

ТИПОМОРФИЗМ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ГИГАНТСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР В ОСНОВАНИИ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ И СРЕДИННЫХ МАССИВОВ

В качестве одного из ведущих типов региональных рудоносных структур в основании древних платформ и срединных массивов выделяются гигантские гранито-гнейсовые купола дорифейского заложения, кровля которых сформирована за счет ультраметаморфизма и полихронной гранитизации выполнения раннепротерозойских осадочных бассейнов с широким спектром первичной геохимической специализации. Эти кольцевые структуры определяют положение ряда важнейших комплексных рудных провинций: Центрально-Алданской, Центрально-Украинской, Воронежской, Атабаска, Аллигейтор-Риверс, Чешской, Приаргунской и др. При различных размерах (диаметр от 200 до 1000 км) такие структуры I порядка характеризуются сходством основных черт внутреннего строения и типоморфизмом структурных элементов II–III порядков, которые контролируют размещение рудных районов, полей и узлов. На основе интерпретации материалов по Центральному Алдану в сравнении с другими рудными провинциями разработана сводная модель строения рудоносных куполов и намечен эволюционный ряд свойственных им рудных концентраций протяженностью во времени более 2 млрд лет.

Giant Pre-Riphean granite-gneiss domes, whose roof was formed due to ultrametamorphism and polychronic granitization of the infilling of Early Proterozoic sedimentary basins with a wide range of primary geochemical specialization, are a leading type of regional ore-bearing structures in the base of old platforms and median masses. These ring structures control the position of some key ore provinces: Central Aldan, Central Ukraine, Voronezh, Atabaska, Alligators Rivers, Czech, Priargun areas and others. Having different sizes (from 200 to 1000 m in diameter), the I-order structures are characterized by similarity of main features of the inner structure and typomorphism of II- and III-order structural elements, which control the emplacement of ore areas, fields, and knots. On a basis of the interpretation of data from the Central Aldan as compared with other ore provinces, a composite model of ore-bearing dome structures was developed and the evolutionary set of peculiar ore concentrations of more than 2 Ga long was outlined.

Положение комплексных металлогенических провинций и входящих в их состав рудоносных и потенциально рудоносных площадей (районов, полей, узлов) обуславливается определенными структурно-вещественными и генетическими причинами и в первую очередь приуроченностью к крупным геохимически специализированным блокам континентальной земной коры. Основу таких блоков в большинстве случаев составляют соразмерные им типоморфные структуры, глобальные и региональные генерации которых последовательно возникали на протяжении истории геологического развития Земли. Необратимый характер этого развития обусловил неповторимость таких структур и слагающих их формационных комплексов, которые являлись либо носителями огромных сингенетических геохимических ресурсов рудогенных элементов, либо (и) коллекторами их эпигенетических концентраций [1, 5, 14].

К наиболее обширным и потенциально рудоносным типоморфным структурам докембрийского заложения относятся, например, разнообразные интра- и эпикратонные осадочные бассейны — от глубоких рифтогенных «зеленокаменных» трогов до плоских субплатформенных мульд. Свойственные им формационные комплексы включают специфические геохимически-специализированные формации: коматитовых туфов, кварцевогалечных конгломератов, высокоуглеродистых черных сланцев, железистых кварцитов, доломитов и пр.

Типоморфными рудоносными структурами во многих случаях являются также производные трансформации вещества указанных осадочных бассейнов в целом ряде разновозрастных наложенных геодинамических обстановок: 1) в складчатых и надвигово-складчатых зонах (поясах) и зонах трансрегиональных разломов; 2) в областях полихронного мантийно-корового гранито-

идного магматизма; 3) в центрах мантийного мафит-ультрамафитового магматизма; 4) в ареалах ультраметаморфизма и формирования гигантских гранито-гнейсовых куполов. Большой частью обстановки возникают в кровле долгоживущих мантийных диапиров-плюмов и по своей физической природе являются диссипативными, т. е. тепло- и флюидогенерирующими [12, 16]. Вне связи с осадочными бассейнами эти геодинамические обстановки могут иметь самостоятельное рудогенное значение, так как обладают своими корово-мантийными или мантийно-коровыми рудно-геохимическими ресурсами (рудным потенциалом). Телескопирование перечисленных структур в различных комбинациях и их омоложение (тектоническое, магматическое, флюидно-метасоматическое, экзогенное и пр.) приводило к образованию сложных долгоживущих блоков земной коры, суммарные геохимические ресурсы которых подвергались неоднократной мобилизации, концентрации, регенерации и различной сепарации [23]. В результате в едином геологическом пространстве таких крупных долгоживущих блоков возникали полигенные и полихронные ассоциации рудных узлов и полей, различающихся металлогенической и промышленной специализацией, минералогией и геохимией руд, условиями их залегания, происхождением и временем формирования масштабных концентраций рудогенных элементов.

На фоне большого разнообразия известных типоморфных рудоносных структур и производных их трансформации наименее изученными оказываются дорифейские ареалы ультраметаморфизма, которые, согласно палеорекострукциям, представляют собой в различной степени омоложенные гигантские гранито-гнейсовые купола [3, 4, 11, 16]. Именно такого рода кольцевым (центрального типа) структурам древних щитов и массивов, вмещающим крупные рудные провинции, уделяется главное внимание в настоящей статье. При этом возможность проведения сравнительного металлогенического анализа для различных по величине и степени омоложения куполов дорифейской генерации, в том числе и весьма удаленных друг от друга, обуславливается как однотипностью их внутреннего строения, так и унаследованностью первичных типоморфных элементов их инфраструктуры [2, 3]. Трудности при выделении и изучении этих структур связаны не только с необходимостью комплексного анализа результатов разнообразных геологических исследований (минералого-петрографических, петрологических, изотопно-геохимических, радиологических, структурных, металлогенических и др.), но также с выполнением сложной интерпретации данных дистанционных методов исследований (геофизических, аэрокосмических) и производством специальных палеотектонических реконструкций [2]. Наиболее сложны такие реконст-

рукции для срединных массивов, подвергавшихся многократной гранитизации и разнообразной активизации в фанерозое, например для Аргунского массива.

Эталоном кольцевых структур этой генерации может считаться омоложенный Центрально-Алданский гранито-гнейсовый купол (рис. 1), вмещающий одноименную рудную провинцию с многочисленными месторождениями золота, урана, железа, бора, молибдена, серебра, редких земель, а также флогопита, фторопата, флюорита, графита, пьезокварца. На материалах по этой провинции впервые были установлены особенности строения и формирования элементов инфраструктуры рудоносных дорифейских гранито-гнейсовых куполов [2, 13, 15, 17, 27].

Рудная провинция Центрального Алдана. Мезозойское сводовое поднятие центральной части Алданского щита представляет собой одну из крупнейших в России рудных провинций, рудные узлы и поля которой формировались многоэтапно на протяжении около 2 млрд лет. Наиболее древние промышленные концентрации магнетита, флогопита, апатита, графита относятся к эпохе ультраметаморфизма отложений раннепротерозойского Федоровского осадочного бассейна [29], а наиболее молодые гидротермальные золото-урановые, молибден-урановые, золото-сульфидные, сульфидно-полиметаллические и флюоритовые руды возникли в эпоху позднемезозойской тектоно-магматической активизации (ТМА). Всем типам гипогенного золотого оруденения сопутствуют россыпные концентрации вдоль современной (плиоцен-четвертичной) речной сети [9].

Источниками рудного вещества большей части промышленных месторождений справедливо считаются породы раннепротерозойской федоровской серии и продукты их палингенной гранитизации. В частности, геохимическая специализация на магний, железо, фосфор, медь характерна для выдержанных по простиранию горизонтов доломитовых мраморов и диопсидовых кристаллических сланцев (гнейсов) [22, 28], а уран, золото, серебро, молибден, титан и ряд других элементов присутствуют в повышенных количествах в метаморфизованных вулканогенно-терригенных отложениях серии и особенно в продуктах их ультраметаморфической гранитизации [18, 24, 25]. По данным А. И. Тугаринова, сопровождающая урановое оруденение галенитовая минерализация по изотопному составу близка к древнему свинцу пород фундамента [18].

Многократно и многосторонне охарактеризованная в геологической литературе рудная провинция чаще всего считается уникальной как по своему строению и развитию, так и по составу руд и околорудных метасоматитов [8, 9, 13, 15, 18, 20]. Вместе с тем, критический пересмотр и сравнительный анализ материалов по рудным провинциям в структурах древних щитов и массивов показывает ее принадлежность к глобаль-

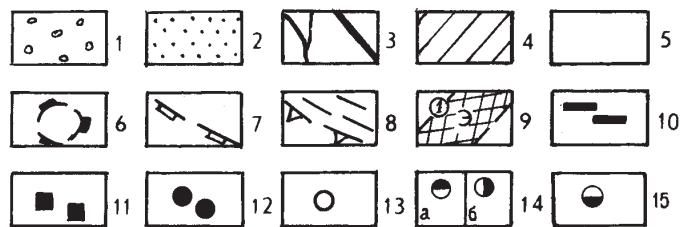
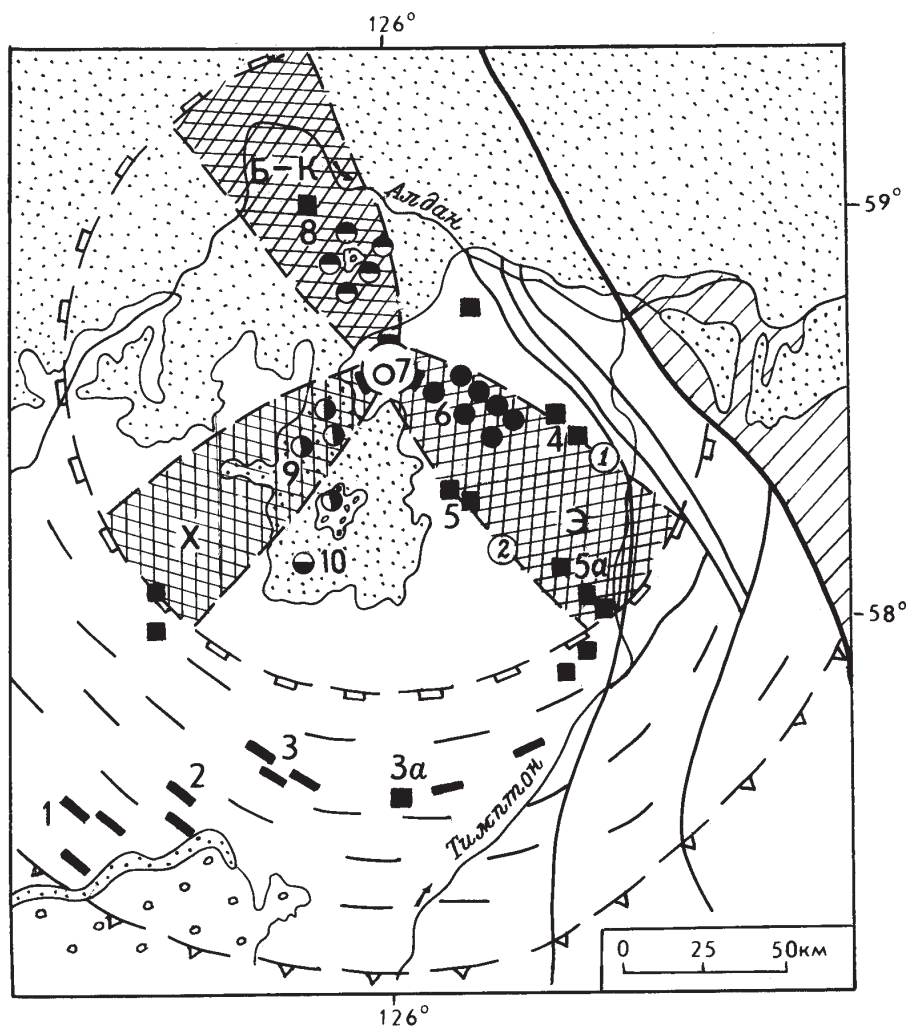


Рис. 1. Схема первичной инфраструктуры Центрально-Алданского омоложенного гранито-гнейсового купола и положения в ней рудных месторождений раннепротерозойского и мезозойского возраста. По материалам [9, 15, 17, 20, 22, 24, 27] в интерпретации автора:

1-2 – наложенные фанерозойские образования: 1 – юрские впадины, 2 – венд-кембрийский платформенный чехол; 3-5 – главные структуры докембрийского основания: 3 – Тыркандинский межгеоблоковый разлом с системой сателлитовых швов (Скальным и др.), 4 – сопредельный Тимптоно-Учурский мегаблок, 5 – Алдано-Тимптонский мегаблок, вмещающий Центрально-Алданский купол; 6-9 – элементы инфраструктуры гранито-гнейсового купола (границы условные): 6 – ядро, 7 – внутренняя зона с преобладанием радиальных направлений делимости, 8 – внешняя зона с преобладанием концентрических направлений делимости и пликативных деформаций, 9 – секториальные блоки компенсационного проседания и обрушения кровли купола (поля гранитизации): Э – Эльконский, X – Хатыминский, Б-К – Байонай-Куранахский (цифры в кружках – краевые разломы Эльконского блока: 1 Эмельджакский, 2 Юхухтинский); 10-15 – типы рудных месторождений: 10-11 – раннепротерозойские месторождения в породах федоровской серии: 10 – стратиформные магнетитовые в скарноидах, 11 – гнездовые флогопитовые в скарнах и аляскитах; 12-15 – мезозойские месторождения: 12 – золото-урановые в гумбеитах (эльконский тип); 13-15 – золоторудные: 13 – в щелочных сиенитах (рябиновский тип), 14-15 – в карбонатных породах чехла: 14 – куранахский тип (а), лебединский тип (б), 15 – самолазовский тип. Рудные узлы (р.у.) и поля (р.п.): 1 Десовский, 2 Сиваглинский, 3 Таежнинский, 3а Федоровский, 4 Эмельджакский, 5 Каталахский, 5а Неакуинский р. у.; 6 Эльконское р. п., 7 Рябиновский р. у., 8 Куранахское р. п., 9 Лебединское р. п., 10 Самолазовский р. у.

ной генерации гигантских рудоносных кольцевых структур дорифейского заложения, испытавших разнообразие трансформации при унаследованности главных особенностей внутреннего строения и вещественного состава [3]. Основные этапы формирования и омоложения этих структур, как правило, являются рудогенными, т. е. представляют собой металлогенические эпохи.

Мезозойское сводовое поднятие, наследующее дорифейский гранито-гнейсовый купол, хорошо фиксируется по гравиметрическим данным и материалам аэрокосмических съемок. Диаметр структуры оценивается примерно в 400 км. Северная часть купола перекрыта маломощным чехлом терригенно-карбонатных отложений венда-нижнего кембрия (300–700 м), которые распространяются на юг вдоль Якокутского грабена. В этой депрессии сохранились от эрозии останцы юрских угленосных впадин и доюрских вулканических построек. Сводовое поднятие в целом насыщено многочисленными интрузивными телами (силлами, лакколитами, дайками) щелочно-земельных и щелочных пород, которые обычно объединяются в алданский вулканоплутонический комплекс, сформированный в интервале времени 188–107 млн лет [10, 20] или 210–85 млн лет [18]. Наибольшая концентрация алданских магматитов характерна для центральной части поднятия, где обнажаются относительно крупные массивы нефелиновых сиенитов и эгириновых гранитов.

Для Центрально-Алданского гранито-гнейсового купола, как и для прочих рудоносных структур этого рода, характерен ряд специфических особенностей: кольцевая (круговая) форма в плане, радиально-концентрическая инфраструктура с единым геометрическим центром (ядром), двухэтажное строение докембрийского разреза, разуплотнение земной коры на полную ее мощность при пониженных и отрицательных значениях поля силы тяжести.

В разрезе гранито-гнейсового купола выделяются два структурных этажа: основание и кровля, разделенные резким структурно-стратиграфическим несогласием (СН). Основание представлено высокоглиноземистыми гнейсами и гранулитами верхнеалданской-иенгурской серии (AR_2) с характерными гнездовыми и прожилковыми обособлениями пьезокварца. Кровлю составляет хорошо стратифицированная федоровская серия первично-пестрого карбонатно-кремнисто-глинистого состава, сложенная разнообразными гнейсами и кристаллическими сланцами (амфибол-, биотит-пироксеновыми), доломитовыми мраморами, кварцитами, реже сульфидоносными графитовыми сланцами и гнейсами. Мощность серии превышает 5–6 км. Преобладает амфиболитовая фация метаморфизма пород при обилии продуктов палингенной гранитизации: мигматитов, гранито-гнейсов, мигматит-гранитов. Формирование гранито-гнейсового

купола относится к эпохе ультраметаморфизма с возрастом 2100–1950 млн лет [13, 25]. К этой же эпохе кроме Центрально-Алданского гранито-гнейсового купола относятся также Чарский, Желтулинский и Маймаканский купола, располагающиеся прерывистой субширотной цепочкой вдоль Алданского щита и, вероятно, фиксирующие положение долгоживущего линейного мантийного диапира [11, 12]. Все эти кольцевые структуры рудоносны, но в различной мере изучены [10]. Вмещающие их геоблоки разделяются поперечными коллизионными (стрессовыми) зонами разломов: Амгинской, Тыркандинской, Учурской.

Центрально-Алданская структура имеет отчетливое радиально-концентрическое строение, элементы которого фиксируются при интерпретации космфотоматериалов, структурно-геоморфологических исследованиях и палеотектонических реконструкциях [2, 15, 17]. В плане выделяются две главные зоны купола: внутренняя — круговая и внешняя — кольцевая, которые сформированы на разных этапах развития купола и различаются преобладающей ориентировкой элементов структурной делимости кровли и ее деформаций. Различаются зоны и ведущей металлогенической специализацией.

Для внешней зоны характерно кулисно-дуговое концентрическое размещение осей складчатых и разрывных структур, развитие надвигов, опрокидывание складок. Формирование зоны обусловлено тектоническим взаимодействием краевых частей воздымающегося (растущего) купола с обрамляющими его более жесткими структурами. При этом на фоне сложных складчато-разрывных деформаций происходила сплошная мигматизация кровли, скарнирование и пластическое течение карбонатного и серпентинитового вещества в горизонтах доломитов с концентрацией его в сводах антиклиналей, а также частичное «выгорание» углеродистого вещества черных сланцев. К горизонтам и телам диоксидовых скарноидов приурочены метаморфогенные стратиформные залежи высокотемпературных магнетитовых и боратовых (людвигит, суанит, турмалин и др.), а также флогопит-магнетитовых и сульфидных руд в целом ряде рудных узлов и полей: Десовском, Сиваглинском, Леглиерском, Федоровском (рис. 1). Для этих залежей особенно характерна сигмоидная форма типа «рыболовных крючков», связанная со спецификой складчато-разрывных деформаций, сопровождаемых течением вещества и будинажем [21, 22]. В горизонтах кровли купола, первично обогащенных углеродистым веществом, известны небольшие залежи графита. Интересно, что залежи метаморфогенных руд, как правило, характеризуются повышенными концентрациями меди, кобальта, урана, молибдена, ванадия [10, 21, 22]. Отмеченные геохимические и металлогенические особенности внешней зоны купола свойственны исключительно

площадям развития пород федоровской серии. В западной части купола, где на поверхности обнажаются структуры иенгрского основания, известны только проявления пьезокварца среди кварцитов верхнеалданской серии [21]. Этим еще раз подтверждается тесная зависимость особенностей металлогении кольцевых структур от геохимической специализации предшествующих осадочных бассейнов.

Внутренняя круговая зона Центрально-Алданского купола отделяется от внешней зоны кулисно-кольцевым Юхтинским разломом. Для нее характерна преобладающая радиальная ориентировка элементов структурной делимости. Согласно палеотектоническим и морфоструктурным реконструкциям Е. П. Максимова, В. В. Середина и И. Н. Томсона [15, 17], эта зона радиальными разломами разделяется на 9 секториальных блоков, примерно одинаковых по угловой величине (35–45°). Формирование инфраструктуры внутренней зоны относится к этапу компенсационного разрушения кровли купола в результате его остывания, уменьшения в объеме (усадки), раскалывания по системам радиальных и, менее, концентрических разломов. При этом часть возникавших секториальных блоков испытывала более интенсивное проседание, в результате чего их выполнение снова оказывалось в условиях высоких давлений и температур с насыщением остаточными палингенными расплавами и флюидами. Результатом компенсационной деструкции кровли явилось формирование трехлучевой системы секториальных «протограбенов» или «полей гранитизации», располагающихся под тупыми углами друг к другу (110–130°) [2, 15, 27] (рис.1). Эти протограбены (блоки) ограничивались долгоживущими крутопадающими разломами — «зонами протоклаза и полиметаморфизма» мощностью до 1–5 км, для которых характерны сложные продольные изоклинальные и опрокинутые складки, будинаж и гранитные инъекции. Гранитоиды этих зон слагают полосы и тела темных и глыбовых мигматитов, эруптивные брекчии аляскитов (аляскитовые брекчии, по Д. С. Коржинскому), а также плитообразные тела пегматоидов. Отмеченные особенности, несомненно, свидетельствуют о формировании краевых зон протоклаза при синхронности палингенно-метасоматических процессов и складчато-разрывных деформаций на фоне высокой механической активности расплавов [2, 13].

Трехлучевая система полей гранитизации Центрально-Алданского купола включает Эльконский (Якут-Ыллымахский), Хатыминский (Верхнеселигдарский) и Байонай-Куранахский секториальные блоки, первично возникшие как структуры проседания — протограбены. В платформенный период после эрозии купола они были перекрыты маломощным чехлом венда-кембрия, а в эпоху мезозойской активизации испытали полную или частичную инверсию с

превращением в ступенчатые горсты. В современной структуре платформенный чехол сохранился в Байонай-Куранахском блоке (до 700 м) и отчасти в Хатыминском блоке (до 300 м). В Эльконском блоке он был полностью эродирован при сохранении местами реликтов предвендской выровненной поверхности (пенеплена).

Эльконский горст, в частности, ограничен Эмельджакской и Юхутинской зонами протоклаза и полиметаморфизма, которые контролируют размещение рудных узлов со скарново-метасоматическими месторождениями флогопита, магнетита и апатита в диопсидитах и аляскитах (рис. 1). Такие же месторождения известны в краевых зонах двух других протограбенов. С эпохой компенсационной деструкции купола, вероятно, связано также формирование месторождений фторопатита (+TR) в Хатыминском поле гранитизации, которые локализуются в телах трубчатой (Селигдарское) или штокверковой (Тигровое) морфологии.

В целом поля гранитизации (протограбены) отличаются от разделяющих их сдвоенных промежуточных секториальных блоков рядом характерных особенностей, главными из которых являются: а) максимальная сохранившаяся мощность разреза гранитизированной кровли купола (федоровской серии); б) особая напряженность складчатых и разрывных дислокаций, проявленных в наибольшей степени в краевых зонах разломов; в) комплексная рудоносность.

После завершения ультраметаморфической гранитизации и внедрения продольных даек диоритов в протограбенах процессы проседания сменяются явлениями ступенчатого обрушения с образованием мощных и протяженных крутопадающих зон бластомилонитов и бластокатаклизитов амфиболитовой фации метаморфизма. Этим зонам, в отличие от разломов первой генерации (зон протоклаза), свойственны структуры пластического течения и перекристаллизации вещества, четкая ориентировка оптических осей кварца по типу S-тектонита, отсутствие аляскитовых инъекций. Формирование этих зон происходило на больших глубинах, при высоких температурах и давлениях, причем уже после завершения магматической деятельности — в условиях консолидированного блока и развития хрупких деформаций [13]. Для краевых частей бластомилонитовых швов характерно развитие высокотемпературных кварц-микроклиновых метасоматитов с аксессуарной и порфировой урановой, ториевой, редкоземельной (браннерит, уранинит, циркон, монацит, торит, ортит), сульфидной (молибденит) и золотой минерализацией. Метасоматиты датируются интервалом времени 1950–1750 млн лет [13, 25].

В Эльконском поле гранитизации омоложенные древние тектониты (бластомилониты) и сопряженные с ними мезозойские нарушения образуют гигантский штокверк (25 × 10–15 км) продольных, диагональных и реже поперечных

зон разрывов [18, 19]. Этот штокверк представляет собой рудное поле и вмещает золото-бреннеритовое с сульфидами оруденение в низко-среднетемпературных метасоматитах пирит-анкерит-адулярного состава (гумбеитах), которые локализируются во внутренних частях blastomylonitic швов. Наиболее крупными рудоносными зонами штокверка являются зоны Южная, Сохолоохская, Агдинская, Федоровская, Курунгская протяженностью в десятки километров при мощности до десятков метров. Золото-урановое оруденение *эльконского типа* по простиранию и падению зон развивается практически непрерывно, а месторождения выделяются условно по структурным особенностям зон и параметрам оруденения. Наиболее богатые руды локализируются при этом в виде крутопадающих столбов, имеющих склонение в направлении центра купола. Брекчированные гумбеиты кроме золото-уранового оруденения вмещают пострудные кварц-баритовые, карбонатные и флюоритовые жилы и прожилки.

Формирование гумбеитов и золото-уранового оруденения обычно датируется интервалом 135–130 млн лет назад, т.е. сближено во времени со средним этапом развития алданского щелочного магматизма. Однако мезозойские интрузии не оказывают существенного влияния на распределение оруденения, особенно масштабных его скоплений. В целом оно прослеживается до глубин более 2 км почти без изменения минерального состава и структурных условий локализации. Некоторые вариации состава руд по латерали отмечаются лишь на флангах Эльконского рудного поля. В частности, на западе, в Федоровской зоне кроме урана и золота в рудах присутствуют существенные концентрации серебра [8, 18], а на юго-востоке Южной зоны и в Агдинской зоне увеличивается примесь молибдена, достигающая промышленных значений [20].

Реконструкции предвендской выровненной поверхности по останцам древнего пенеплена показывают, что урановое оруденение в Эльконском рудном поле затухает около 200–300 м ниже основания платформенного чехла, а гумбеиты на этом уровне, т.е. в головах рудных зон, сменяются «кварцевыми шапками» — ореолами развития кварцевых жил и прожилков с золотоносным пиритом и сульфидами меди, свинца, цинка, никеля, кобальта [8, 18, 19]. Формирование «кварцевых шапок» при этом связывается с массовым выносом кремнезема из рудоносных зон и вмещающих пород, что фиксирует проявление вертикальной метасоматической зональности [24].

Рудоконтролирующие зоны разрывов по простиранию и восстанию прослеживаются в карбонатные отложения венда-кембрия, среди которых в Хатыминском и Байонай-Куранахском блоках известны многочисленные месторождения золота (+серебро), относимые к двум

различным типам: лебединскому и куранахскому [8, 9]. Оруденение этих типов размещается на двух различных стратиграфических уровнях чехла, но контролируется системами крутопадающих разрывов и даек, несомненно, наследующих зоны древних тектонитов в породах купола.

Месторождения лебединского типа и одноименного рудного поля в Хатыминском блоке (рис. 1) локализируются в нижней пачке чехла (людская свита венда) мощностью 50–150 м, которая насыщена силлами и дайками рогово-обманковых порфиров, ортофинов и кварцевых порфиров различной мощности (гора Рудная и др.) [9]. Золото-сульфидное (Au+Ag, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Mo) оруденение развивается здесь многоуровнево в горизонтах окремненных здесь джеспероидов битуминозных оолитовых доломитов, часто под экранами силлов. Оно образует согласные субгоризонтальные лентовидные залежи, а также связанные с ними секущие крутопадающие жильные рудные тела. Этот тип оруденения в карбонатных породах сопровождается лишь слабыми радиоактивными аномалиями урановой природы. Вмещающий золото-сульфидное оруденение ореол окремнения в низах платформенного чехла скорее всего представляет собой продолжение по вертикали надгумбеитовой зоны «кварцевых шапок» в фундаменте. В целом мощность околорудного ореола кремнистых метасоматитов составляет 400–500 м, т.е. по 200–300 м ниже и выше поверхности предвендского ССН. Таким образом, в рудоносных структурах Центрального Алдана существует вертикальная рудно-метасоматическая зональность: нижняя золото-ураноносная гумбеитовая зона (более 2 км) и верхняя серебро-золотоносная кварцевая зона (до 450 м) [15].

Месторождения куранахского типа и одноименного рудного поля локализируются в верхней части карбонатного чехла: в 500–600 м от его основания и вблизи предьюрской эрозионной поверхности, причем приурочены исключительно к выполнению карстовых полостей различного размера и морфологии. Они представляют собой погребенные россыпи и элювий [9]. Золотоносный рыхлый глинисто-песчаный материал этих полостей, принадлежащий, вероятно, переотложенным предьюрским корам выветривания, содержит многочисленные обломки и глыбы коренных рудоносных метасоматитов, которые часто называют «первичными рудами» [8, 9]. В составе метасоматитов в различных соотношениях присутствуют: кварц (60–90 %), адуляр (5–20 %), пирит (5–40 %). Преобладают среди них существенно кварцевые и кварц-полевошпатовые разности с различной текстурой: брекчиевидной, массивной или полосчатой. Метасоматиты несут часто богатое золото-урановое или серебро-золотое оруденение, причем в брекчиевидных разностях урановое оруденение является наиболее богатым (в штуфах до 1,4–1,1 % U), а в массивных и полосчатых — ме-

нее богатым (до 0,3% U). При этом обычная для эльконских руд корреляция золота и урана здесь отсутствует. Руды представлены гидратированными уранинитом, самородным и сульфидным золотом (м-ние Боковое) [8, 9]. По минеральному составу эти «первичные руды» сходны как с рудоносными метасоматитами Эльконского рудного поля, так и с рудами, встреченными в буровых скважинах Куранахского рудного поля — в породах фундамента на глубинах 500–660 м [8]. Не исключено, что указанные глыбы рудоносных метасоматитов являются переотложенными реликтами эродированных рудных залежей, существовавших в Эльконском блоке под экраном поверхности предвендского ССН, т. е. на границе алюмосиликатной и карбонатной сред. Такие рудные залежи могли сохраниться под чехлом в Хатыминском и Байонай-Куранахском блоках.

Золото-урановое и серебро-золотое оруденение эльконского и лебединского типов большинством исследователей считается гидротермально-метасоматическим, гидротермальным, возникшим в телескопированных структурах фундамента и чехла при парагенетической связи с позднемезозойским щелочным магматизмом. Вместе с тем, существование указанных выше глыб рудоносных метасоматитов в карстовых полостях вблизи предъюрской эрозионной поверхности может скорее всего свидетельствовать о доюрском возрасте первичных гипогенных, в том числе богатых золото-урановых и серебро-золотых руд. Их формирование может быть связано с процессами раннемезозойской ТМА, на проявление которых могут указывать известные факты распространения в Лебединском и других рудных полях крупных силлов и протяженных даек магматитов кислото состава, не свойственных корово-мантийному щелочному алданскому комплексу: кварцевых порфиров, сиенит-порфиров, ортофиоров, фельзитов. Эти породы наряду с рудными глыбами также присутствуют в карстовых полостях, т. е. являются доюрскими.

Возможно, именно в эту эпоху была сформирована главная масса золото-урановых и серебро-золотых руд Центрального Алдана, которые ассоциировали с серицит-карбонат-сульфидными (хлоритовыми) метасоматитами, присутствующими в виде реликтов среди гумбеитов. В позднем мезозое, уже после предъюрской эпохи эрозии, коро- и карстообразования, эти руды под влиянием щелочного алданского магматизма и метасоматизма испытали интенсивную гидротермальную регенерацию с массовым привносом-перераспределением калия и изотопным омоложением урановых руд до 135–130 млн лет. Свидетельствами регенерационной, т. е. вторичной природы позднемезозойского гипогенного оруденения Центрального Алдана при этом следует считать следующие известные особенности [8, 9, 18, 19]: 1) аномальные свойства главного

уранового минерала-браннерита, в том числе средние и низкие температуры его образования (200–230 °С), колломорфные текстуры и гидратированность, отсутствие примесей тория и редких земель; 2) наличие в составе браннерита типоморфной для алданских магматитов ассоциации элементов: вольфрама, ниобия, циркония, таллия, мышьяка, которые полностью или частично отсутствуют в «первичных» куранахских глыбовых рудах; 3) активное воздействие позднемезозойских щелочных интрузий на рудоносные зоны в фундаменте и чехле, в результате которого: а) внутри интрузий на продолжении зон образуются специфические вторичные месторождения, в том числе золото-порфировые в фундаменте (Рябиновое) и серебро-золотые скарновые в чехле (Самолазовское), б) в экзо-контактных ореолах фенитизации браннерит замещается уранинитом с выделением оксидов титана-анатаза, сфена (зона Надеждинская); при этом геохимический спектр вторичных руд содержит типоморфный набор элементов-спутников, свойственных эльконским и лебединским рудам (Cu, Mo, Pb, Zn, Bi, Co, Ni и пр.); 4) выравнивание минерально-геохимического состава золото-урановых руд и метасоматитов, выражающееся как в ликвидации неперменной для гидротермальных урановых месторождений вертикальной зональности, так и в появлении корреляции между такими разнородными компонентами, как золото и уран (в глыбах «первичных руд» она отсутствует).

С учетом приведенных доводов гипогенное золото-урановое и серебро-золотое оруденение Центрального Алдана следует считать сформированным минимум в два этапа: ранне- и позднемезозойский, которые были разделены эпохой глубокой эрозии, коро- и карстообразования с экзогенным переотложением материала первичных руд. Оба этапа гипогенного рудообразования проявлены телескопированно в омоложенных и перекрытых чехлами протограбенах внутренней зоны дорифейского гранито-гнейсового купола. При этом масштабное оруденение локализуется как в алюмосиликатных породах фундамента (золото, уран), так и в карбонатных породах чехла (золото, серебро). В целом преобладают крутопадающие рудоконтролирующие и рудовмещающие разрывные структуры при ассоциации с ними в чехле послонных (согласных) рудоносных зон. Велика вероятность существования крупных линзо- и сигарообразных пологих рудных залежей вблизи поверхности предвендского ССН: под экраном чехла и на границе двух различных сред, т. е. на структурном и геохимическом барьерах (имитация типа несогласия).

Кроме двух отмеченных рудогенных эпох не исключено проявление еще одной — предрифейской, с которой на древних щитах (Украинском, Канадском, Северо-Австралийском) связано формирование ураноносных альбититов (эйси-

тов). Реликты метасоматитов такого рода встречены в пределах Эльконского рудного поля [13, 18, 24].

В целом для Центрально-Алданской рудной провинции характерна локализация промышленного оруденения различных типов в омоложенных структурах дорифейского гранито-гнейсового купола и перекрывающего платформенного чехла. При этом древнейшие стратиформные метаморфогенные руды, синхронные этапам формирования купола, концентрируются в его внешней кольцевой зоне, а более поздние гидротермально-метасоматические и гидротермальные руды локализуются преимущественно во внутренней круговой зоне — в структурах трехлучевой системы протограбен или полей гранитизации. Оруденение внешней зоны не претерпело последующей существенной регенерации, а формирование месторождений внутренней зоны связано с рядом последовательных этапов трансформации (омоложения) структур купола. Неоднократная регенерация золото-уранового оруденения в долгоживущих разломах купола привела к единообразию минерально-геохимического состава руд с ликвидацией первичной вертикальной рудно-метасоматической зональности, а также к возникновению тесных корреляционных связей между такими разнородными рудогенными элементами, как уран и золото. Такие выводы подтверждаются примерами других рудных провинций в омоложенных кольцевых структурах древних щитов и массивов.

Рудные провинции других гигантских кольцевых структур. Кроме Алданского щита рудоносные кольцевые структуры установлены (реконструированы) в пределах Украинского (рис.2), Балтийского, Канадского, Северо-Австралийского древних щитов, Воронежского массива, Чешского и Приаргунского срединных массивов. Все эти кольцевые структуры представляют собой в различной мере омоложенные гигантские дорифейские гранито-гнейсовые купола и вмещают многочисленные рудные узлы и поля с различной промышленной специализацией, т. е. являются комплексными рудными провинциями. В состав этих провинций входят железорудные гиганты Криворожья, КМА и Костомукши; урановорудные гиганты Атабаски, Аллигейтор-Риверс, Украины, Приаргунья, Чешского массива; ванадиевый гигант Прионежья.

Рудоносные гранито-гнейсовые купола и основные рудоконтролирующие элементы их внутреннего строения являются типоморфными для дорифейской генерации кольцевых диссипативных структур. Для них разработана единая собирательная идеализированная модель строения (рис. 3), за основу которой взята модель Центрально-Алданского свода-купола. В этих моделях главное рудоконтролирующее значение имеют деление кольцевой структуры на две зоны (внешнюю и внутреннюю) и существование во внутренней зоне трехлучевой системы

секториальных блоков проседания (полей гранитизации, протограбен). В иерархии рудоносных площадей эти блоки скорее всего должны играть роль рудных районов, объединяющих рудные поля и узлы, приуроченные к краевым и внутренним локальным структурам. Такими локальными крутопадающими рудоносными структурами являются краевые зоны протоклаза и внутренние штокверки бластомилонитовых швов. При этом целым рядом исследователей, в частности В. А. Крупениковым, В. И. Казанским, А. В. Кузнецовым, К. В. Прохоровым и др. [13], отмечается «поразительное сходство» строения и состава зон указанных древних тектонитов, а также приуроченных к ним генераций метасоматитов и различных руд. Установленное единообразие строения гигантских гранито-гнейсовых куполов дорифейской генерации является, вероятно, отражением геометрической упорядоченности, существующей в природе на различных уровнях организации материи: от атомов и минералов до планеты в целом, особенно на ранних стадиях ее развития.

На фоне этого модельного единообразия отдельные купола или группы куполов обладают своими индивидуальными особенностями, которые прямо или косвенно влияют на геохимический спектр руд, условия их формирования и локализации, степень концентрации рудогенных элементов. Указанные особенности имеют как количественный, так и качественный характер. К количественным особенностям относятся величина структур в плане и соотношение радиальных размеров внутренней и внешней зон. Диаметр (поперечник) куполов колеблется от 200 до 1000 км, а соотношение зон может быть от 1:1 до 2:1 и более.

Список качественных особенностей более обширен и включает: 1) состав формационных комплексов кровли купола в зависимости от накопления их в разных осадочных бассейнах раннего протерозоя (железисто-кварцитовых, доломитовых, черносланцевых и их сочетаниях); 2) типы секториальных блоков проседания — протограбен в зависимости от положения их в колонне вертикальной ультраметаморфической зональности и глубины эрозийного среза; 3) насыщенность предрифейскими коллизионными магматитами мантийно-корового происхождения или более поздними коровыми гранитоидами, которые играли роль «подготовительных» факторов мобилизации, концентрации и регенерации рудно-геохимических ресурсов геоблока-купола; 4) наличие или отсутствие перекрывающих впадин рифея или вепсия, фиксирующих продолжительные эпохи (периоды) континентального выветривания и корообразования с формированием региональных ССН и участием экзогенных факторов рудообразования; 5) время, форма и степень омоложения типоморфных потенциально рудоносных структур докембрийского заложения, в том числе искажение их пер-

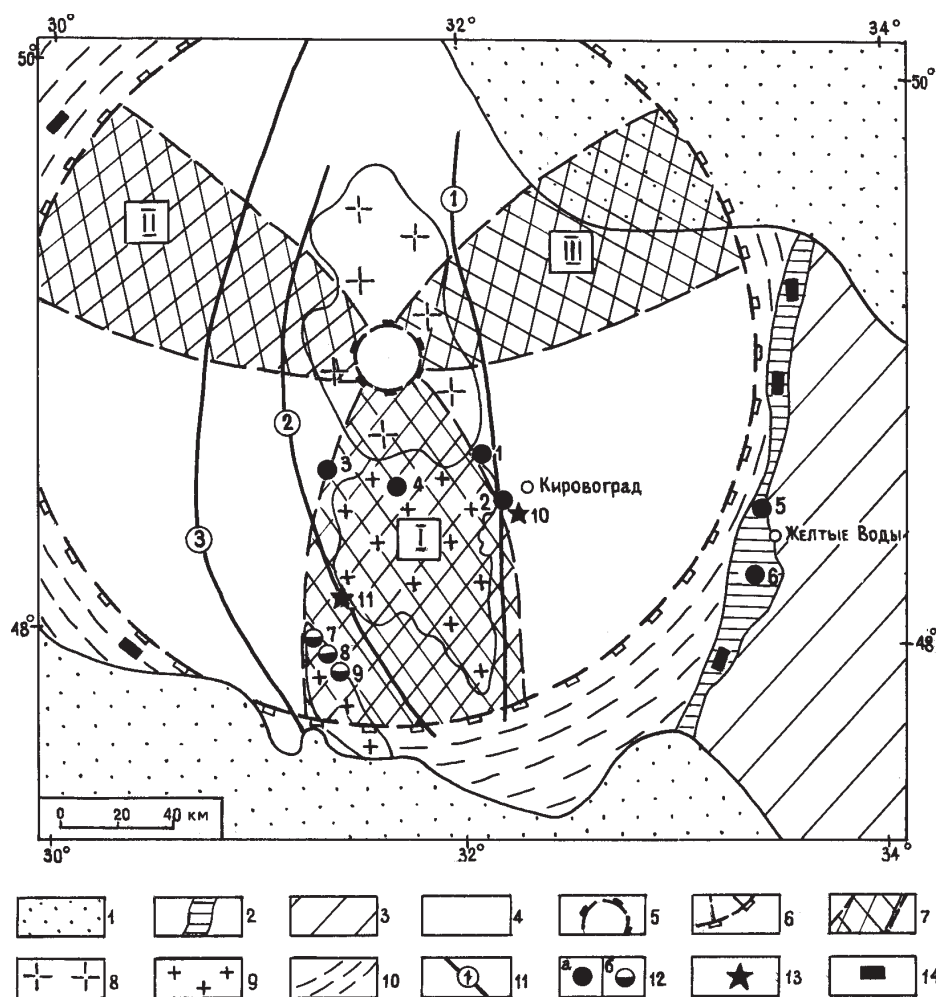


Рис. 2. Инфраструктура Центрально-Украинского гранито-гнейсового купола и положение в ней месторождений урана, золота и железа. По материалам [6]:

1 — мел-палеогеновый платформенный чехол; 2-4 — главные структуры докембрийского основания: 2 — Криворожско-Кременчугский межгеоблоковый разлом, 3 — сопредельный Приднепровский мегаблок, 4 — Ингуло-Ингулецкий мегаблок (Кировоградский блок и часть Росинско-Тикичского блока), вмещающий Центрально-Украинский гранито-гнейсовый купол; 5-10 — элементы инфраструктуры гранито-гнейсового купола (границы условные): 5 — ядро, 6 — внутренняя зона с преобладающей радиальной делимостью, 7 — секториальные блоки проседания и обрушения кровли купола (I — Новоукраинский, II — Богуславский, III — Чигиринский), 8 — Корсунь-Новомиргородский массив коллизионных анортозитов и гранитов рапакиви, 9 — Кировоградско-Новоукраинский массив палингенных гранитов, мигматит-гранитов (поле гранитизации), 10 — фрагменты внешней кольцевой зоны купола с преобладающими концентрическими деформациями; 11 — транскупольные разломы (1 Кировоградский, 2 Анновско-Звенигородский, 3 Бугско-Мироновский); 12-14 — рудные месторождения: 12 — урановые в альбититах (а) и калишпатитах-пегматоидах (б), 13 — месторождения золота, 14 — месторождения железа. *Рудные поля:* 1 Северинское, 2 Мичуринское, 3 Ватугинское, 4 Новоукраинское, 5 Желтореченское, 6 Первомайское, 7 Лозоватское, 8 Калиновское, 9 Южное, 10 Юрьевское (Клинцовское), 11 Михайловское

вичной формы, перекрытие чехлами и пр.; б) перемещение рудного вещества в перекрывающие или секущие комплексы вдоль унаследованных типоморфных структур куполов в эпохи их трансформации (омоложения, регенерации). Далее следует краткое рассмотрение перечисленных особенностей на конкретных примерах различных рудных провинций.

Роль осадочных бассейнов в составе кровли рудоносных гранито-гнейсовых куполов особен-

но хорошо проявляется в районах сближенного размещения рудных гигантов с различной промышленной специализацией. Кроме Центрального Алдана, например, крупные железорудные месторождения в железистых кварцитах и метадоломитах нижнего протерозоя известны во внешних зонах Центрально-Украинского (рис. 2), Воронежского и Онежско-Ладожского куполов, соответственно в породах Криворожского, Курского и Гимольского раннепротерозойских бас-

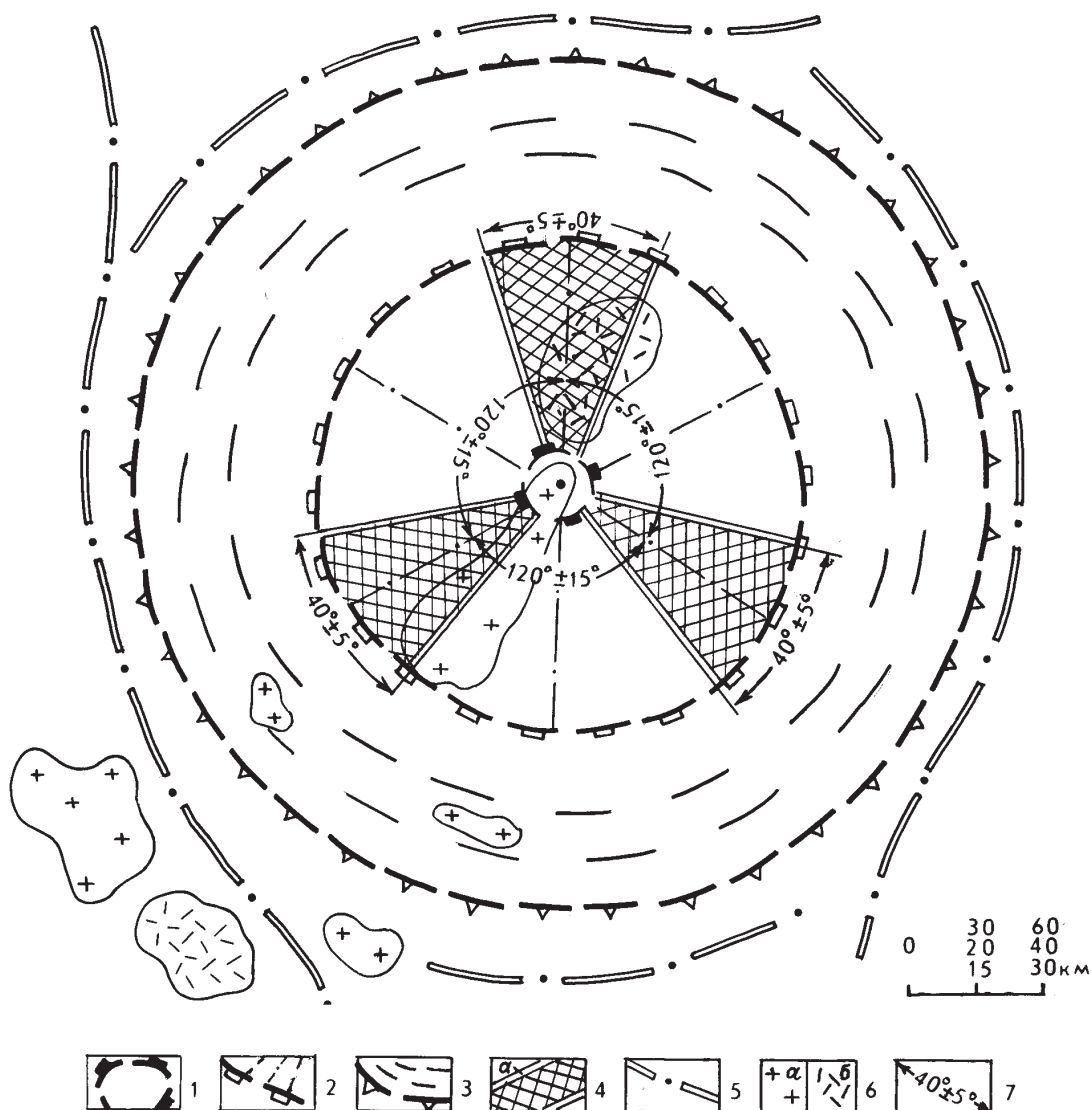


Рис. 3. Модель инфраструктуры рудоносных дорифейских гранито-гнейсовых куполов:

1-4 — элементы инфраструктуры (границы условные): 1 — ядро (геометрический центр), 2 — внутренняя зона с преобладанием радиальных направлений делимости и деформаций, 3 — внешняя зона с преобладанием концентрических направлений делимости и пликативных деформаций, 4 — секториальные блоки компенсационного проседания и обрушения кровли купола — поля гранитизации-протограбены (*a* — краевые зоны протоклаза и полиметаморфизма); 5 — дуговые и кольцевые периферические разломы; 6 — коллизионные магматиты: *a* — рапаквивиподобные и иные граниты, габбро-долериты, *b* — кислые и основные вулканиты; 7 — угловые размеры секториальных блоков

сейнов. С отложениями более поздних телескопированных с первыми черносланцевых бассейнов и продуктами их ультраметаморфической гранитизации во внутренних зонах куполов ассоциируют крупные урановые (Украина) или уран-ванадиевые (Прионежье) месторождения, располагающиеся соответственно среди пород Ингуло-Ингулецкого и Туломозерско-Заонежского осадочных бассейнов [6, 7]. С отложениями черносланцевых бассейнов в обеих зонах куполов ассоциируют также сульфидно-полиметаллические с серебром и оловом месторождения: Питкяранта (Карелия), Томпсон (Канада),

Кличка (Приаргунье), Булман (Северная Австралия), Пшибрам-Бржезовы горы (Чехия) и пр.

Немаловажную роль в размещении рудоносных площадей внутренней зоны играет принадлежность секториальных блоков — протограбенов к условным типам, выделяемым по степени проявления ультраметаморфизма [16]. Выделяются 3 типа блоков, соответствующих определенным уровням среза колонны вертикальной ультраметаморфической зональности (снизу вверх): 1) мигматит-гранитовый, 2) мигматит-гнейсовый, 3) мрамор-кристаллосланцевый (рис. 4). Эти блоки площадью в сотни-первые тыся-

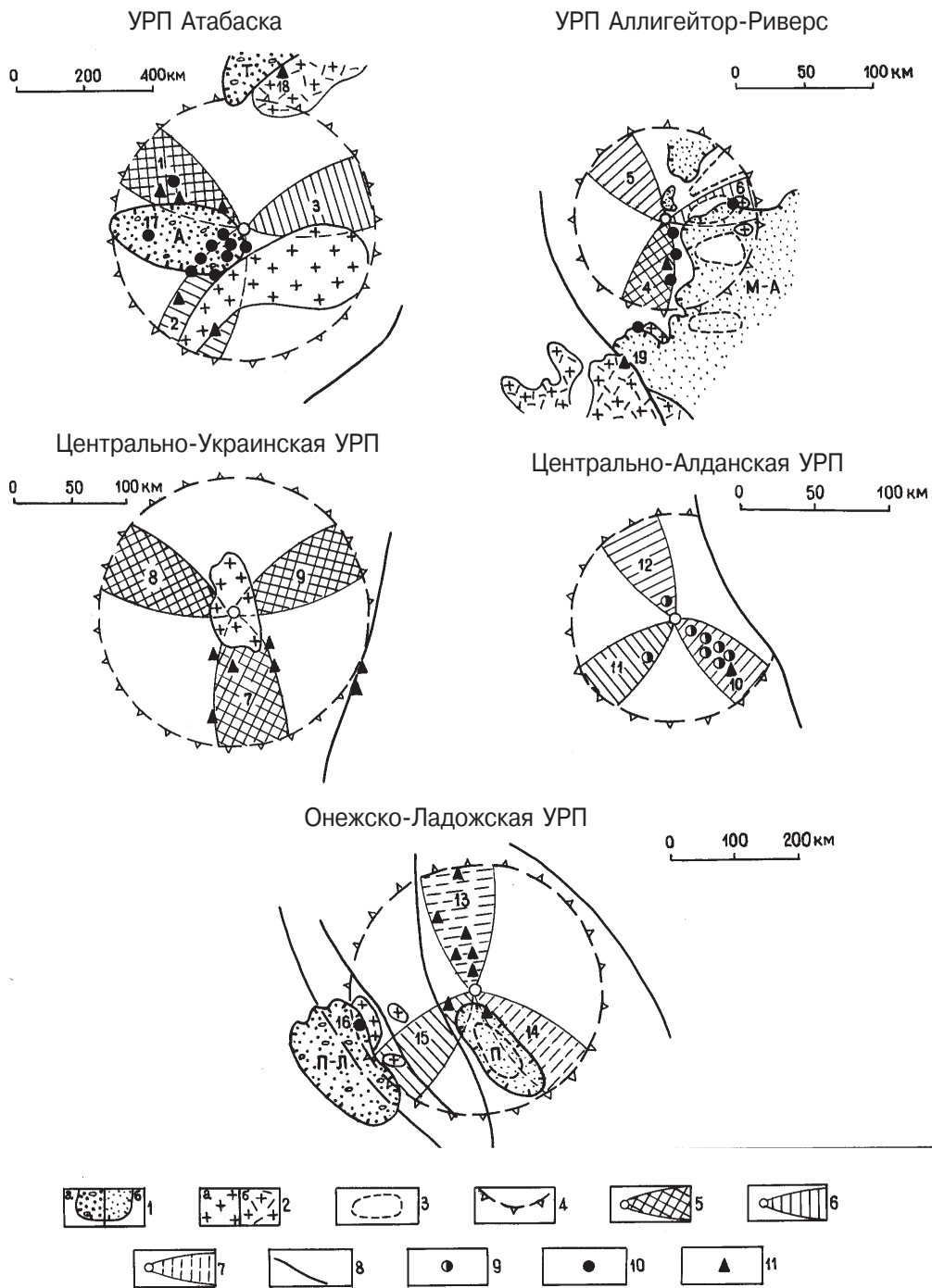


Рис. 4. Типоморфные структуры урановорудных провинций в основании древних платформ:

1 — эпикратонные наложенные впадины: *a* — рифейские, *б* — предрифейские (вепсийские) (А — Атабаска, Т — Телон, М-А — Мак-Артур, П-Л — Пашско-Ладужская, П — Прионежская); 2-3 — предрифейские коллизионные магматиты: 2 — рапакивидообразные и иные граниты, реже габбро (*a*), ассоциация гранитов и кислых вулканитов (*б*), 3 — силлы долеритов; 4-7 — элементы инфраструктуры внутренних зон дорифейских гранито-гнейсовых куполов: 4 — условная граница с внешней зоной, 5-7 — поля ультраметаморфической гранитизации (секториальные блоки проседания и обрушения кровли купола): 5 — мигматит-гранитового типа, 6 — мигматит-гнейсового типа, 7 — мрамор-кристаллосланцевого типа; 8 — региональные разломы; 9-11 — типы урановых и комплексных месторождений: 9 — мезозойские в гумбеитах, 10 — рифейские типа несогласия, 11 — дорифейские в щелочных метасоматитах. Рудносные или потенциально рудносные поля гранитизации: 1 Ураниум-Сити, 2 Волластон (Саскачеван), 3 Волластон (Манитоба), 4 Магела-Нанамбу, 5 Ист-Аллигейтор, 6 Оэнпелли, 7 Новоукраинское, 8 Богуславское, 9 Чигиринское, 10 Эльконское, 11 Хатыминское, 12 Байонай-Куранахское, 13 Заонежское (Повенецкое), 14 Прионежское, 15 Петрозаводско-Олонекское. Обособленные рудные узлы: 16 Карху, 17 Клафф-Лейк, 18 Лоун-Гал, 19 Саут-Аллигейтор.

чи кв. км имеют трапециевидную или овальную форму и обычно при картировании выделяются в качестве самостоятельных структур под названиями: 1) мигматит-плутонов, ареал-плутонов, очаговых структур; 2) гнейсовых складчатых поясов, мобильных поясов; 3) сланцевых поясов, зон. Названия и породный состав первых двух типов полностью отвечают производным палингеной гранитизации (объемной или послонной), включающим мигматит-граниты, мигматиты, гнейсы в определенных соотношениях. Примерами первого типа являются рудоносные блоки Ураниум-Сити (Канада), Магела-Нанамбу (Австралия), Новоукраинский (Украина). Ко второму типу относятся рудоносные блоки Эльконский (Алдан), Стрельцовский (Приаргунье), Моравский (Чехия), Волластон (Канада). Как правило, они вмещают разновозрастные крупные и уникальные по масштабам урановые и комплексные месторождения (U, Au, Ni, Mo, ЭПГ) в зонах щелочного и кислотного метасоматоза. Эти зоны контролируются омоложенными древними разломами (протоклазитами, бластомилонитами), положение которых в блоках определяется физическими свойствами среды. В более гомогенных блоках первого типа рудоносные разломы занимают преимущественно краевое положение, а в более гетерогенных блоках второго типа они развиваются как во внутренних, так и краевых частях. Значительный эрозионный срез блоков этих двух типов связан главным образом с явлениями постультраметаморфической коллизионной инверсии (воздымания), происходившими в предрифейскую эпоху.

К третьему типу может быть условно отнесен Повенецкий секториальный блок Онежско-Ладожского купола, вмещающий Заонежское рудное поле со слюдяковыми уран-ванадиевыми ((V, U, Pt, Au), урановыми, сульфидно-полиметаллическими и шунгитовыми месторождениями [7]. Матрица карбонатно-черносланцевого туломозерско-заонежского рудовмещающего комплекса метаморфизована на этом уровне достаточно слабо — преимущественно в эпидот-зеленосланцевой фации (регрессивной?). Однако о принадлежности блока к производным ультраметаморфизма может свидетельствовать широкое развитие послонных тел мраморов и шунгитов с фуллеренами, а также вкрапленность мусковита и турмалина, которые являются свидетельствами избирательной «отдаленной» гранитизации. В этой, самой верхней, части колонны ультраметаморфической зональности оруденение различного типа приурочено к элементам гигантского внутреннего штокверка складчато-разрывных нарушений, которые на глубине, вероятно, сменяются синхронными и более древними бластомилонитами. Возможно отнесение к третьему типу также Среднечешского секториального блока Чешского гранито-гнейсового купола, в рамках которого размещаются, скорее всего, регенерированные Пшибрамские урано-

вые и серебро-полиметаллические жильные месторождения с рудами позднепалеозойского возраста [3].

Одной из характерных черт рудоносных гранито-гнейсовых куполов является проявление в их рамках предрифейского (1750 млн лет) коллизионного комплементарного мантийно-корового магматизма (рис. 3, 4). Его производные, представленные аллохтонными плутонами и силлами ряда габбро-рапакививоподобные граниты, оторваны от этапа компенсационной деструкции на 150–200 млн лет и следуют за глобальной эпохой формирования титан-урановых руд в натриевых метасоматитах (альбититах, эйситах). Насыщение этими магматитами внутренних зон куполов иногда существенно (на порядок) повышает степень концентрации урана в этих рудах, переводя их из прожилково-вкрапленной в жильную форму (рудные поля Биверлодж в Канаде, Кировоградское на Украине и пр.). Роль таких магматитов в Эльконском рудном поле могли играть аллохтонные массивы так называемых «красных гранитов» нимнырского комплекса [25]. Во внутренних зонах ряда куполов (Аллигейтор-Риверс, Онежско-Ладожского и др.) гранитоиды развиты слабо. Там преобладают габбро-долериты, образующие мощные силловые залежи в отложениях вепсийских впадин. Во внешних слабоураноносных зонах некоторых куполов предрифейский магматизм проявлялся как в интрузивной, так и эффузивной форме с образованием вулканоплутонических комплексов: улканского комплекса на западной окраине Маймаканского купола (Алдан), дьюбуунтского комплекса по северной периферии купола Атабаска (Канада), комплекса Эдит-Риверс на юго-западе купола Аллигейтор-Риверс (Австралия). В целом же проявление постультраметаморфического магматизма, вероятнее всего, играет роль «подготовительного» фактора для формирования более поздних концентраций урана, в том числе типа несогласия вблизи основания рифейских и вепсийских наложенных впадин Канады и Северной Австралии [3, 26].

Дорифейские рудоносные гранито-гнейсовые купола в срединных массивах складчатых областей Евразии в отличие от куполов на щитах древних платформ (кроме Алданского щита) неоднократно подвергались более поздней полихронной магматической гранитизации с соответствующей переработкой древних структур и рудных, в том числе урановых, концентраций. Приаргунский и Чешский купола испытали такого рода омоложение в рифее, среднем-позднем палеозое и мезозое с перемещением рудного вещества в перекрывающие структурные этажи. При этом сохранилась локализация крупных месторождений в рамках унаследованной трехлучевой системы блоков и разломов при изменении морфологии рудных тел, минерального состава руд и околорудных метасоматитов, изотопного возраста оруденения.

Этапность рудообразования в омоложенных структурах гранито-гнейсовых куполов. Обобщение информации о рудоносности глобальной генерации древнейших кольцевых структур (куполов) позволяет составить представление об истории формирования такого рода рудных провинций (рис. 5). При этом этапы непрерывно-прерывистого процесса рудогенеза общей продолжительностью около 2 млрд лет наибо-

лее четко и полно фиксируются урановыми концентрациями, хорошо поддающимися изотопному датированию*. Могут быть намечены шесть главных этапов рудообразования, связанных с соответствующими этапами формирования и трансформации гигантских дорифейских гранито-гнейсовых куполов.

I. Этап формирования осадочно-метаморфогенных стратиформных концентраций железа в

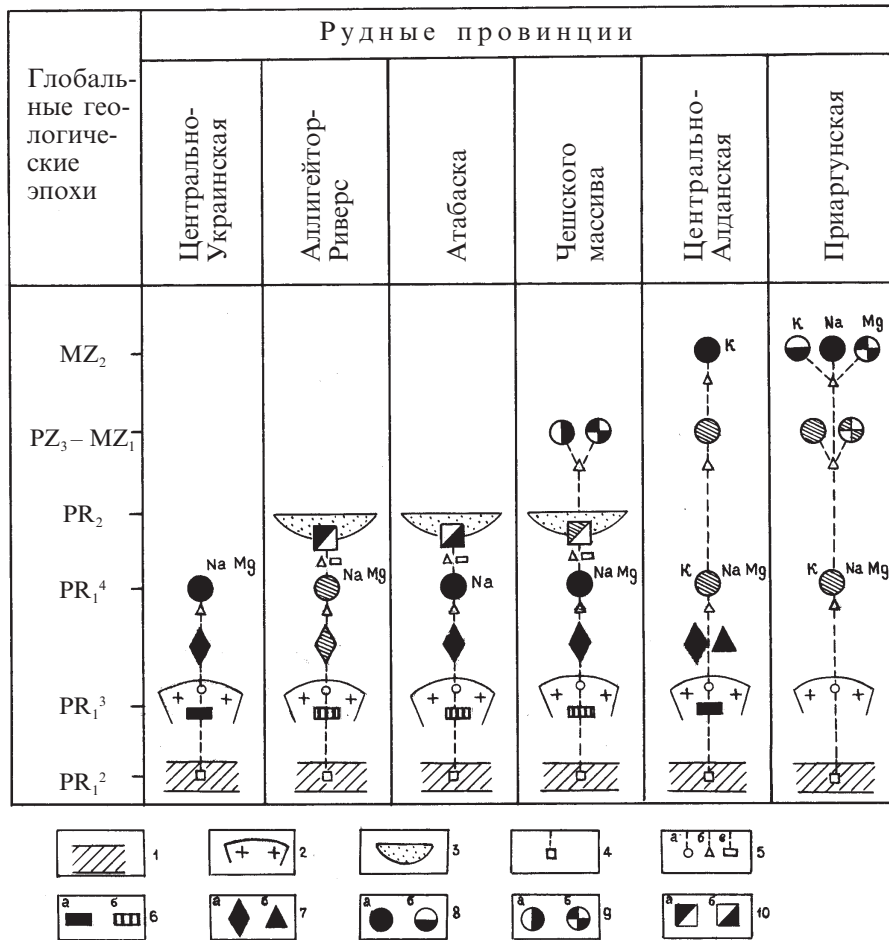


Рис. 5. Эволюция уранового и комплексного рудообразования в омоложенных структурах гигантских дорифейских гранито-гнейсовых куполов:

1-3 — главные предпосылки масштабного рудообразования: 1 — геохимически-специализированные пестрые комплексы пород (PR₁²), 2 — гигантские дорифейские гранито-гнейсовые купола (PR₁³) и в их пределах коллизионные мантийно-коровые магматиты (PR₁⁴), 3 — эпикратонные наложенные впадины рифея или вепсия (PR₂); 4-5 парагенетические связи оруденения: 4 — со стратифицированными геохимическими ресурсами, 5 — с ареалами: а — ультраметаморфизма, б — тектоно-магматической активизации, в — аридизации; 6-10 — генетические типы рудных месторождений (от более древних к более молодым): 6 — осадочно-метаморфогенные стратиформные в метапородах пестрых серий PR₁²⁻³: а — железорудные (Fe+Mg, Cu, Co, U) в скарноидах и кварцитах, б — сульфидно-полиметаллические (+U, Ag, Au, Ni, Co) в черных сланцах; 7 — ультраметаморфические в зонах протоклаза: а — U, Th, TR «порфировые» в пегматоидах и калишпатитах, б — Fe, Mg, P гнездовые в скарнах (диопсидитах); 8 — гидротермальные прожилково-вкрапленные, штокверковые, реже жильные: а — Ti-U, Ti-Au-U, U-Au, Au в щелочных метасоматитах, б — Mo-U, U в аргиллизитах и березитах; 9 — гидротермальные жильные и штокверковые: а — U, Mo-U, б — Ag-Pb-Zn (+Au, Cd, Ga, Ge, U); 10 — полигенные типа несогласия: а — U, Au-U; б — U, Ni-U. Штриховкой показаны типы рудных месторождений, испытавших регенерацию и сохранившихся в виде реликтов

* Эволюционный ряд урановых месторождений в истории Земли впервые был намечен В. И. Казанским, Н. П. Лаверовым и А. И. Тугариновым (1978).

железистых кварцитах и скарнированных доломитах — скарноидах (Fe + Mg, B, Cu, Co, Ni, Bi, V, Mo, U), а также сульфидно-полиметаллических концентраций в черных сланцах (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mo и пр.) за счет вещества кровли купола. Связан с этапом ультраметаморфического роста куполов и проявлен преимущественно в их внешних зонах.

II. Этап формирования гнездовых скарново-метасоматических месторождений флогопита, магнетита, апатита (Mg, Fe, P, TR), а также убогих концентраций урана и тория в калиевых метасоматитах (пегматоидах) в связи с процессами компенсационной деструкции кровли куполов и образованием трехлучевой системы секториальных блоков проседания (полей гранитизации, протограбенов). Проявлен главным образом во внутренней зоне куполов, а также вдоль границы ее с внешней зоной.

III. Этап формирования прожилково-вкрапленных гидротермально-метасоматических концентраций титан-урановых руд в натриевых метасоматитах (альбититах, эйситах). Связан с постультраметаморфическими процессами дислокационного метаморфизма в краевых и внутренних структурах протограбенов.

IV. Этап трансформации урановых руд предшествующих этапов в жильно-прожилковые окисные урановые руды в связи с внедрением в структуры куполов крупных масс предрифейских коллизионных магматитов.

V. Этап формирования полигенных месторождений типа несогласия — урановых и комплексных (U+Au, Ni, Co, ЭПГ) в зонах перекрытия рудоносных структур протограбенов наложенными впадинами рифея или (и) вепсия, а также образования экзогенных богатых маритовых, гематит-маритовых руд за счет древних концентраций в железистых кварцитах. Этап связан с синэргическим сочетанием процессов латеритного выветривания, корообразования и тектоно-магматической активизации в предрифее-рифее.

VI. Этап формирования гидротермальных окисных и титан-урановых руд в омоложенных структурах внутренних зон куполов за счет регенерации древних урановых концентраций, в том числе месторождений типа несогласия. Связан с процессами позднепалеозойской и мезозойской тектоно-магматической активизации.

По данным изотопно-геохимического датирования магматических, метасоматических и рудных образований перечисленные этапы занимают достаточно определенное положение в геохронологической шкале: I — около 2000 млн лет; II — 1950 млн лет, III — 1900 млн лет, IV — 1800–1750 млн лет, V — 1250–900 млн лет, VI — 270–250, 180–130 млн лет.

Сохранность рудных образований ранних — дорифейских этапов находится в прямой зависимости от степени омоложения рудовмещаю-

щих структур, а также от положения месторождений в этих структурах. Лучше всего сохраняются руды во внешних кольцевых зонах куполов на древних щитах, например, магнетитовые, флогопитовые, апатитовые и сульфидно-полиметаллические руды I, II этапов. Меньшей сохранностью отличаются рудные образования во внутренних зонах омоложенных куполов, где урановое оруденение в щелочных метасоматитах (II, IV этапы) присутствует лишь в виде реликтов в зонах долгоживущих «сквозных» разломов [26]. В пределах срединных массивов складчатых областей фанерозойские процессы ТМА трансформируют древние урановые и полиметаллические руды зачастую до неузнаваемости, однако при несомненной унаследованности главных рудоносных типоморфных элементов инфраструктуры гигантских гранито-гнейсовых куполов.

Выводы. Сравнительный анализ опубликованных материалов по геологии и рудоносности основания древних платформ и срединных массивов с проведением палеотектонических реконструкций позволяет сделать следующие выводы:

1) целый ряд важнейших комплексных рудных провинций связан с омоложенными и перекрытыми структурами гигантских дорифейских гранито-гнейсовых куполов, сформированных в результате ультраметаморфизма и полихронной гранитизации вещества раннепротерозойских осадочных бассейнов с широким спектром геохимической специализации;

2) каждая рудная провинция этого рода объединяет различные по промышленной специализации, происхождению и размещению рудоносные площади в ранге рудных районов, полей и узлов, которые контролируются элементами внутреннего строения главной типоморфной кольцевой структуры, связаны с определенными этапами ее формирования и трансформации и объединяются общностью ведущих источников рудогенных компонентов;

3) в областях фанерозойской активизации эволюционный ряд докембрийских рудных концентраций поэтапно наращивается за счет их регенерации при унаследованности ведущих рудоконтролирующих структур и перемещении рудного вещества в новые коллекторы с изменением не только морфологии рудных залежей, но и соотношений полезных компонентов.

Разработанная сводная модель строения рудоносных кольцевых структур дорифейской генерации позволяет совершенствовать как технологию составления генерализованной и специализированной геологической основы мелко- и среднемасштабных прогнозно-металлогенических карт, так и методологию прогнозирования рудоносных площадей различного ранга в основании древних платформ и срединных массивов.

1. Афанасьев Г. В. Среднедокембрийские рудно-геохимические провинции и производные их трансформации // Советская геология. 1985. № 1. С. 107–117.
2. Афанасьев Г. В. Омоложенные дорифейские структуры проседания и обрушения как масштабные рудные ловушки (Центральный Алдан, Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 3. С. 292–296.
3. Афанасьев Г. В. Месторождения типа несогласия: предпосылки формирования, вероятные гомологи, критерии прогнозирования // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Информ. сб. Вып. 143. М., 2001. С. 13–21.
4. Афанасьев Г. В., Клюев Н. К. Предпосылки рудоносности Восточно-Воронежского геоблока Русской платформы // Разведка и охрана недр. 2000. № 3–4. С. 12–16.
5. Афанасьев Г. В., Шувалов Ю. М. Металлогенические аспекты локального прогнозирования и комплексного освоения горнорудных территорий // Отечественная геология. 1992. № 9 (1). С. 14–18.
6. Бакаржиев А. Х., Макивчук О. Ф., Низовский В. Н., Попов Н. И. Кировоградский урановорудный район Украины // Там же. 1995. № 9. С. 45–54.
7. Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 6. С. 3–14.
8. Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н. Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) // Там же. 1998. Т. 40. № 4. С. 354–369.
9. Ветлужских В. Г., Казанский В. И., Кочетков А. Я., Яновский В. М. Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Там же. 2002. Т. 44. № 6. С. 467–499.
10. Геологические формации и металлогения Алданского щита / Ред. Т. В. Билибина. Л.: Недра, 1976. 339 с. (Тр. ВСЕГЕИ: Нов. сер. Т. 276).
11. Глуховский М. З. Геологическая эволюция фундаментов древних платформ (нуклеарная концепция). М.: Наука, 1990. 215 с.
12. Глуховский М. З., Моралев В. М. Эволюция тектонических условий анортозитового магматизма Алданского щита // Геотектоника. 1999. № 6. С. 3–15.
13. Казанский В. И. Рудоносные тектонические структуры активизированных платформ. М.: Недра, 1972. 240 с.
14. Казанский В. И. Эволюция рудоносных структур докембрия. М.: Недра, 1988. 286 с.
15. Казанский В. И., Максимов Е. П. Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия) // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 43. № 2. С. 212–230.
16. Летников Ф. А., Бальшев С. О., Лашкевич В. В. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. 2000. № 1. С. 3–22.
17. Максимов Е. П., Середин В. В., Томсон И. Н., Прозоров Ю. И. Орогенная структура Центрального Алдана и связь с ней магматизма и оруденения // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона. М.: Наука, 1982. С. 121–138.
18. Мигута А. К. Состав и парагенетические минеральные ассоциации урановых руд Эльконского района (Алданский щит, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 4. С. 323–343.
19. Мигута А. К. Урановые месторождения Эльконского рудного района на Алданском щите // Там же. 2001. Т. 43. № 2. С. 129–151.
20. Наумов С. С., Шумилин М. В. Урановые месторождения Алдана // Отечественная геология. 1994. № 11–12. С. 20–23.
21. Объяснительная записка к Гос. геол. карте РФ м-ба 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-(50), 51 — Алдан. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 428 с.
22. Перцев Н. Н., Кулаковский А. Л. Структурно-петрологическая эволюция Таежного борно-железородного месторождения (Центральный Алдан, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 3–21.
23. Рундквист Д. В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений: периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования // Там же. 1997. Т. 39. № 1. С. 11–24.
24. Терентьев В. М., Казанский В. И. Эльконский урановорудный район на Алданском щите // Региональная геология и металлогения. 1999. № 8. С. 47–58.
25. Терентьев В. М., Кудрявцев Б. Е., Левентов В. С. Радиоактивные и сопутствующие им элементы в докембрийских метаморфических образованиях Алданского щита // Материалы о содержании и распределении радиоактивных элементов в горных породах. Л.: Недра, 1972 (Тр. ВСЕГЕИ: нов. сер. Т. 188. Вып. 3).
26. Тишкин А. И., Тарханов А. В., Стрельцов В. А. Урановые месторождения древних щитов. М.: Недра, 1990. 144 с.
27. Угрюмов А. Н., Энтин А. Р. О длительно развивающихся блоковых структурах центральной части Алданского щита (на примере Якокут-Ыллымахского блока) // ДАН СССР. 1969. Т. 184. № 3. С. 680–683.
28. Энтин А. Р. Основные закономерности размещения флогопитовых и магнетитовых месторождений в Центрально-Алданской флогопитоносной и железорудной провинции // Геология и петрология докембрия Алданского щита. М.: Наука, 1966. С. 85–92.
29. U-Pb возраст федоровской толщи алданского гранулитогнейсового мегакомплекса (Алданский щит) Великославинский С. Д., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Глебовицкий В. А. и др. // ДАН. 2003. Т. 393. № 1. С. 91–96.