

УДК: 929 : 553.07 / DOI 10.31343/1029–7812–17–1–12–21

**А.В. Ткачев, С.В. Черкасов**

Государственный геологический музей  
им. В.И. Вернадского РАН

## **МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГГМ РАН ПОД РУКОВОДСТВОМ АКАДЕМИКА Д.В. РУНДКВИСТА: ОТ БАЗЫ ДАННЫХ КРУПНЫХ И СУПЕРКРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ К СРАВНИТЕЛЬНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ**

Дмитрий Васильевич Рундквист работал в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН) с 1993 по 2021 г. Несмотря на большую загруженность административной и организационной работой в Академии наук и музее, он всегда находил время для научных исследований. Они затрагивали разные области геологических знаний, но металлогенические проблемы всегда были приоритетными. Статья содержит обзор металлогенических исследований, выполненных в ГГМ РАН под руководством Д.В. Рундквиста.

*Ключевые слова:* Дмитрий Васильевич Рундквист, металлогения, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, крупные и сверхкрупные рудные месторождения, история геологии.

Dmitry Vasilievich Rundqvist worked in the Vernadsky State Geological Museum RAS (SGM RAS) from 1993 to 2021. Despite of being overloaded with administrative and organizational work at the Academy of Sciences and the Museum, he always found time for scientific research. They touched on different areas of geological knowledge, but metallogenic problems were always priority among them. The article contains a review of the metallogenic studies carried out at the SGM RAS under the guidance of D.V. Rundqvist.

*Key words:* Dmitry Vasilievich Rundqvist, metallogeny, Vernadsky State Geological Museum of RAS, large and superlarge mineral deposits, history of geology.

Дмитрий Васильевич Рундквист возглавил Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского (ГГМ) РАН в июне 1993 г. вскоре после

переезда из Санкт–Петербурга в Москву. К этому моменту он уже был маститым ученым, бесспорным лидером отечественной металлогенической науки, многие годы проработавшим во ВСЕГЕИ и ИГГД РАН. Его работы были широко известны в среде профессионалов не только в России и СНГ, но и в мире. Опубликованные им или при его участии статьи, книги, карты, отражавшие результаты исследований геологии и минералогии месторождений редких и цветных металлов грейзенового типа, рудно–формационного анализа складчатых поясов Урала, Казахстана, Сибири, Дальнего Востока, металлогенического районирования и прогнозной оценки территории СССР на широкий спектр полезных ископаемых, стадийности металлогенической эволюции складчатых поясов, специфики металлогении докембрия и общей эволюции глобальной металлогении в геологической истории Земли были широко известны, активно использовались как научными работниками, так и геологами–практиками.

В 90–х г.г. XX в. Д.В. Рундквист и как крупный ученый, и как директор музея, и как заместитель, а затем – академик–секретарь Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук (ОГГГН, в настоящее время – ОНЗ) РАН был глубоко вовлечен в процесс спасения отечественной геологической науки в период общего кризиса в стране в постперестроечный период. Забот организационного плана было очень много. Помимо огромной загруженности работой в административных органах РАН, на нем лежали все заботы по стабильной деятельности музея, находившегося тогда в стадии своего становления.

Прежде всего, было необходимо заниматься администрированием общей хозяйственно–финансовой деятельности музея, организовывать работы по капитальному ремонту здания, искать и привлекать для этого спонсоров, курировать работы по созданию экспозиций музея и увеличению коллекционного фонда attraktivными, зрелищными образцами. В тот период в свете стоявших перед музеем задач, были проведены изменения в структуре ГГМ РАН, в частности, был создан отдел геотехнологических технологий – одно из первых научных подразделений такого профиля в системе РАН. Отдел очень быстро завоевал авторитет, как

в России, так и за рубежом, особенно после представления на международных геологических форумах результатов таких проектов как «Геодинамический глобус мира» и «Атлас докембрийской металлогенической зональности мира» (Рундквист и др., 2002; World..., 2002). Этот отдел сыграл важную роль в развитии научных работ в ГГМ РАН.

Даже в этот очень сложный период Д.В. Рундквист находил силы и время для организации и руководства научными исследованиями в музее. Это были работы разных направлений: ГИС–технологии в геологии, сейсмотектоника, геодинамика, геофизика и, конечно, металлогения. Именно последнему направлению научных работ, которыми руководил Д.В. Рундквист, посвящена данная статья.

Немного об идейной подоплеке выбранного для них направлении. В конце XX в. получила широкое мировое признание концепция необходимости перехода к новой модели глобального социально–экономического развития, получившая название «Концепция устойчивого развития». Ее цель – гармонизировать в глобальном масштабе экономический рост, получение социальных благ и экологическое равновесие, чтобы минимизировать любой ущерб, как природе, так и социуму, и обеспечить лучшие условия жизни будущих поколений, как в экологических, так и в социальных аспектах.

Идея вызвала достаточно большой резонанс среди ученых в области геологических, горных и экономических наук. Были организованы международные программы исследований, конференции, специальные секции международных конгрессов и т.п., в работе которых активное участие принимал и Д.В. Рундквист. По мнению большинства специалистов в мире, максимальный интегральный эффект для практической реализации этой концепции со стороны минерально–сырьевой базы должны обеспечить крупные и суперкрупные месторождения, т.к. при относительной немногочисленности они сосредотачивают большую часть мировых ресурсов важнейших видов минерального сырья (от 65 до 90% для разных их видов) и позволяют планировать объемы добычи, обеспечивающие всю мировую экономику на долгую перспективу. При этом негативный эффект от их эксплуатации

(воздействие на окружающую среду) локализован в относительно небольшом количестве мест. В ходе проведенных работ и их обсуждения выяснилось, что существует много информации по отдельным крупным месторождениям, но систематизированной сводки глобальных данных на данную тему нет в принципе. Оказалось невозможным достоверно устанавливать и анализировать какие–либо закономерности металлогении таких объектов, особенно – на глобальном уровне.

Поэтому на рубеже XX и XXI вв. в рамках проектов под эгидой Международного союза геологических наук (IUGS), а затем – Международной комиссии по геологической карте мира (CGMW) при ЮНЕСКО начались работы по созданию Базы данных крупных и суперкрупных месторождений мира (БД КСКМ) и ее визуализированной версии в виде карты масштаба 1:25 000 000. С 2003 г. эти работы продолжались и в рамках программ фундаментальных исследований Отделения наук о Земле (ОНЗ) РАН и Президиума РАН, посвященных изучению геологии, металлогении и технологий переработки руд крупных и суперкрупных месторождений. Эти программы были инициированы и координировались Д.В.Рундквистом.

На разных этапах в сборе информации для базы данных в той или иной степени принимали участие и зарубежные, и отечественные геологи, но весь объем работ по разработке структуры БД КСКМ, ее интерфейса, критериев отбора и формализации информации, разработки легенд для карт и ГИС–проектов был выполнен специалистами ГГМ РАН под руководством Д.В.Рундквиста. Разработанные еще в 1999 г. структура и интерфейс БД КСКМ (Rundqvist et al., 1999) впоследствии претерпели лишь очень небольшие частные изменения.

К середине 2004 г. БД КСКМ содержала сведения о более чем 1000 объектах, что позволило создать первую версию «Металлогенической карты крупных и суперкрупных месторождений мира» на оригинальной геотектонической основе и с оригинальной металлогенической легендой (Рундквист и др., 2004<sub>1</sub>). Впервые она была представлена на XXXII сессии Международного геологического конгресса во Флоренции (август 2004 г.), где получила позитивные отзывы и рекомендации для дальнейшего развития проекта.

В соответствии с передовыми веяниями того времени картографическое направление работ в дальнейшем развивалось в виде электронного ГИС–проекта. Сотрудничество ГГМ РАН, Российско–французской металлогенической лаборатории и Геологической службы Франции (BRGM) привело к созданию CD–ROM «Largest mineral deposits of the world» (Largest..., 2006), содержавшего сведения о 1244 месторождениях, а также несколько картографических слоев геологического и географического содержания, инструменты поиска и селекции. Данный продукт был одобрен CGMW и выпущен под его эгидой.

Следующим шагом стало создание в сети Интернет общедоступного Web–ГИС приложения на сайте ГГМ РАН, которое в настоящее время содержит информацию о 2194 крупнейших месторождениях мира по 33 важнейшим видам минерального сырья: Au, Ag, Ni, PGE, Pb, Zn, Cu, Co, Hg, Sb, Sn, W, Mo, Li, Be, Cs, Ta, Nb, Zr, TR, Fe, Mn, Cr, Ti, V, Al, U, B, F, P, листовые слюды, калийные соли, алмазы. В приложении организованы поиск, селекция, фильтрация, первичная математическая обработка, а также возможность использования сервисных слоев на локальных удаленных компьютерах в режиме онлайн (Ткачев и др., 2015; Ткачев и др., 2019). К сожалению, с 2023 г. доступ к проекту прекращен из–за проблем с продлением лицензии на программные продукты ESRI.

Параллельно со сбором информации о месторождениях проводилась и аналитическая обработка собранных данных по месторождениям. Это направление работ было особенно интенсифицировано после того, как количество записей в БД КСКМ приблизилось к первой тысяче, т.е. когда она стала достаточно представительной для получения статистически значимых результатов. В частности, на этом этапе было проанализировано пространственное распределение КСКМ разных типов в глобальном масштабе по современным континентам и типам геотектонических структур, а также определено значение разных геологических эпох в сырьевом балансе КСКМ и интенсивность формирования КСКМ (млн лет<sup>-1</sup>) в разные эпохи (Рундквист и др., 2004<sub>2</sub>; Рундквист и др., 2006; Ткачев, Рундквист, 2009). Таким образом впервые были получены и систематизированы объектив–

ные данные глобального масштаба по этим вопросам. Среди результатов были и очень неожиданные. Например, выяснилось, что имеет место общее увеличение количества месторождений большинства типов от древнейших эпох к наиболее молодым. Однако имело место исключение в мезопротерозое и неопротерозое, в течение которых глобальная продуктивность почти всех типов месторождения резко снижалась, особенно резко – в мезопротерозое (рис. 1, стр. 18). До наших исследований это никем не отмечалось.

Также было проанализировано распределение ресурсов по отдельным видам сырья по всем типам их месторождений. Кроме золота, до нас такую работу на основе столь достоверных геохронологических и ресурсных данных еще не делал никто. В результате была установлена одна общая черта для всех видов минерального сырья, представленных в БД КСКМ: неравномерность и прерывистость аккумуляции в земной коре крупных и суперкрупных концентраций полезных ископаемых в геологическом времени (рис. 2).

Все это было новым, и вызывало у специалистов большой интерес. По заказу ВСЕГЕИ по теме наших исследований был даже написан специальный раздел в энциклопедический справочник для специалистов (Рундквист и др., 2008).

Такой статистический подход давал много новой интересной информации, но без сопоставления с данными по изменчивости геологических процессов не обеспечивал понимания причинно–следственных связей с эволюцией геологических обстановок на Земле в планетарном масштабе. Поэтому после 2008 г. коллектив под руководством Д.В. Рундквиста, продолжая накапливать и уточнять информационную базу по месторождениям, сместил акцент исследований на поиски взаимосвязей уже выявленных и вновь выявляемых закономерностей с эволюционными особенностями геологической истории.

В частности, были проанализированы данные по металлогении осадочных бассейнов. Рубежи в начале палеопротерозоя и в середине неопротерозоя оказались переломными в металлогении полиметаллов, железа, фосфора и урана.

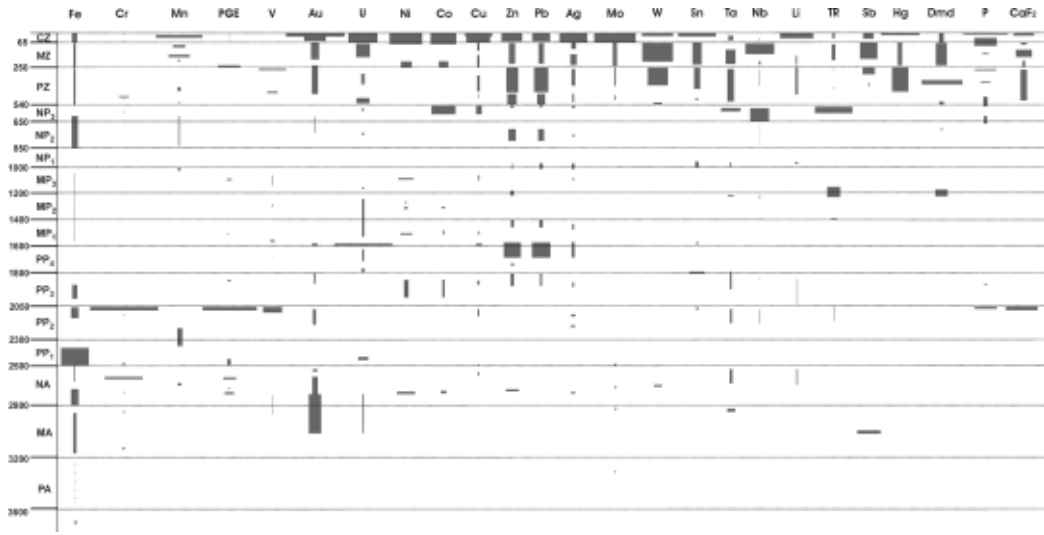


Рис. 2. Эпохи накопления важнейших видов минерального сырья. Размер прямоугольников вдоль временной шкалы отвечает продолжительности выделенных эпох формирования КСКМ соответствующего полезного ископаемого, а их размер в поперечном направлении отвечает средней интенсивности накопления за этот период. Поэтому площадь каждого из них пропорциональна долям эпох в суммарных интегральных ресурсах данного вида сырья.

Эти рубежи маркировали существенные изменения в типах месторождений и/или их ресурсных характеристиках.

Например, было показано, что в осадочных бассейнах до середины палеопротерозоя месторождения полиметаллов (Pb, Zn, Cu) не формировались вообще. Единственный для этих элементов тип месторождений на дне морских бассейнов того времени – вулканогенно–колчеданный, тесно связанный не с седиментационными или диagenетическими процессами, а с активными вулканическими системами на океаническом дне. Месторождения, формирование которых напрямую связано с минерализованными конседиментационными и/или постседиментационными рассолами невулканогенного происхождения (медистые песчаники и сланцы, тип долины Миссисипи, SEDEX и т.п.), впервые появились только после рубежа 2.05 млрд лет, а после рубежа 0.58 млрд лет (конец неопротерозоя) произошла общая интенсификация металлогении полиметаллов всех этих типов.

В металлогении урана осадочных бассейнов в архее и самом начале палеопротерозоя проявлен

только детритный тип месторождений в сингенетичных терригенных толщах. В более молодых бассейнах данный тип отсутствует совсем. В палеопротерозое в осадочных формациях проявляются только осадочно–эпигенетические месторождения (тип несогласия, тип Мунана–Окло), возникшие при глубокой циркуляции материнских нагретых рассолов на восстановительных барьерах. В фанерозое в рассматриваемых обстановках доминирующими становятся месторождения близкой природы, но возникшие при относительно неглубокой циркуляции менее горячих рассолов (типы палеодолинный, ролловый и стратоидный в песчаниках и т.п.).

Полосчатые железистые кварциты (джеспилиты) – широко распространенный, но при этом и единственный тип осадочных месторождений железа в архее и самом раннем палеопротерозое. После рубежа 2.4 млрд лет частота формирования месторождений этого типа резко снизилась. Зафиксировано только два всплеска массового накопления руд: первый – в середине позднего палеопротерозоя (1.88 млрд лет) в пределах только двух бассейнов, и второй – в начале второй половины неопротерозоя (0.64–0.72 млрд лет) только в тиллитовых толщах, широко распространенных в

осадочных формациях того периода. Железистые кварциты всех этих периодов накапливались в глубоководных условиях. С конца неопротерозоя известны только мелкие проявления этого типа руд.

С рубежа 2.31 млрд лет появились гетит–хлорит–сидеритовые железные руды (ГХС) массивного сложения с обычным присутствием оолитов и пизолитов, тесно связанные с русловыми и прибрежно–морскими терригенными отложениями. С конца неопротерозоя этот тип является доминирующим для месторождений осадочных железных руд.

Фосфоритовые месторождения впервые появились в середине палеопротерозоя, но крупные аккумуляции были очень редки. В конце неопротерозоя фосфориты начали формировать крупные месторождения все чаще, и в настоящее время месторождения этого периода (конец неопротерозоя – фанерозой) – главный источник фосфатного сырья для мировой промышленности.

Объединяющей чертой месторождений всех этих видов полезных ископаемых является высокая чувствительность процессов рудообразования к окислительно–восстановительным условиям внешней среды. И именно в периоды 2.43–2.05 и 0.72–0.58 млрд лет происходили резкие изменения в оксигенации атмосферы и гидросферы Земли в глобальном масштабе, своего рода «кислородные революции», которые получили названия Великое (ВОС) и Неопротерозойское (НОС) оксигенационные события (Petsch, 2003). ВОС привело к появлению и устойчивому сохранению свободного кислорода в атмосфере и гидросфере, но его уровень был значительно ниже современного (в основном, около 1% от современных значений). НОС привело к еще более масштабному росту количества кислорода в атмосфере и гидросфере, которое к середине палеозоя достигло современных значений, а в карбоне было даже выше. В результате синтеза информации, полученной нами из многочисленных публикаций, было показано, что оксигенационные события имеют очень разнообразное вещественное отражение в литологических, литолого–геохимических и биотических данных, хорошо коррелирую–

щих с проанализированными и кратко описанными выше металлогеническими данными (рис. 3, стр.18). Это явное указание на обусловленность эволюционных изменений в металлогении важнейших видов минерального сырья в осадочных бассейнах изменениями в условиях осадконакопления и протекания постседиментационных процессов.

В работах по глобальному металлогеническому анализу последней четверти XX в. таких корифеев советской металлогенической науки, как Д.В. Рундквист, В.И. Смирнов и Г.А. Твалчрелидзе, акцентируется внимание на признаках цикличности глобальных металлогенических процессов в геологической истории. Однако явный недостаток в тот период точных геохронологических данных и незрелость геотектонических концепций, использованных в интерпретации, привели к тому, что картина цикличности и объяснения причинно–следственных связей для ее возникновения у этих авторов существенно различались и были очень дискуссионными.

БД КСКМ уже к 2010 г. значительно превышала информационные массивы, лежавшие в основе упомянутых выше исследований конца XX в., и была намного более детальной в геохронологическом аспекте. Кроме того, в исторической геотектонике на основе глубокого анализа палеомагнитных и разнообразных геологических данных возникла и получила широкое признание концепция многократности формирования и распада суперконтинентов в геологической истории, т.е. суперконтинентальной цикличности (Arndt, 2013 и другие). Для обоснования этой концепции, среди прочего использовались статистически обоснованные кривые, отражающие динамику роста континентальной коры, интенсивность орогенических и магматических процессов, и другие объективные данные, которые можно легко сопоставить с кривыми интенсивности формирования месторождений в разные геологические эпохи. Именно такое сопоставление нами было реализовано для всех циклов: кенорского, колумбийского, родинийского, пангейского и амазийского (рис. 4).

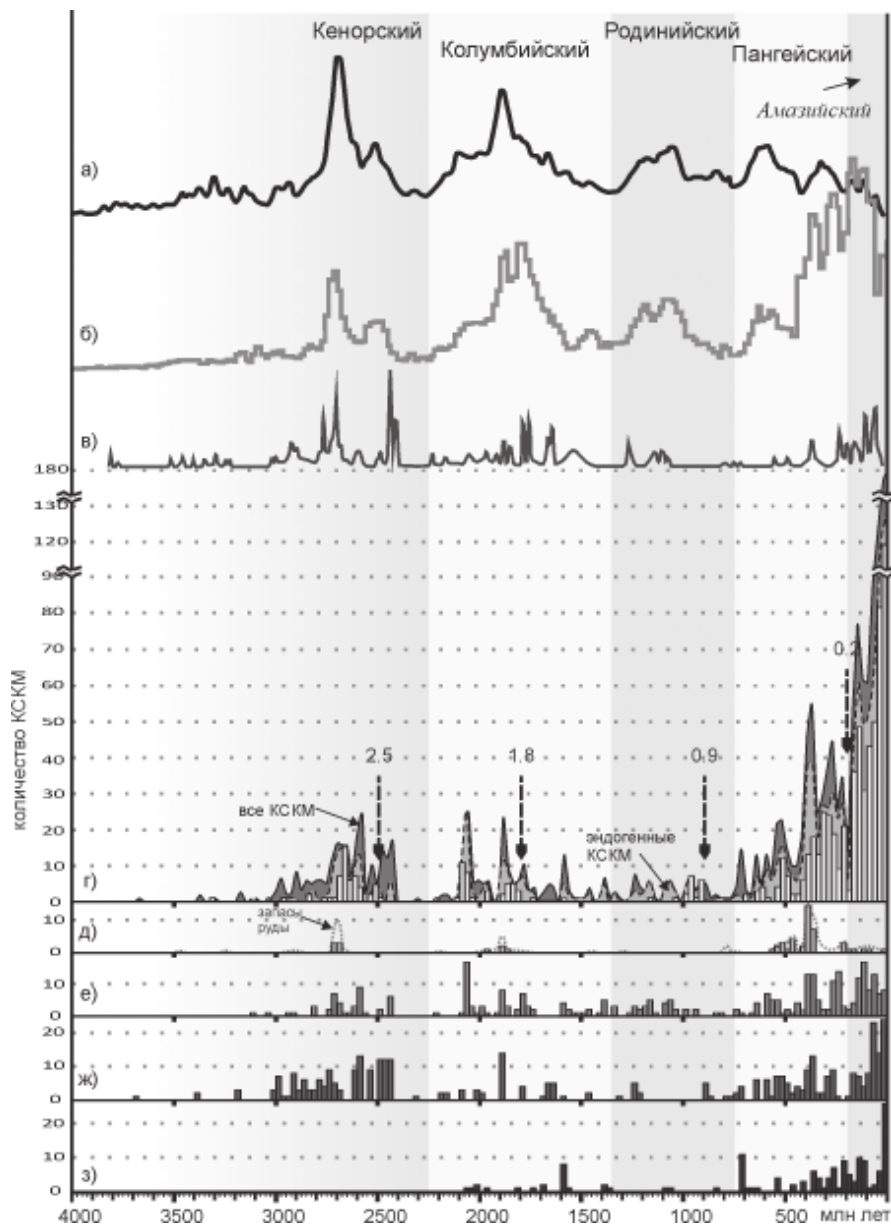


Рис. 4. Суперконтинентальные циклы, индикаторные кривые эндогенной активности и распределение КСКМ на оси геологического времени (Ткачев, Рундквист, 2016): а-в – индикаторные кривые: а) динамика прироста континентальной коры за счет ювенильных источников (Condie, Astor, 2010); б) распределение возрастов детритных цирконов (>105 анализов) из осадочных пород мира (Voice et al., 2011) – индикаторная кривая интенсивности эндогенных процессов в континентальной коре, сопровождаемых образованием циркон-содержащих пород; в) суперплюмовая активность (Abbott, Isley, 2002); г-з – распределение КСКМ: г) все КСКМ – ограниченная сплошной линией темно-серая область, эндогенные КСКМ – ограниченная пунктирной линией серая область, орогенно-гранитоидный класс (ОГ) – гистограмма, д) вулканогенно-колчеданный класс (ВК), е) базит-щелочной класс (БЩ), ж) осадочный класс (ОС), з) осадочно-эпигенетический класс (ОЭ).



Это позволило выявить ряд новых для глобальной металлогении фактов. В частности, было установлено:

- общий подъем металлогенической активности около 3.0 млрд лет назад – с рубежа появления тектоники плит по мнению очень многих исследователей;
- хорошая корреляция распределения эндогенных КСКМ с кривыми роста континентальной коры;
- наиболее яркое совпадение пиков формирования месторождений орогенно–гранитоидного класса с пиками гранитоидного магматизма и периодами активного роста континентальной коры;
- для вулканогенно–колчеданного и базит–щелочного классов эта корреляция менее явная, с некоторым «размазыванием» пиков относительно орогенно–гранитоидного класса;
- КСКМ осадочного класса местами демонстрируют совпадение пиков с базит–щелочным классом.

При сравнении суперконтинентальных циклов в целом было выявлено два периода с аномальными металлогеническими показателями: 1) родинийский минимум для всех типов месторождений; 2) пангейско–амазийский «взлет» для месторождений орогенно–гранитоидного класса (рис. 5). При этом удалось найти корреляционные параллели между металлогенией и особенностями геологических процессов в этих сегментах геологической истории.

Родинийский минимум во всех классах месторождений возник на фоне таких явлений, как минимальное количество новообразованных пассивных окраин и метаморфических поясов, наименьшая интенсивность гранитоидного магматизма и очень умеренная оксигенация атмосферы гидросферы (Bradley, 2008; Brown, 2009; Petsch, 2003; Voice et al., 2011). Из этого следует, что эндогенные месторождения родинийского цикла формировались в условиях самой низкой за последние 3 млрд лет эндогенной активности, как конструктивной, так и деструктивной направленности. При этом месторождения, связанные с экзогенными процессами, формировались в условиях, когда и окислительные, и аноксидные (эвксинные, железистые и т.п.) окислительно–восстановительные режимы функционирования осадочных бассейнов проявлены со слабой контрастностью, что принципиально не препятствует соответствующим процессам рудообразования, но крайне слабо стимулирует их.

Пангейско–амазийский «взлет» для месторождений орогенно–гранитоидного класса имел место в период, который выделяется на общем фоне геологической истории самой высокой интенсивностью гранитоидного магматизма, максимальным количеством орогенных метаморфических поясов (впрочем, как и пассивных окраин), максимальной площадью одновременно существующей сиалической коры (Bradley, 2008; Brown, 2009; Dhuime et al., 2012; Voice et al., 2011). Все это указывает на то, что данный сегмент геологического времени – самый активный в смысле тектонических и сопровождающих их магматических и метаморфических процессов в континентальной коре за всю геологическую историю. Это нашло отражение в общем увеличении количества месторождений всех типов, но в орогенно–гранитоидном классе увеличение лавинообразно (рис. 5). Самый интенсивный рост проявился в металлогении Sn, W, Mo, для которых свыше 90% выявленных ресурсов образовались именно во время этого взлета (Рундквист и др., 2006).

Достаточно выразительны закономерности, выявленные и для месторождений базит–щелочного класса (Ткачев, Рундквист, 2016). По мере перехода от более древних суперконтинентальных циклов к более молодым наблюдается совершенно отчетливая тенденция к уменьшению доли месторождений, связанных с базит–ультрабазитовым магматизмом, и увеличение доли месторождений, связанных с щелочным магматизмом разного типа (фойдитным, карбонатитовым, кимберлитовым, обычным сиенитовым и щелочно–гранитным). Это в полной мере согласуется с тенденциями в интенсивности соответствующих типов щелочного магматизма (Балашов, Глазнев, 2006), которые, в свою очередь, хорошо согласуются с тенденцией к общему остыванию мантии Земли (Arevalo et al., 2009; Komiya, 2007; Labrosse, Jaupart, 2007). Кроме того, на этом фоне, вероятно, существенную роль играет нарастающая метасоматизация мантии, прежде всего в литосферной ее части (Когарко, 2006).

В последние годы жизни Д.В. Рундквиста наши совместные исследования были сосредоточены на анализе исторической металлогении Li, Ta, Nb и редких земель (РЗЭ).



При этом был установлен ряд интересных закономерностей, описание которых дано в соответствующих публикациях (Ткачев и др., 2019<sub>2</sub>; Ткачев и др., 2020<sub>1</sub>; Ткачев и др., 2020<sub>2</sub>; Ткачев и др., 2022). Из них здесь отметим только самый неожиданный результат: историческая металлогения тех типов месторождений Та, которые имеют наибольший интерес для промышленности, продемонстрировала максимальную корреляцию не с Nb, который является его ближайшим геохимическим «родственником», а с Li. Параллельно было установлено, что историческая металлогения Nb имеет большое сходство с металлогенией редкоземельных элементов (РЗЭ). Объяснение было найдено в разном поведении Та и Li, с одной стороны, и Nb и РЗЭ, с другой стороны, в кремнекислых и щелочных магмах при их дифференциации. Именно это и предопределило соответствующие сходства и различия.

Описанные выше исследования не исчерпывают все полученные результаты. Они скорее дают некоторое представление о характере работ по глобальной и исторической металлогении, проведенных в ГГМ РАН под руководством Д.В. Рундквиста, с примерами лишь некоторых из полученных результатов. Более исчерпывающая информация содержится в наших публикациях соответствующего периода.

В разное время и по разным направлениям (разработка базы данных и геоинформационных систем, сбор информации по месторождениям, первичный анализ данных и их геологическая интерпретация) Д.В. Рундквист привлекал к участию в исследованиях многих сотрудников ГГМ РАН. Наиболее тесно с этой тематикой были связаны (в алфавитном порядке): Е.Е. Арбузова, С.В. Булов, Н.В. Вишневецкая, Ю.Г. Гатинский, Н.И. Кутузова, И.О. Лебедев, С.А. Похно, В.М. Ряховский, А.В. Ткачев, Е.И. Чесалова, С.В. Черкасов.

Данное направление сохраняется в научных исследованиях ГГМ РАН и в настоящее время. Надеемся, что они будут достойно продолжены и в обозримой перспективе.

## ЛИТЕРАТУРА

- Балашов Ю.А., Глазнев В.Н. Циклы щелочного магматизма // Геохимия. 2006. № 3. С. 309–321.
- Когарко Л.Н. Щелочной магматизм и обогащенные мантийные резервуары. Механизмы возникновения, время появления и глубины формирования // Геохимия. 2006. №1. С. 5–13.
- Рундквист Д.В., Ряховский В.М., Гатинский Ю.Г., Чесалова Е.И. Геодинамический глобус масштаба 1:10 млн для целей глобального мониторинга многоаспектных геологических процессов // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков. Материалы Всероссийской научной конференции “Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков”. 2002. С. 87–88.
- Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Гатинский Ю.Г. Металлогеническая карта крупных и суперкрупных месторождений мира // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46(6). С. 562–570.
- Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В., Гатинский Ю.Г., Вишневецкая Н.А. База данных и металлогеническая карта крупных и суперкрупных месторождений мира: принципы составления и предварительный анализ результатов // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 391–422.
- Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В. и др. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т.1. Глобальные закономерности размещения. М.: ИГЕМ РАН, 2006. 390 с.
- Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В., Гатинский Ю.Г., Соболев П.О. Крупные и суперкрупные месторождения мира // Планета Земля (энцикл. справочник для геологов). Минерагения. Кн. 1: Земля. Теоретические основы минерагении. Минеральные ресурсы мира и их экономика. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. С. 70–92.
- Ткачев А.В. Эволюционные и революционные изменения приповерхностных сфер Земли и их глобальное отражение в металлогении осадочных бассейнов // Наука и просвещение: посвящается 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. Москва. ГГМ РАН, 2012. С. 189–243.
- Ткачев А.В., Рундквист Д.В. Эволюция формационно-генетических типов крупномасштабных месторождений минерального сырья и видового разнообразия полезных ископаемых в них как отражение тенденций развития глобальной металлогении // Наука и просвещение: к 250-летию Геологического музея РАН. М.: ГГМ РАН, 2009. С. 209–288.
- Ткачев А.В., Рундквист Д.В. Глобальные тенденции в эволюции металлогенических процессов как отражение суперконтинентальной цикличности // Геология рудных месторождений, 2016. Т. 58(4). С. 295–318.
- Ткачев А.В., Булов С.В., Рундквист Д.В., Похно С.А., Вишневецкая Н.А., Никонов Р.А. Веб-ГИС «Крупнейшие месторождения мира» // Геоинформатика. 2015. № 1. С. 47–59.

- Ткачев А.В., Булов С.В., Чесалова Е.И. Геопортал «Металлогения» // Геоинформатика. 2019, №1. С. 3–12.
- Ткачев А. В., Рундквист Д. В., Вишневская Н. А. Глобальная металлогения тантала в геологическом времени // Геология рудных месторождений. 2019, Т. 61(6). С. 19–37.
- Ткачев А. В., Рундквист Д. В., Вишневская Н.А. Историческая металлогения рудных месторождений лития // Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения. М.: ИГЕМ РАН, 2020, С. 129–147.
- Ткачев А. В., Рундквист Д. В., Вишневская Н. А. Сравнение суперконтинентальных циклов в металлогении ниобия // Геология рудных месторождений. 2020, Т. 62(1). С. 55–75.
- Ткачев А. В., Рундквист Д. В., Вишневская Н. А. Основные черты исторической металлогении редкоземельных элементов // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64(3). С. 209–246.
- Abbott D.H., Isley A.E. The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time // J. Geodynamics. 2002. V. 34. P. 265–307.
- Arevalo R., McDonough W.F., Luong M. The K/U ratio of the silicate Earth: Insights into mantle composition, structure and thermal evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 2009. V. 278. P. 361–369.
- Arndt N.T. Formation and Evolution of the Continental Crust // Geochemical Perspectives. 2013. V. 2(3). P. 405–533.
- Bradley D.C. Passive margins through Earth history // Earth–Science Reviews. 2008. V. 91. P. 1–26.
- Brown M. Metamorphic patterns in orogenic systems and the geological record // Geological Society, London, Special Publications. 2009. V. 318. P. 37–74.
- Condie K.C., Aster R.C. Episodic zircon age spectra of orogenic granitoids: the supercontinent connection and continental growth // Precambrian Research. 2010. V. 180. P. 227–236.
- Dhuime B., Hawkesworth C.J., Cawood P.A., Storey C.D. A Change in the geodynamics of continental growth 3 Billion years ago // Science. 2012. V. 335. P. 1334–1336.
- Komiya T. Material circulation through time – chemical differentiation within the mantle and secular variation of temperature and composition of the mantle // Superplumes: Beyond plate tectonics. Springer, New York. 2007. P. 187–234.
- Labrosse S., Jaupart C. Thermal evolution of the Earth: secular changes and fluctuations of plate characteristics // Earth Planet. Sci. Lett. 2007. V. 260. P. 465–481.
- Largest mineral deposits of the world. (Rundqvist D. –ed.; Cassard D., Cherkasov S., Tkachev A., Gatinsky Yu., Shalimov I., Arbuzova E., Vishnevskaya N., Gateau C., Husson Y. – compilers). Russian–French Metallogenic Laboratory, Moscow. 2006. CD–ROM. V.1.0.
- Petsch S.T. The global oxygen cycle // Treatise on Geochemistry. V. 8. Biogeochemistry. Elsevier Science, Amsterdam. 2003. P. 515–556.
- Rundqvist D.V., Cherkasov S.V., Kutuzova N.I., Stavsky A.P. New world map of large and superlarge mineral deposits // Global Tectonics and Metallogeny. 1999. V. 7(2).P. 131–134.
- Voice P.J., Kowalewski M., Eriksson K.A. Quantifying the timing and rate of crustal evolution: global compilation of radiometrically dated detrital zircon grains // J. Geology. 2011. V. 119. P. 109–126.
- World atlas of Precambrian metallogenic zoning. (Rundqvist D. – ed.), M.: Vernadsky State Geological Museum RAS; IGPP RAS; VNIIGeosystem. 2002. CD–ROM.