип Кюри и размещение руд металлов и алмазоносных кимберлитов в очаговых системах // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 103–114.
7. *Геологическая карта России и прилегающих акваторий, м-б 1:2 500 000.* – М.: ВСЕГЕИ, ВНИИОкеан-геология, 2008.
8. *Грачев А.Ф.* Мантийные плюмы // Проблемы глобальной геодинамики. М., 1998. С. 69–98.
9. *Ежов Б.В., Худяков Г.И.* Морфотектоника геодинамических систем центрального типа (новая глобальная концепция). – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984.
10. *Ежов Б.В., Андреев В.Л.* Оруденение в морфоструктурах центрального типа мантийного заложения. – М.: Наука, 1989.
11. *Казанский В.И.* Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. – М.: Недра, 1972.
12. *Металлогения скрытых линейментов и концентрических структур / И.Н.Томсон, Н.Т.Кочнева, В.С.Кравцов и др.* – М.: Недра, 1984.
13. *Металлогения Карелии / Под ред. С.И.Рыбакова, А.И.Голубева.* – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999.
14. *Моисеенко В.Г., Сахно В.Г.* Плюмовый вулканизм и минералогия Амурской мегаструктуры. – Благовещенск-Владивосток: АмурКНИИ, 2000.
15. *Невский В.А., Фролов А.А.* Структуры рудных месторождений кольцевого типа. – М.: Недра, 1985.
16. *Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Гурович В.Г.* Мезозойский гранитоидный магматизм и металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 4. С. 35–54.
17. *Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Горошко М.В.* Палеозойский гранитоидный магматизм восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса и формирование крупных месторождений // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 2. С. 46–61.
18. *Сафонов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П.* Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1978.
19. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В.* Дистанционная оценка алмазоносного потенциала северо-западного региона России // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 48–52.
20. *Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа // Карта морфоструктур центрального типа территории СССР, м-б 1:10 000 000. Л., 1978.
21. *Сухов В.И.* Металлогеническое районирование территории Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 7–20.
22. *Тектоника и глубинное строение земной коры Белого моря и прилегающих территорий / А.С.Балуев, В.А.Журавлев, Е.С.Пржиялговский и др.* // Геология полярных областей Земли: Мат-лы XLII Тектонического совещания. 2009. Т. 1. С. 37–41.
23. *Шарков Е.В., Богатилов О.А., Красивская И.С.* Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Геотектоника. 2000. № 2. С. 3–25.
24. *Ярмолюк В.В., Коваленко В.И.* Позднемезозойско-кайнозойский внутриплитный магматизм Центральной и Восточной Азии // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 132–141.