

АКТУАЛЬНОСТЬ КОНЦЕПЦИИ АВТОНОМНОЙ АКТИВИЗАЦИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обосновывается геодинамическая самостоятельность металлогенических областей автономной активизации (на фоне и в связи с глобальными геотектоническими концепциями). Проведенные геолого-геохимические и изотопно-геохронологические исследования позволяют существенно уточнить генетические особенности и критерии прогнозирования месторождений урана стрельцовского типа. Основной принцип заключается в том, чтобы набор критериев опирался на региональные, районные и локальные уровни исследований и сопровождался углубленным изучением крупных эталонных объектов с применением современных высокоточных аналитических и изотопно-геохронологических методов. Автор полагает, что уникальность месторождений (размеры и качество руд) можно и необходимо прогнозировать и оценивать на разных, в том числе на ранних стадиях поисково-оценочных работ.

Ключевые слова: *геодинамика, автономная активизация, металлогения, рифтогенез, уран, локальный прогноз, стрельцовский тип.*

Geodynamic independence of metallogenic areas of autonomous activation (against the background and due to the global geotectonic concepts) is substantiated. Conducted geological-geochemical and isotope geochronological studies can significantly clarify the genetic features and criteria for predicting the Streltsovsky type uranium deposits. The basic principle is that a set of criteria should be based on regional, district, and local levels of research and accompanied by in-depth study of major reference objects with the use of modern high-precision analytical and isotope-geochronological methods. The author assumes that uniqueness of deposits (size and ore quality) can and should be predicted and evaluated at different, particularly early stages of exploration and evaluation.

Keywords: *geodynamics, autonomous activation, metallogeny, rifting, uranium, local prediction, Streltsovsky type.*

В декабре 2012 г. исполнилось 50 лет со времени публикации в «Докладах Академии наук СССР» статьи Алексея Дмитриевича Щеглова «О рудных поясах Западного Забайкалья» [11]. Впервые было показано, что эти рудные пояса не связаны с эволюцией каледонской геосинклинально-складчатой структуры этой части Забайкалья и имеют более молодой возраст. В 1968 г. вышла в свет монография А. Д. Щеглова «Металлогения областей автономной активизации» [12]. Эти разработки отличаются исключительной научной смелостью. А. Д. Щеглов заявил, что, наряду с металлогенией, связанной со стандартными геосинклинальными этапами, а также с эволюцией древних платформ, существуют иные, равнозначные им по масштабам *процессы автономной тектономагматической активизации.*

По представлениям А. Д. Щеглова, области автономной активизации охватывают жесткие консолидированные сооружения складчатых систем и отдельные части платформ. Для областей автономной активизации характерна геодинамическая обстановка сводово-глыбовых дислокаций и рассредоточенного рифтогенеза, которые особенно характерны для позднемезозойского этапа геологического развития Западного Забайкалья. Они сопровождались базальтовым магматизмом повышенной щёлочности [12]. Для областей автономной активизации характерны месторождения флюорита, которые были отнесены к эпitherмальной приповерхностной рудной формации. А. Д. Щеглов по-

казал, что подобные обстановки широко проявлены в Восточном Забайкалье и Восточной Монголии, а также в Средней Азии, Юго-Восточном Китае, на западе США, в Бразилии и Восточной Африке. С автономной активизацией, кроме флюорита, связаны месторождения сурьмы, ртути, золота балецкого типа, некоторые виды месторождений олова (Хинганское), вольфрама (Барун-Шивея), свинца и цинка (Таборное и др.). На территории Западной Европы были рассмотрены месторождения урана, в том числе пятиэлементной U-Ni-Co-Bi-Ag формации [12].

Особый интерес представляла Провинция Бассейнов и Хребтов в США, где широко распространены низкотемпературные флюоритовые и урановые месторождения, а также месторождения бериллия, сурьмы, ртути, золота, локализованные в кайнозойских вулканических постройках. Базальты и риолиты отличаются высоким содержанием фтора. Это рассматривалось как признак источника фтора для флюоритовых месторождений. Южнее, в Мексике, в басс. р. Рио-Гранде устанавливается связь «приподнятой» мантии с районами развития эпitherмальной минерализации (F, Hg, Sb, Au, Ag, а также Be и U). А. Д. Щеглов высказал предположение, что источники рудного вещества одновременно находились в мантии и гранитном слое [15].

Рассматривая процессы автономной активизации, А. Д. Щеглов нередко выделял в ней два этапа. Ранний этап автономной активизации иногда труд-

но отличить или отделить от гидротермально-метасоматических процессов, связанных с поздними этапами развития геосинклинальных складчатых систем. Выдающиеся металлогенисты М. И. Ицкисон, Л. И. Красный, Е. Д. Карпова, Е. Т. Шаталов относили эту первую стадию к категории «отраженной» или «сопряженной» активизации. Поздний этап автономной активизации, как отмечено выше, развивался в консолидированных складчатых поясах и на древних платформах. А. Д. Щеглов отмечал: «Флюоритовые месторождения представляют собой совершенно особую группу эндогенных рудных образований, которые могут служить достаточно надежным признаком проявления процессов тектономагматической активизации» [13].

Подчеркнем основное содержание понятия *автономная активизация*, которое обосновано во многих работах А. Д. Щеглова:

— геодинамическая обстановка — древняя консолидированная литосфера континентального типа, пояса молодых рифтогенных впадин, признаки сокращения мощности гранитно-метаморфического слоя;

— магматизм — базальты с повышенной щелочностью, с повышенным содержанием калия, редких земель, фтора; базальт-риолитовые вулканические пояса;

— металлогеническая обстановка — своеобразный ассортимент руд — флюорит, уран, молибден, сурьма, ртуть, свинец, цинк, серебро, золото, олово, вольфрам, бериллий, цезий, рубидий, литий, железо, редкие земли, а также уголь, нефть, газ и многие другие полезные ископаемые.

Эволюция представлений о процессах активизации. В рамках плейт-тектонической концепции понятие *тектономагматическая активизация* практически не используется и иногда трактуется как устаревшее. Однако эта концепция пока не предложила эффективной методологии для регионального и локального металлогенического анализа за пределами зон субдукции, юных и зрелых островных дуг, в особенности в ранее консолидированных континентальных структурах. Слабо учитываются широко распространённые данные о том, что реальные или предполагаемые процессы конвергенции плит океанического и континентального происхождения имели место в рифее или палеозое, а процессы рудообразования были значительно позже, в раннем триасе — поздней перми, средней-поздней юре и в позднеюрско-раннемеловую эпоху (например, в Забайкалье). Процессы плюм-тектоники в пределах древних континентальных структур лишь частично могут объяснить и охватить большое разнообразие континентального рудообразования.

А. Д. Щеглов не находил в плейт-тектонике конструктивных решений для металлогении, в том числе для металлогении областей автономной активизации и нелинейной металлогении, относился к ней как к гипотезе, но отмечал: «Представления гипотезы тектоники плит имеют для современной геологии определенное значение прежде всего как широкие обобщения о развитии литосферы, трактующие различные явления геологии континентов и дна океана с единых позиций их последовательного эволюционного развития. В то же время отдельные положения этой гипотезы ведут к опасной идеализации общей картины геологического развития верхних оболочек нашей планеты, что непосред-

ственно отражается на решении практических вопросов, связанных с установлением закономерностей размещения и формирования месторождений» [15]. Однако концепция неомобилизма господствует во многих академических институтах и вузах, и многие молодые ученые не знакомы с достижениями и принципами классической металлогении. Это объективно снижает эффективность металлогенического прогнозирования. Учитывая экономическую важность металлогенических решений, автор считает, что в этой сфере недопустим «системный экстремизм», который просматривается в практике «террейнового анализа» и иных «крайних» положений мобилизма. Необходимо учитывать альтернативные предложения и решения. Имеются общие «корни» фиксизма и мобилизма, которые состоят в признании цикличности развития литосферы. Они базируются на структурно-вещественных и геохронологических данных. От них зависит также эффективность решения проблем металлогении. Например, разрушение Пангеи Вегенера охватывает самые поздние этапы эволюции Земли, начались они не позднее 250–240 млн лет и продолжаются до настоящего времени [17]. Насколько идентичной была жизнь планеты в более ранние времена, утверждать трудно, поэтому существование Пангеи-1, -2 и -3 и металлогенический эффект от этих геодинамических циклов часто представляются дискуссионными.

Можно еще отметить, что энергетические возможности Земли не безграничны и с течением времени сокращаются, особенно энергия радиоактивного распада [18].

Едва ли корректно локальные проявления, наблюдаемые в небольших террейнах, распространять на геодинамику планетарных и суперрегиональных процессов. Возможно, в практике террейнового анализа необходимо проследить не только геодинамические различия между соседними террейнами, но для металлогении более ценным было бы установление пространственно-временных связей между соседними металлогеническими зонами и провинциями. Современные изотопно-геохронологические и петролого-геохимические исследования необходимы не только для террейнового анализа, но прежде всего для целей металлогенического районирования и прогнозирования. Особенно это важно на уровне локальных рудных районов и зон.

Несмотря на «категорические» расхождения между тектоникой ультрамобилизма и фиксизма, нельзя не видеть, что реальные геологические структуры и их структурно-вещественное содержание идентичны, и только геодинамическое происхождение трактуется по-разному. Не вызывает сомнений, что все ветви геологии могут и должны в оптимальной степени «работать» на металлогению, т. е. на прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Многие процессы рудообразования трактуются с позиций плейт-тектоники, например, с позиции субдукции океанических плит под континенты, террейновой раздробленности континентальной литосферы, рудогенерирующей роли океанической литосферы, включая утверждение об уникальной рудной специализации мантии под океанической корой. Геолого-формационные, петролого-геохимические и иные критерии рудоносности оказываются несущественными.

Автор попытался показать на единой графической модели сходные или сопоставимые по

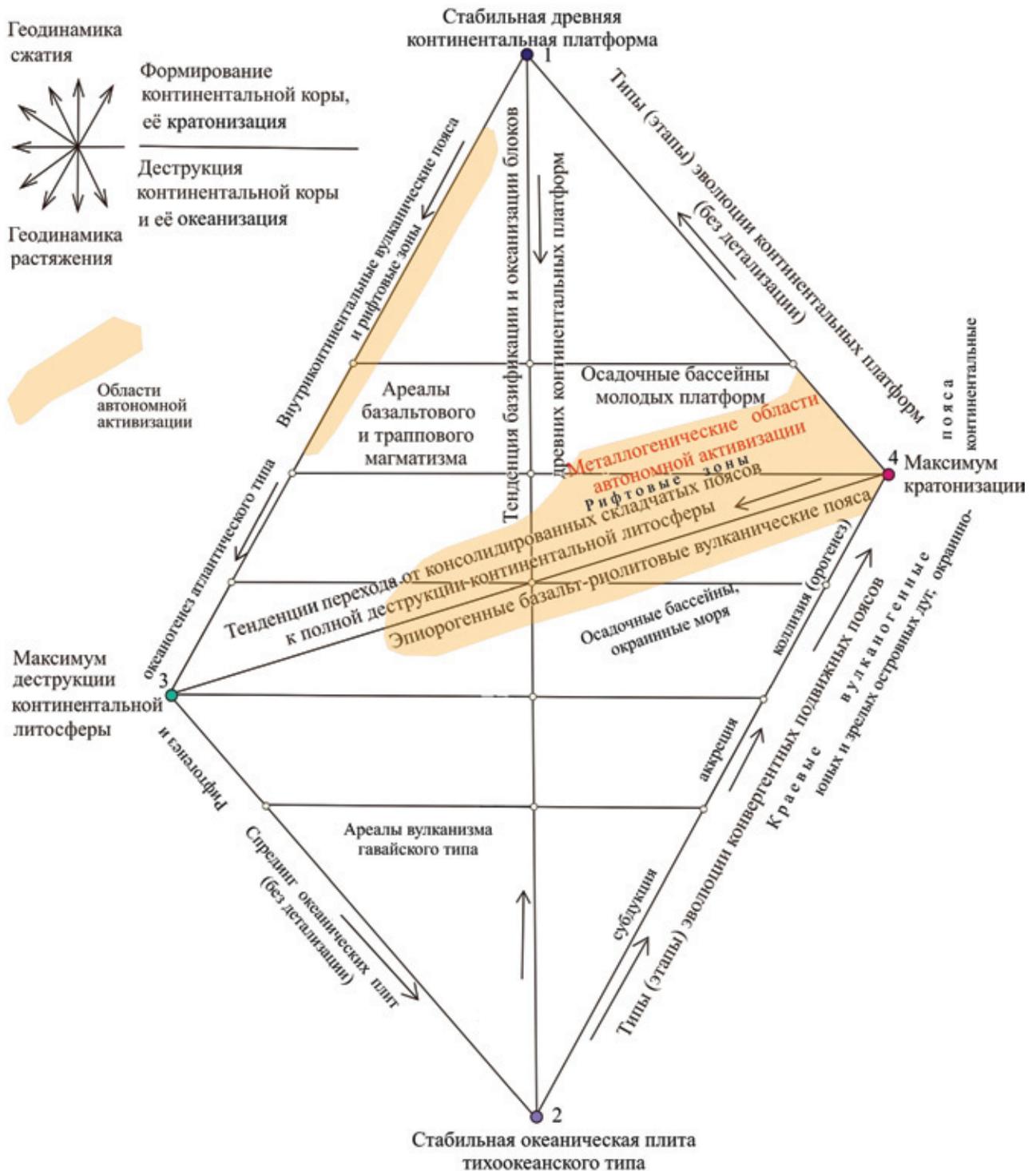


Рис. 1. Графическая модель эволюции планетарных тектонических систем с сопоставлением понятий и терминов классической тектоники и плит-тектоники

1 – стабильная континентальная платформа; 2 – стабильная океаническая плита тихоокеанского типа

геологическому содержанию элементы тектоники и металлогении в терминах *плит-тектоники* и *фиксизма*. Предлагается сводная модель геодинамического развития литосферы, созданная на основе «словесного портрета» цикла Вильсона (Wilson) [17] и работы автора [7] в виде параллелограмма (рис. 1). Каждая его сторона отражает основные этапы геологического развития: сторона 1–3 – начальную стадию распада Пангеи, т. е. рифтогенез атлантического типа; сторона 2–4 со-

ответствует конвергентному типу эволюции. Стороны 3–2 и 2–4 можно рассматривать в качестве дивергентного и конвергентного взаимодействия литосферных плит, прежде всего плит океанического и континентального происхождения. В геосинклинальном варианте 3–2 – это собственно океаническое развитие, а 2–4 – это начальные, ранние, средние и поздние этапы эволюции геосинклиналино-складчатых систем и превращение их в континентальные платформы. В тектонике плит

это основные направления в геодинамике земной коры и, возможно, верхней мантии. Сторона 4–1 отражает преимущественно эволюцию осадочного чехла континентальной платформы. Каждая сторона параллелограмма символизирует главные типы преобразования литосферы: деструкцию континентальной литосферы с образованием рифтогенных структур атлантического типа; расширение океанических структур в результате спрединга в пределах срединно-океанических хребтов и поднятий тихоокеанского типа; активное взаимодействие океанических и континентальных структур, что соответствует состоянию спрединга, аккреции и коллизии в плейт-тектонической концепции или собственно геосинклинальному развитию (ранний и средний этапы). Конечным результатом этого типа развития являются консолидированные складчато-надвиговые системы, насыщенные гранитоидными комплексами. В плейт-тектонической концепции различные виды преобразования континентальной литосферы связываются в основном с плюм-тектоникой. Образование окраинных морей и других типов осадочных бассейнов, а также ареалов риолитового и щелочно-ультраосновного магматизма нередко рассматривается как отголоски плейт-тектонического взаимодействия очень далеких конвергентных зон.

С металлогенической точки зрения, эти обстановки детально изложены в геосинклинальной концепции Ю. А. Билибина и других учёных. Каждому типу преобразования отдельных блоков литосферы соответствуют определенные магматические, осадочные и рудные формации [15].

Возвращаясь к предложенной геодинамической схеме (рис. 1), автор отмечает, что геосинклинальной или конвергентной ветви развития тектоносферы соответствует геодинамическая обстановка преимущественного сжатия, а ее деструктивной ветви — преобладающего растяжения. Полному циклу развития тектоносферы соответствуют вулканические пояса срединно-океанических хребтов, юных островных дуг (позднегеосинклинальные), зрелых островных дуг и окраин континентов (краевые эпигеосинклинальные), ареалы рассредоточенного щелочно-базальтоидного и щелочно-ультраосновного магматизма платформ, пояса и ареалы вулканизма эпиплатформенных рифтовых систем, межконтинентальных рифтовых зон и вновь срединно-океанических хребтов и поднятий.

Все это позволяет говорить о принципиальной близости геодинамической обстановки на главном (планетарном) направлении развития литосферы. Однако на этом и заканчивается сходство классической металлогении с ее плейт-тектонической модификацией. Кроме внутрикратонной плюм-тектоники и магматизма, в последней отсутствуют направления, которые способствовали эффективному прогнозированию многих видов полезных ископаемых. Это металлогения вулканических и вулканоплутонических поясов (Устиев, 1959; Лавров, 1970; Ищиксон, 1980 и др.), областей автономной активизации [12], нелинейная металлогения [14], металлогения срединных массивов [15]. Не отбрасывая некоторых полезных выводов плейт-тектоники, особенно для мезозоя и кайнозоя, целесообразно эти же территории рассматривать на основе структурно-формационного и рудно-формационного анализа с учетом новейших аналитических, геохимических, дистанционных методов.

Условно эти направления могут быть показаны на диагоналях параллелограмма. Линия, соединяющая точки состояний консолидированной складчатой области и межконтинентального рифта, соответствует процессам автономной тектономагматической активизации: внутриконтинентальному вулканизму и эпиорогенному рифтогенезу типа Провинции Бассейнов и Хребтов США, сводово-глыбовым движениям. Диагональ, соединяющая точки «вполне кратонного состояния» и рифтогенеза срединно-океанических хребтов, соответствует обстановкам «катастрофической» деструкции земной коры в результате площадных излияний траппов.

Некоторые вопросы целесообразно рассмотреть на примере Металлогенической карты Центральной Азии масштаба 1 : 2 500 000, составленной большим международным коллективом авторов [3, 19].

На карте показаны металлогенические провинции, связанные с тремя эпохами автономной активизации:

– **пермо-триасовая** ($P_2-T_{1,2}$) – Западно-Сибирская, Тургайская, Срединно-Тяньшанская (Чаткало-Кураминская), Джунгаро-Балхашская провинции;

– **позднемезозойская** (J_3-K_1) – Селенгино-Ольдойская, Керулено-Аргунская, Южно-Гобийская, Буреинско-Цзямусы-Ханкайская провинции и Северо-Китайская – Северо-Корейская и Янцзы-Южно-Корейская суперпровинции;

– **кайнозойская** (E_3-N_1) – возможно, Гиссаро-Памирская, а также находящиеся за пределами карты Провинция Бассейнов и Хребтов США и обширные ареалы базальт-риолитового вулканизма в пределах Великого Африканского рифта.

Кроме того, А. Д. Щеглов и многие другие авторы выделяли области автономной активизации более древних эпох. Уникальной радиогеохимической специализацией отличаются Аскитканская (Прибайкалье) и Улканская (Алданский щит) металлогенические области, связанные с рифейской эпохой рудообразования. Для них характерны многочисленные рудные концентрации урана, флюорита, бериллия, молибдена. К венд-раннекембрийской эпохе рудообразования относятся урановые, полиметаллические и редкометалльные месторождения Кокшетау-Улутауской, Северо-Тяньшанской и Енисей-Восточно-Саянской провинций [3, 19]. С герцинским тектогенезом ($D_{2,3}$) связываются месторождения Солнечное (уран-флюоритовый тип) и Приморское (урано-фосфорный тип) в Кузнецко-Алатау-Минусинской провинции.

Уникальные месторождения областей автономной активизации. Кроме обстоятельных региональных геологических очерков по металлогении крупных областей автономной активизации, А. Д. Щеглов весьма детально описывал месторождения полезных ископаемых, которые находились в пределах этих территорий (Забайкалье и Дальний Восток России, Чехословакия, Германия, Франция, западные штаты США, Китай и другие страны). Он особо указывал на многостадийность гидротермально-метасоматических процессов, взаимоотношения рудных залежей с дайками, зонами разломов, вертикальной и латеральной зональностью месторождений, структурами и текстурами руд. Важнейшим направлением было изучение источников рудного вещества и взаимоотношения оруденения с маг-

матическими образованиями. Признавая важное структурно-генетическое значение малых интрузий и даек, он большое внимание уделял роли вулканизма в рудообразовании, в том числе базальтоидного вулканизма.

В последние годы А. Д. Щеглова интересовали урановые месторождения Стрельцовского рудного узла, которые он относил к проявлениям автономной активизации. В этой связи и в память о его внимании к этой уникальной рудоносной структуре целесообразно привести некоторые новые данные о генезисе урановых месторождений стрельцовского типа.

Рудный узел приурочен к Тулукуевской вулканотектонической структуре (ВТС) (площадь 220 км²), состоящей из кальдеры обрушения (площадь 150 км²) и трех центров риолитового вулканизма, приуроченных к западной окраине кальдеры. Было разведано 19 месторождений урана с общими запасами около 300 тыс. т [16] (рис. 2). К категории крупных и уникальных относятся месторождения Стрельцовское, Антей, Тулукуевское, Октябрьское, Аргунское. Урановое оруденение на поверхности не проявлено. Месторождения формировались на глубинах от 400–600 до 1500 м и более. Выделяются жильные, штокверковые и пластообразные рудные залежи. Главные рудные минералы – уранинит, настуран, коффинит, браннерит. До 15–20% рудной массы иногда занимает флюорит, в том числе урансодержащий, с темно-фиолетовой окраской. Руды малосульфидные, за исключением Аргунского месторождения (рис. 3), силикатные.

Рассматриваемый рудный узел находится в пределах Аргунского срединного массива (микроконтинента) Центрально-Азиатского подвижного пояса и располагается в пределах позднемезозойского Монголо-Приаргунского вулканического пояса и одноименного уран-флюоритового рудного пояса. Характерная особенность этого массива – интенсивное проявление гранитоидного магматизма поздне-рифейского (урулюнгуийский комплекс, 805–774 млн лет), среднепалеозойского (ундинский комплекс, 300,4 млн лет) и раннемезозойского (лубиинский комплекс, 250–240 млн лет) возрастов. Значительное место занимают средне-позднерифейские метаморфизованные терригенно-карбонатные отложения (надаровская, урулюнгуийская и дырбылкейская свиты) (ГГК-1000/3, М-50, 2005 и др.).

В разрезе Тулукуевской кальдеры выделяются нижний, верхний ярусы и фундамент. Верхний ярус относится к абагайтуйскому вулканическому комплексу (К₁), а нижний – к приаргунской (J_{2,3}) свите. Для решения всего комплекса геологических проблем, касающихся геологического строения Тулукуевской кальдеры и вопросов генезиса месторождений, необходимо было резко повысить точность и воспроизводимость результатов определения возраста пород и других аналитических данных. Эти работы были выполнены во ВСЕГЕИ [8].

Подтверждено положение о том [2], что Тулукуевская кальдера как основная рудовмещающая структура Стрельцовского рудного узла формировалась длительно (около 35–30 млн лет) в интервале от 170 до 128 млн лет. Характерен также значительный перерыв (не менее 10 млн лет) между нижним и верхним комплексами кальдеры [8]. Данная структура подобна резургентным (возрожденным) депрессиям, которые выделяются на территории Провинции Бассейнов и Хребтов (США).

Выполнен значительный объем аналитических (ICP MS, ICP AES, ионметрия) и изотопно-геохронологических исследований каменного материала во время полевых работ. По единой схеме изучены породы фундамента, вулканы нижнего и верхнего ярусов, особенно вулканического очага риолитов верхнего яруса [8–10].

Выделены три фазы риолитового магматизма. Первая – извержение микрофельзитовых литоидных игнимбритов (143–141 млн лет); вторая – излияние лав, экструзий санидин-морионовых риолитов, внедрение субвулканических интрузий и кольцевой дайки гранит-порфиров и граносиенит-порфиров (137–135 млн лет); третья – проявления цезиеносных перлитов в юго-западной части кальдеры (128 млн лет). Общая длительность эволюции риолитового очага, по-видимому, не менее 12–15 млн лет. Автором совместно с Е. Н. Гушиным было открыто явление цезиеносности вулканических стекол Забайкалья [5]. Учтены результаты последующего изучения цезиеносности вулканических стекол (перлитов), относящихся к различным фазам вулканизма (Лебедева, Шаткова, 1971).

Вопрос о протолите очага всегда привлекал внимание исследователей (Строна, Павлова, Александров и др.), так как из этого следуют предположения о происхождении интенсивной радиогеохимической специализации риолитов. Этот вопрос решается нами путём сопоставления геологических и петролого-геохимических данных по гранитоидным массивам из фундамента и ближайшего обрамления Тулукуевской кальдеры с риолитами первой фазы вулканизма. Рассмотрены породы комплексов лубиинского, T₁ 250–240, ундинского, P₂ 300 и урулюнгуийского, NP 800 млн лет. Можно утверждать, что наиболее вероятным протолитом первичного очага риолитов кальдеры были граниты урулюнгуийского комплекса. Для них характерен глубокий минимум Eu/Eu*, сходство состава петrogenных и малых элементов, четкие признаки специализации на U, Th, Rb, дефицит Ca, Mg, Sr, Ba. Граниты широко распространены в пределах Аргунского микроконтинента, где они слагают крупные батолиты гранитов типа S (Шатков, 2009).

Риолиты первой фазы вулканизма имеют состав, близкий к эвтектике, и характеризуются высокой степенью однородности состава по разрезу (мощность до 500 м) и латерали, занимая около 50% площади кальдеры (около 100 км²). Этот мощный покров гетеролитовых игнимбритов имеет реликтовую пепловую структуру в подошве и кровле. Однако большая часть покрова подверглась микрокристаллизации (фельзитизации), и только обилие литофиз напминает о происхождении этой породы, которую принято называть фельзитами. Учитывая тот факт, что фельзиты существенно эродированы, авторы оценивают первичный объём этих пород в 50–100 км³ [4, 5].

Кроме ультракислого (77,2% SiO₂) и субщелочного (4,90% K₂O, 3% Na₂O) состава, для фельзитов характерна исключительная особенность кальцием и магнием (CaO 0,2–0,3 и MgO < 0,05%) при относительно повышенном содержании железа (Fe₂O₃зобц 1,2–1,7%). Вулканические стекла из основания игнимбритовой толщи отличаются повышенной обводненностью (п.п.п. до 4,7%) и несколько пониженным содержанием кремнезёма (SiO₂ 73–74%) и калия (K₂O 4%). Фельзиты обогащены Th, Rb, Nb, Sn, Pb и резко обеднены Sr, Ba. Горизонт перлитов

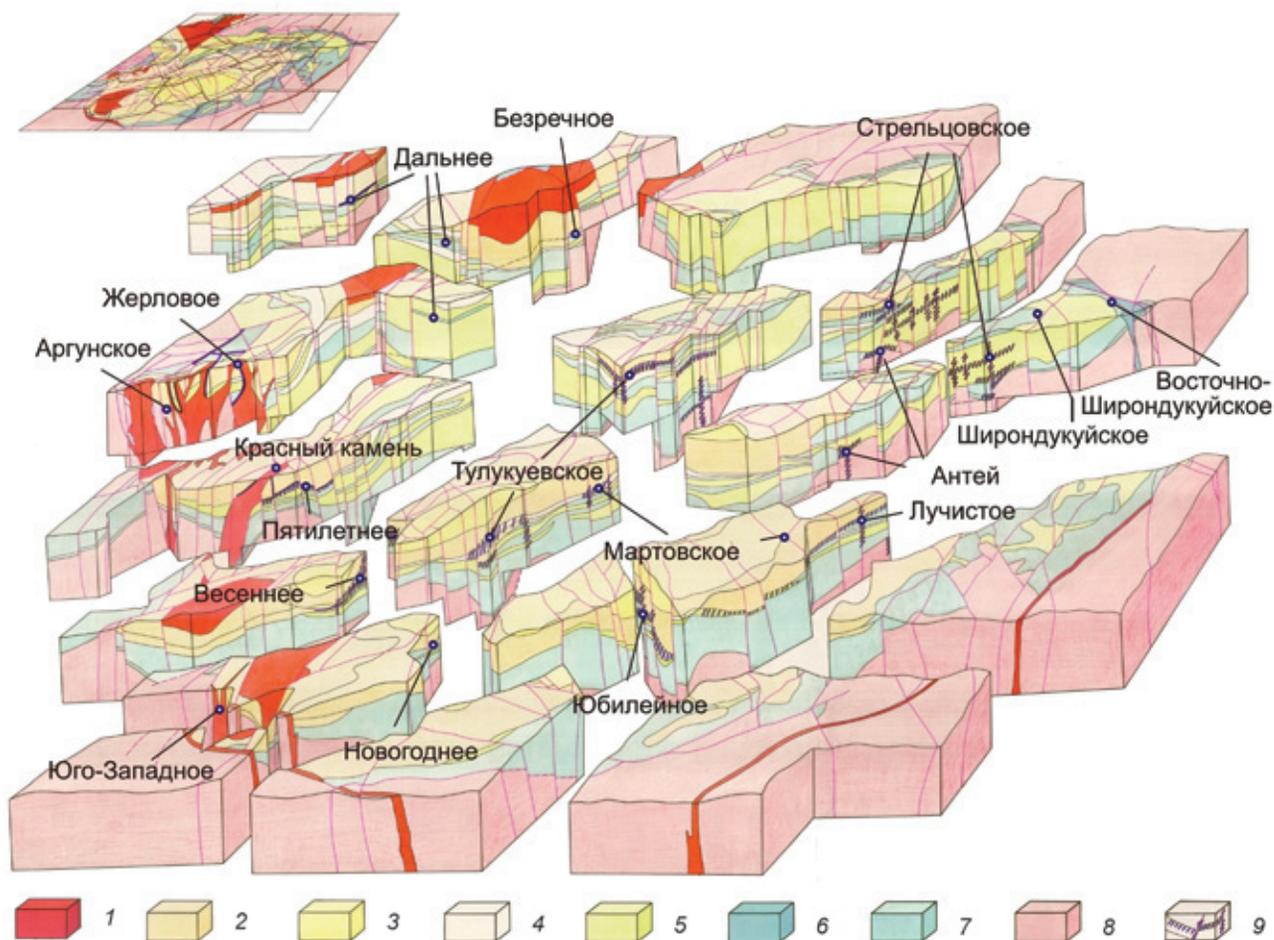


Рис. 2. Блок-диаграмма Тулукуевской кальдеры (Стрельцовский рудный узел). Геологическая позиция урановых месторождений

1 – дайки и экструзии гранит-порфиров, риолитов; 2, 3 – литоидные игнимбриты (2 – покров II, 3 – покров I); 4 – горизонты туфогенно-осадочных пород; 5 – покровы трахидацитов; 6 – щелочные оливиновые базальты; 7 – покровы субщелочных базальтов и андезибазальтов; 8 – гранитоидный фундамент кальдеры; 9 – рудные залежи

в основании покрова игнимбритов отличается от фельзитов более высокими концентрациями U, Mo, Be, Cs, F. Вынос этих элементов в связи с фельзитизацией рассматривается как один из источников рудного вещества на месторождениях урана [4, 6]. Исходя из диаметра Тулукуевской кальдеры (около 12 км), можно предполагать (Гуревич, 2010), что верхняя кромка очага риолитов перед извержением игнимбритов находилась на глубине 4–6 км от поверхности того времени.

Продолжительность существования магматического очага второй фазы вулканизма не менее 5 млн лет [8]. Риолиты второй фазы имели такой же состав, как и фельзиты, включая элементы-примеси. Однако после извержения громадного объема игнимбритов произошло дробление и обрушение гранитного фундамента между проседающей кальдерой и верхней частью остаточного магматического очага. В него поступали трещинные термальные воды из окружающей среды, которые могли влиять на процессы кристаллизационной дифференциации и ликвации в остаточном расплаве. На некоторых глубинах формировались дайки и штоки гранит-порфиров и граносиенит-порфиров, состав и возраст которых идентичен излившимся и субвулканическим образованиям. Одновременно Тулукуевская кальдера находилась в сфере влияния мантийного

плюма (рис. 4), с которым были связаны многократные излияния покровов базальтов [8]. Поэтому риолитовый очаг неизбежно должен был испытывать значительные преобразования. Вероятно, и тепловое воздействие, и приток эндогенных флюидов, прежде всего фтора [9]. Сложный комплекс взаимодействия с окружающей средой отразился на особенностях кристаллизационной дифференциации и ликвации расплава риолитов. Для него характерны интенсивные процессы кристаллизации щелочных полевых шпатов, содержание которых в риолитах и трахириолитах до 25–30%. Это приводило к резкому сокращению содержаний щелочей в остаточном расплаве и создавало благоприятные условия для образования летучих соединений фтора с кремнеземом и водой.

Возможно, большая часть остаточного расплава подверглась дальнейшему охлаждению и осталась на глубине. Возможно, она проходила стадию условно пегматоидного расплава и далее сложного флюид-расплава или раствора с температурой от 600° до пневматолито-гидротермального состояния.

Вопреки утверждению Л. И. Когарко и Л. Д. Кригман (1981) о том, что фтор в расплавах тесно связан со щелочами, в данном случае расплав был насыщен фтором, кремнеземом и водой, и в этом случае равновесие $2\text{Na}_2\text{O} + \text{SiF}_4 \leftarrow 4\text{NaF} + \text{SiO}_2$

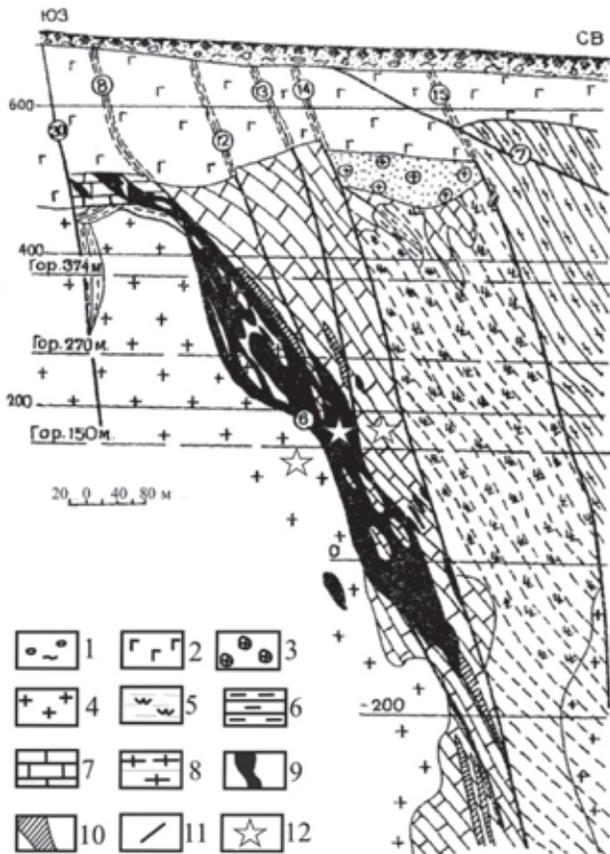


Рис. 3. Геологический разрез рудной залежи № 1 Аргунско-го месторождения (Л. П. Ишукова, 2007) с изменениями автора

1 – наносы; 2 – базальты нижнего покрова; 3 – базальные конгломераты; 4 – гнейсовидные граниты; 5 – амфиболиты; 6 – кварцевослюдистые сланцы; 7 – доломитизированные известняки; 8 – гнейсо-граниты мелкозернистые; 9 – урановые залежи с флюоритом; 10 – молибденовые залежи; 11 – крутопадающие зоны трещиноватости; 12 – принципиальная позиция исследованных образцов каменного материала

смещалось влево. О наличии свободного кислорода в риолитовом расплаве также сообщает Алешин (2005). Все это создавало обстановку для образования фторида уранила и накопления этого соединения в надкритических водных растворах [10].

Можно утверждать, что источником рудного вещества в урановых месторождениях Стрельцовского рудного узла был риолитовый очаг, и эти месторождения можно отнести к категории магматогенных.

Рудообразование проходило в две стадии. Ранняя (140 млн лет) была связана в основном с ураноносными растворами, которые возникли в результате выноса мобильного урана в связи с фельзитизацией игнимбритов. Механизм был обоснован в 1970 г. [6]. Вторая, главная стадия рудообразования (135 млн лет) связана с кристаллизационной и эманационной дифференциацией остаточного очага риолитов и образованием уранилфторидов в связи с наличием мобильного фтора и свободного кислорода из термальных растворов гипергенного происхождения [4, 6, 8, 10].

Концепция (ВИМС, ИГЕМ, ГЕОХИ и др.) о мобилизации урана гидротермальными растворами из вмещающих пород, прежде всего из гранитов фундамента, не могла привести к богатым урановым

концентрациям и может рассматриваться только как дополнительная к уранилфторидной. Были и другие версии об источниках рудного вещества, которые не подтверждаются геологическими и геохимическими данными. Однако общеизвестной и господствующей в данный момент остается модель И. С. Модникова и Г. Б. Наумова о мобилизации урана из гранитов фундамента Тулукуевской кальдеры [2].

В процессе работы по международному проекту «Атлас геологических карт Центральной Азии» и благодаря помощи Центральной лаборатории и ЦИИ ВСЕГЕИ получены или уточнены новые данные, подтверждающие модель автора.

1. Региональная геотектоническая и геодинамическая обстановка: Аргунский срединный массив, специализированные гранитоидные формации, позднемезозойская тектономагматическая активизация, Монголо-Приаргунский базальт-риолитовый пояс (J_3-K_1), геодинамика рассредоточенного рифтогенеза типа Провинции Бассейнов и Хребтов, Монголо-Приаргунский флюоритовый пояс.

2. Состав, строение и этапы эволюции Тулукуевской кальдеры: протолит, горячая точка, резургентный тип вулканической постройки, кальдерная стадия развития, интенсивная геохимическая специализация очага риолитов, пространственно-временное совмещение урановой и флюоритовой минерализации.

3. Элементы структурного контроля, признаки многоэтапной концентрации урана в остаточном расплаве, явления выноса урана при фельзитизации в приповерхностной обстановке и кристаллизационной дифференциации.

4. Флюорит как возможный и эффективный индикатор рудоформирующих процессов. Этот минерал может играть роль первичного ореола рассеивания и прямого признака рудоформирующего процесса, поскольку он надежно аккумулирует все аномальные концентрации любых элементов, которые содержатся в гидротермальном растворе в момент образования минеральной формы – кристаллов флюорита (таблица).

5. Уранилфториды – главный источник и коллектор урана для месторождений и важнейший источник для образования богатых урановых руд.

Локальный прогноз крупных и уникальных месторождений с богатыми рудами – главная задача региональной металлогении на современном этапе. Необходимы дальнейшие геолого-прогнозные исследования с использованием изотопно-геохимических и современных геохронологических методов для выяснения природы или происхождения уникальных месторождений. Эти исследования должны прийти на смену традиционным методикам прогнозирования и поисков месторождений, которые возобновляются в одних и тех же структурах и не дают практических результатов. Целесообразно преодолеть существующие представления о том, что уникальные рудные объекты невозможно прогнозировать, например, балецкий тип золота, стрельцовский тип урана, дукатский тип золото-серебряного оруденения и др. Необходимы геолого-геохимические решения проблем источников рудного вещества. Например, исследование уникального комплекса золото-медно-порфировых месторождений Ою-Толгой могут дать дополнитель-

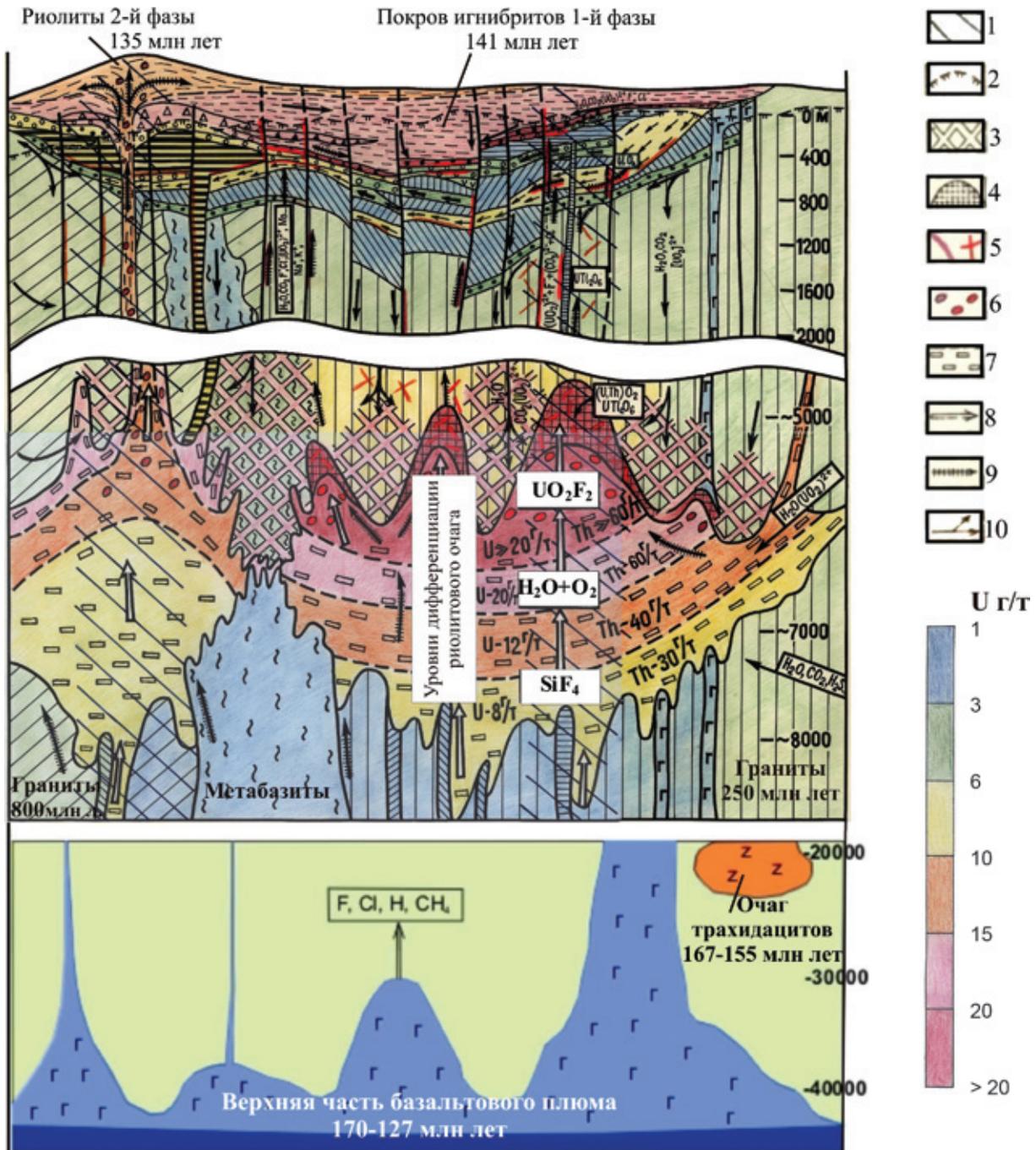


Рис. 4. Геолого-геохимическая модель образования Стрельцовского рудного узла

1 – проекция зон интенсивного разуплотнения пород фундамента [2]; 2 – современная эрозионная поверхность; 3 – предполагаемые участки обрушения кровли магматического очага после извержения игнибритов; 4 – контактово-метасоматические образования в апикальных частях очага риолитов; 5 – предполагаемые локальные концентрации; 6 – газоводящие обособления уранилфторидов; 7 – проявления интрателлурической кристаллизации в магматическом очаге; 8–10 – гипотетические пути движения флюидов и растворов (8 – эндогенных, 9 – смешанных, 10 – экзогенных)

ные сведения о своеобразии источников рудного вещества этого типа месторождений.

Геохимические и геохронологические сведения о гетерогенности вещества литосферы, необычные процессы дифференциации магматических очагов, взаимодействие мантийных, коровых и гипергенных обстановок – эти и другие нестандартные причины концентрации рудного вещества целесообразно учитывать при изучении уникальных рудных объектов. В отдельных случаях это может дать положительные результаты.

Целесообразно уделять особое внимание проблеме глубинности и вертикального размаха зон рудоотложения. Можно упомянуть об уникальной эволюции взглядов на генезис Стрельцовского рудного узла: от версии приповерхностного низкотемпературного оруденения до реальных обстановок с амплитудой рудных залежей до 1000 м и более по вертикали и вероятной температурой рудообразования от 450 до 150 °С. Не исключено, что могут быть обнаружены более глубокие рудные залежи.

**Состав петрогенных, редкоземельных и других элементов-примесей
во флюоритах, урановой руде и околорудных вмещающих породах**

Элементы	Флюориты урансодержащие (Стрельцовское и Аргунское м-ния)				Флюориты безурановые (Гозогорское, Урулюнгуй м-ния)			Урановая руда и околорудные метасоматиты Аргунского м-ния		
	Номера проб									
	3217-в	С-388в-1	С-407а	С-407б	С-1/08	С-1а/08	С-423	С-405	С-388в	С-409
SiO ₂ %	7,21	13	13,8	7,79	4,21	35,8	7,99	11,2	3,72	66,1
TiO ₂	0,04	0,0039	<0,01	<0,01	0,0052	0,016	<0,01	<0,01	0,016	0,61
Al ₂ O ₃	0,33	0,058	0,2	0,13	<0,002	0,74	0,3	0,1	0,21	15,1
Fe ₂ O ₃			<0,3	0,58			1,01	<0,3		0,66
FeO			0,92	<0,25			<0,25	1,48		2,15
Fe ₂ O ₃ общ	1,73	0,91	1,21	0,75	0,26	1,32	1,18	1,64	1,35	3,05
MnO	0,051	0,0069	0,033	0,034	0,0026	0,013	0,033	0,085	0,076	0,075
MgO	0,44	0,028	<0,05	<0,05	0,019	0,076	<0,05	15,5	17	1,53
CaO	69,6	67,7	63,3	69,4	74,1	29,2	69	30,8	42,2	2,63
Na ₂ O	0,031	0,02	<0,1	<0,1	0,045	0,039	<0,1	<0,1	0,02	<0,1
K ₂ O	0,11	0,054	0,062	0,061	0,036	0,096	0,11	0,024	0,098	4,1
P ₂ O ₅	0,038	0,036	0,051	<0,05	0,046	0,14	0,058	0,068	0,044	0,12
п.п.п.			1,55	1,41			1,44	40,1		6,04
Сумма	79,58	81,82	80,30	79,50	78,72	67,44	80,20	99,50	64,73	99,40
La, г/т	3,32	0,53	0,38	0,71	5,5	3,96	6,69	1,2	2,14	55,3
Ce	7,58	1,21	0,77	1,61	13,2	6,41	12,2	2,31	3,83	106
Pr	1,2	0,21	0,14	0,26	2,05	0,89	1,87	0,24	0,43	10,7
Nd	5,96	1	0,67	1,02	9,16	3,21	6,68	1,14	1,56	31,1
Sm	2,79	0,75	0,52	0,63	2,97	0,68	2,02	0,28	0,48	5,42
Eu	1,6	0,48	0,24	0,32	0,84	0,17	0,71	0,084	0,11	0,63
Gd	3,65	2,15	1,49	1,24	3,85	0,78	2,68	0,3	0,45	4,85
Tb	0,51	0,55	0,28	0,23	0,78	0,16	0,73	0,067	0,097	0,75
Dy	2,48	3,8	1,74	1,27	5,21	1,03	5,91	0,52	0,48	4,52
Ho	0,44	0,79	0,39	0,31	1,04	0,21	1,42	0,13	0,11	0,97
Er	0,99	2,3	1,1	0,82	2,66	0,55	4,68	0,39	0,4	3,19
Tm	0,11	0,3	0,13	0,13	0,34	0,076	0,84	0,047	0,055	0,54
Yb	0,77	1,79	0,86	0,74	1,67	0,4	5,74	0,31	0,35	3,52
Lu	0,12	0,26	0,12	0,1	0,21	0,072	0,77	0,044	0,052	0,51
Zr	14,9	6,83	8,81	5,17	23,3	7,61	3,56	174	9,81	361
Be	3,37	4,22	2,26	<1	2,53	5,48	1,42	1,4	<1	61,9
Rb	6,45	<2	<2	<2	<2	6,63	2,22	<2	6,3	281
Sr	827	286	212	295	173	90,7	114	191	123	380
Ba	72,3	28,2	17,2	13,1	10,3	106	20,8	55,7	6,9	277
Cs	1,82	1,01	1,26	0,86	0,29	4,46	0,27	0,4	1,12	36,2
Pb	41,3	1,74	2,26	1,46	46	9,59	3,09	157	24,8	28,2
Y	20,2	42,3	22,7	12,5	37,6	9,43	52,6	5,83	4,66	31,8
Hf	0,32	0,17	0,41	0,13	0,59	0,27	0,25	1,57	0,25	9,87
Nb	2,4	0,58	1,5	1,8	0,76	0,82	1,26	7,54	1,28	67,7
Ta	0,17	0,11	0,18	0,61	0,22	0,1	0,28	<0,1	0,1	4,21
Th	0,74	0,27	0,21	0,16	0,42	0,52	4,72	0,17	0,27	43,3
U	813	244	34	268	0,61	1,77	0,92	6310	15,3	31,6
Ni	8,2	2,71	<1	<1	2,2	4,73	<1	1,95	5,25	6,25
Co	3,15	<1	<1	<1	<1	1,58	<1	<1	1,26	8,63
V	27,8	8,15	12,1	12,9	7,09	10,7	13,1	38,9	9,72	39,4
Cr	21,8	15,1	13,6	13,4	13,7	16,9	12,9	16,3	16,8	22,5
Sc			2,88	2,76			2,43	3,25		3,71
Mo	5,55	80,5	12,7	46,6	<1,0	1,16	1,42	352	6,62	7,64
Sn	2	1,06	1,29	0,6	4,99	5,52	0,54	0,68	4,08	9,42
Sb	5,06	2,4	3,92	4,8	5,07	9,06	0,46	17,5	5,42	7,39
W	6,15	1,7	0,8	1,17	1,99	1,31	3,45	47,6	1,99	11,8
Cu	39,8	18,2	23,2	7,39	79,4	105	5,66	14,3	44,5	18,4
Ag	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1
Bi	<5	<5	7,08	7,28	<5	<5	5,93	<5	<5	<5
Zn	30,9	19,1	10,7	12,4	12,9	33,3	8,11	128	591	61,1
Li	15,5	45,9	54	24,8	18,3	320	11,4	8,88	9,88	891
F, %	36,76	36,50	30,54	41,88	42,73	17,03	37,60	0,02	11,58	0,21
Cl	0,03	0,10			0,02	0,02			0,07	
S	0,16	0,03			<0,005	0,01			0,45	
С _{общ}	0,76	0,07			0,03	0,18		11,70	9,17	0,77
С _{карб}								10,40		0,68

Металлогеническая концепция Ю. А. Билибина – ВСЕГЕИ [1], получившая широкое признание в стране, внедрявшаяся с целью эффективного прогнозирования различных видов полезных ископаемых, во многих регионах не давала положительных результатов. Металлогения *автономной активизации* и *нелинейная металлогения* создавались А. Д. Щегловым как необходимые элементы совершенствования металлогенического анализа и повышения надежности металлогенических прогнозов. Эти направления более полно учитывают своеобразие геодинамических обстановок, гетерогенность состава и состояния подкоровых глубин, телескопированность процессов, ведущих к образованию уникальных месторождений, и мн. др. факторы. Именно поэтому в настоящее время следует учитывать, что, наряду с металлогенией Билибина и модификациями металлогении на основе плейт-тектоники, на планете Земля существуют иные, равнозначные им по масштабам металлогенические процессы, в том числе *процессы автономной тектономагматической активизации* и *нелинейной металлогении*.

1. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. – М.: Госгеолтехиздат, 1955. – 88 с.
2. Иицуква Л.П., Игошин Ю.А., Авдеев Б.В. и др. Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. – М.: Геоинформмарк, 1998. – 526 с.
3. Региональная металлогения Центральной Азии / Гл. ред. О.В. Петров, Дун Шувен. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 248 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 353).
4. Шаткова Л.Н., Шатков Г.А. О возможном источнике рудного вещества урано-флюоритовых месторождений // Геология рудных м-ний. 1973. № 4. – С. 36–43.
5. Шатков Г.А., Гуцин Е.Н. О высоких содержаниях цезия в кислых вулканических стеклах // Геохимия. 1969. № 12. – С. 1510–1513.

6. Шатков Г.А., Шаткова Л.Н., Гуцин Е.Н. О распределении урана, тория, фтора, хлора, молибдена и ниобия в липаритах и кислых вулканических стеклах // Зап. ВМО. 1970. Ч. 99. № 2. – С. 165–177.
7. Шатков Г.А. Графическая модель эволюции планетарных геологических и металлогенических систем // Сов. геология. 1984. № 12. – С. 72–81.
8. Шатков Г.А., Бережная Н.Г., Лепехина Е.Н. и др. U–Pb (SIMS SHRIMP II) возраст вулканических образований Тулукуевской кальдеры (Стрельцовский урановорудный узел, Восточное Забайкалье) // Докл. РАН. 2010. Т. 432. № 3. – С. 360–364.
9. Шатков Г.А., Бутаков П.М. Редкие земли как индикаторы генезиса флюоритовых и флюоритсодержащих месторождений Забайкалья // Регион. геология и металлогения. 2011. № 46. – С. 67–84.
10. Шатков Г.А., Бутаков П.М. Признаки участия уранилфторидов в формировании богатых урановых руд месторождений стрельцовского типа, Восточное Забайкалье // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 6. – С. 696–700.
11. Щеглов А.Д. О рудных поясах Западного Забайкалья // ДАН СССР. 1962. Т. 147. № 1. – С. 199–202.
12. Щеглов А.Д. Металлогения областей автономной активизации. – Л.: Недра, 1968. – 180 с.
13. Щеглов А.Д. Флюоритовые месторождения – индикаторы процессов тектономагматической активизации // ДАН СССР. 1969. Т. 188. № 2 – С. 421–423.
14. Щеглов А.Д., Говоров И.Н. Нелинейная металлогения и глубины Земли. – М.: Наука, 1985. – 324 с.
15. Щеглов А.Д. Основные проблемы металлогении. Избранные труды. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. – 359 с.
16. Шукин С.И. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы Стрельцовского рудного поля // Горный журнал. 2008. № 8. – С. 24–27.
17. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. – М.: Научный мир, 2009. – 520 с.
18. Taylor S.R. Mc.Lennan S.M. The geochemical evolution of the continental crust // Rev. Geophys. 1995. Vol. 33. – P. 241–265.
19. Metallogenic map of Central Asia and adjacent areas. Scale 1 : 2,500,000 / Author's international collective. – SPb.: VSEGEI Cartographic Factory, 2008.

Шатков Георгий Афанасьевич – доктор геол.-минер наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <georgy_shatkov@vsegei.ru>