В.В.Гавриленко, Ю.А.Гульбин, М.А.Иванов, В.В.Кирюков, Ю.В.Лир, Ю.Б.Марин, А.Г.Марченко, С.В.Сендек, В.В.Смоленский, А.А.Смыслов

УДК 553

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Отражены основные направления исследований по анализу закономерностей размещения, характерных особенностей и условий образования важнейших типов месторождений твердых полезных ископаемых на территории России. Выполнено обобщение имеющейся информации об основных закономерностях изменчивости минеральных индивидов и агрегатов в важнейших типах эндогенных рудных месторождений. Проанализированы особенности минералогии крупных и уникальных месторождений, ассоциирующих с гранитным магматизмом. Сделан вывод, что их формирование является следствием длительного развития флюидных систем глубинного заложения, посредством которых осуществляется мантийно-коровое взаимодействие и происходит интенсивное перераспределение вещества в земной коре. Предложены принципы фациального анализа гранитных пегматитов и методические приемы его осуществления. Выполнено численное моделирование процессов структурообразования при застывании магматического расплава с использованием метода Монте-Карло. Исследованы возможности приложения фрактального анализа к решению задач рудной геологии. Продемонстрирована возможность количественной оценки морфологии рудных тел. Указаны методы изучения и моделирования аномальных геохимических полей, связанных с месторождениями полезных ископаемых. Рассмотрены задачи геологических исследований и геологоразведочных работ, связанные с дальнейшим развитием угольной промышленности.

The article deals with the main investigation lines in analysis of location patterns, peculiar properties and condition of the main types of hard mineral deposits in Russia. A generalization of the available data on the main variability patterns of both individual minerals and aggregates in the major types of endogenous ore deposits is made. Mineralogical features of major and unique deposits associated with granite magmatism are analysed. A conclusion is made that their formation was determined by long-term evolution of deep-seated fluid systems, which serve as a means of mantle-core interaction and matter redistribution in the earth's crust. Principles of granite pegmatite face analysis and methods of its carrying out are suggested. Computational modelling of structure formation processes in magma solidification applying Monte Carlo method is performed. Potentials of fractal analysis application for ore geology task solutions are investigated. Possibilities of quantitative assessment of ore body morphology are demonstrated. Methods of studying and modelling of anomalous geochemical fields, associated with mineral deposits, are stated. Tasks of geological exploration and exploration works are given in connection to the further development of coal industry.

* * *

РЕГИОНАЛЬНЫЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Региональный минерагенический анализ – изучение закономерностей размещения уникальных и других месторождений топливно-энергетического сырья, металлических и неметаллических полезных ископаемых на основе комплексного анализа материалов по геологии, геофизике, геохимии и геоэкологии.

Создан первый Геологический атлас России, выполненный в масштабе 1:10 000 000. Атлас включает 40 карт и 40 объяснительных записок. Карты геологического, геофизического и экологического содержания отражают обширную сводку фактических данных по разным научным дисциплинам в области геологии, геофизики, полезных ископаемых, экологии и результаты интерпретации этих данных.

Результаты картосоставительских материалов геологического раздела Атласа позволили дать комплексное представление о связях поверхностных и глубинных структур литосферы, их вещественной эволюции и

современном физическом состоянии, что способствует решению фундаментальных проблем современной геологии, изучения глубинного строения и геодинамики недр России и ее отдельных регионов.

Анализ материалов по полезным ископаемым и закономерностям их размещения позволил получить комплексную характеристику угленосности, нефтегазоносности и рудоносности недр России, оценить масштабы прогнозных ресурсов и разведанных запасов и установить особенности размещения месторождений полезных ископаемых в геологических структурах земной коры.

Впервые приведен набор карт по всем видам топливно-энергетических ресурсов: углеводородное сырье (нефть, газ, газоконденсат), каустобиолиты (уголь, горючие сланцы), атомное сырье (уран) и возобновляемая геотермальная энергия недр.

В целях более надежного минерагенического районирования для золоторудных и урановых месторождений составлены карта золотоносности и радиогеохимическая карта, на которых кроме месторождений и рудопроявлений показаны геохимически специализированные формации и выявленные в процессе съемок аномальные концентрации металла в горных породах, рыхлых отложениях и водах.

Составлена карта уникальных месторождений России. На ней отражены закономерности размещения наиболее важных по масштабам месторождений гигантов и их связь с геологическими объектами: рифтами, углеродистыми формациями и другими. Составлен прогноз уникальных месторождений комплексных урановых руд в зонах региональных структурных несогласий позднего протерозоя на Северо-Западе и других регионах России, которые впервые с необходимой комплексностью дают представление о геоэкологии, безопасности и условиях комфортности природной обстановки России.

Составлена карта новейшей геодинамической активности литосферы, которая, в отличие от ранее составленных карт сейсмического районирования, содержит материалы по неотектоническим движениям, современному тепловому потоку, вулканизму и т.д. Совокупность этих явлений и данные о состоявшихся землетрясениях позволяют более обоснованно выделить сейсмически опасные и потенциально опасные районы России.

Весьма актуальными для понимания экологической обстановки явились карты по естественной радиоактивности почв, горных пород и руд, которые иллюстрируют уровень природной радиации как урана – радия и продуктов их распада, так и радона – инертного газа, интенсивно накапливающегося в воздухе подвалов и первых этажей жилых помещений и производственных зданий.

Показаны суммарные экологические воздействия на геологическую среду (воду, почву, атмосферу) горно-добывающих, нефтеперерабатывающих и энергетических комплексов. Рекомендованы условия освоения подземного пространства в связи с решением проблем экологически безопасного использования недр для строительства атомных станций, хранилищ радиоактивных отходов и других сооружений.

Указом Президента Российской Федерации В.В.Путина профессорам А.А.Смыслову, В.С.Литвиненко и С.В.Сендеку, как представителям авторского коллектива, создавшего первый Геологический атлас России, присуждена Государственная премия за 2000 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТИТУЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ИНДИВИДОВ И АГРЕГАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПЕТРО- И РУДОГЕНЕЗА

На основе онтогенического анализа минеральных индивидов и агрегатов проведены исследования в области изучения минерального вещества горных пород и руд с целью решения проблем рационального использования минерального сырья и охраны природной среды. Выполнено обобщение имеющейся информации об основных закономерностях изменчивости минеральных индивидов и агрегатов в важнейших типах эндогенных рудных месторождений, а также компьютерное моделирование минеральных агрегатов ряда рудных объектов. Особое внимание при этом уделено изучению отличительных особенностей крупных и уникальных

месторождений. Основными объектами исследований являлись месторождения благородных и редких металлов Урала, Сибири и Дальнего Востока, а также полиметаллические руды Новой Земли.

Полученные за последние годы материалы по различным типам крупных и уникальных месторождений редких и благородных металлов свидетельствуют о том, что формирование оруденения является следствием длительного развития флюидных систем глубинного заложения, посредством которых осуществляется мантийно-коровое взаимодействие и происходит интенсивное перераспределение вещества в земной коре. Кратко остановимся на некоторых особенностях генезиса крупнейших месторождений олова и редких металлов, важных для понимания характеристик их минерализации.

При анализе данных по строению и размещению крупных и уникальных месторождений различных металлов, ассоциирующих с гранитоидами, сделан вывод, что крупнейшие их концентрации разобщены в пространстве. Наиболее крупные месторождения олова размещаются в пределах активных континентальных окраин и в зонах коллизии, причем предполагается активное вовлечение вещества земной коры вдоль длительно живущих зон тепло- и массопереноса, представляющих собой в то же время и зоны гранитообразования. Такие участки земной коры фиксируются как территории глубинного разуплотнения, широкого развития разнообразных метасоматитов, субщелочных гранитов. Локальные особенности пород, вовлеченных в процессы метасоматизма, гранитообразования и рудогенеза, находят свое отражение в специфике минерального и элементного состава того или иного конкретного оловорудного месторождения. В случае крупнейших месторождений ниобия, тантала, лития и редких земель влияние глубинного, мантийного, источника проявляется еще в большей степени. В настоящее время мало кто сомневается в глубинном происхождении комплексов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов. Широко обсуждается соотношение роли собственно магматических и метасоматических процессов, однако общий мантийный источник поступления вещества находит все больше подтверждений.

Если представить линейные глубинные структуры, к которым приурочены крупнейшие месторождения, как зоны длительной импульсной разгрузки редкометаллоносных мантийных щелочных флюидов, находят свое объяснение многие особенности вещественного состава месторождений: в таком случае они определяются характером коровых образований и интенсивностью взаимодействия с ними глубинных флюидов. Подобное взаимодействие может сопровождаться локальным плавлением вещества коры, и тогда месторождения будут представлены суб- и щелочными редкометальными гранитами и пегматитами в сочетании с сопровождающими их метасоматитами. В ряде случаев процессы плавления могут быть проявлены слабо, и тогда развиваются зоны региональных приразломных метасоматитов типа месторождений Перга (Украина), Диабазовое (Белоруссия), возможно, Катугинского месторождения. Очевидно, подобная модель процесса применима и к крупным месторождениям бериллия, где, как например, на Ермаковском и Малышевском месторождениях, субщелочные лейкограниты (и пегматиты) сопровождают зоны развития метасоматической минерализации, но явно не соответствуют им по масштабам. Интересно, что основные месторождения в автономных региональных метасоматитах бериллиевые, тогда как месторождения Nb-Ta размещены внутри плутонов и пегматитов.

При анализе размещения крупных и уникальных месторождений редких литофильных металлов России обращает на себя внимание отчетливое их тяготение к нескольким долгоживущим региональным глубинным структурам по периферии Восточно-Сибирской платформы и на Балтийском щите. Несколько отличается позиция наиболее крупных месторождений бериллия, хотя общей их особенностью также является тяготение к наиболее мощным глубинным структурам в зонах активизации древних стабильных участков континентальной коры.

Проведенные исследования показали, что возникновение крупнейших месторождений, ассоциирующих с гранитоидами, связано с длительно существовавшими зонами взаимодействия глубинных тепломассопотоков с различными породами земной коры [3]. Таким образом, проявляется своеобразный парадокс литофилов, крупные концентрации которых в земной коре определяются длительным функционированием локальных мантийных флюидных систем. Разнообразие состава и морфологии оруденения объясняется различным характером взаимодействия таких систем с горными породами земной коры, которые в ряде случаев (в частности, в оловоносных районах) выступали и как дополнительные источники металлов, отдавая их в процессах метасоматоза.

Рассмотренные материалы позволяют подчеркнуть наиболее существенные факторы возникновения крупных и уникальных месторождений редких элементов, важные для выявления соответствующих типоморфных характеристик минералов:

1) глубинный источник основных рудных компонентов;

2) щелочной характер и восстановительный режим «первичных» металлоносных флюидов;

3) длительную активность и высокий потенциал глубинного источника металлов, поступление которых на горизонты рудоотложения обеспечивается унаследованным развитием глубинных структур;

4) комбинированно-вторичный характер гидротерм, возникающих в результате смешения глубинных флюидов с постмагматическими растворами и с обогащенными кислородом подземными или морскими водами и обуславливающих функционирование в малоглубинных условиях рудоконцентрирующих внутриинтрузивных, околоинтрузивных, депрессионно-вулканических и приразломных амагматических гидротермально-метасоматических систем;

5) резкое нарушение физико-химических условий в районе разгрузки гидротерм, обуславливающее масштабное проявление «барьерных» эффектов.

С таких позиций понятны ранее эмпирически установленные связи литофильно-редкометальных крупных и уникальных месторождений лишь со щелочно-ультрамафическими, щелочно-мафическими и щелочно-салическими магматическими формациями и метасоматитами.

Проведенная за последние годы типизация гранитоидных формаций с выделением их типов и подтипов позволяет в достаточной степени надежно увязать с ними и формации гидротермальных месторождений, для каждой из которых характерны определенные пределы изменчивости различных признаков горных пород и слагающих их минералов. Гранитные массивы, непосредственно ассоциирующие с редкометальным оруденением, относятся к интрузивным сериям трех формационных типов, объединяемых в двух группах «оловянных» и «молибденовых» рудно-магматических мегасистем. Каждая редкометальногранитовая формация может быть представлена шестью петрогеохимическими подтипами низкой, нормальной и повышенной щелочности соответственно в оловянных и молибденовых провинциях.

При общей близости петрографического состава гидротермально-метасоматических образований, ассоциирующих с различными подтипами гранитоидов, их геохимические характеристики и рудная нагрузка в значительной степени различны. Так, уже предварительный анализ позволяет подчеркнуть приуроченность всех крупных месторождений Mo, Nb-Ta, TR, Be (не берилловых) к узлам развития гранитоидных серий повышенной щелочности молибденовых провинций, а Sn, Ta, Li, Be (берилловых) – низкой и нормальной щелочности оловорудных провинций.

Различаются и характеристики минералов гидротермального генезиса, относящихся к одному виду, но проявленных в различных группах таких мегасистем, «оловянной» или «молибденовой», что связано с разными режимами флюидной деятельности, характерными для провинций разного профиля. Известно, например, что при всей близости характера редкометальных гранитоидов и условий формирования грейзенов, с ними ассоциирующих, циннвальдитовые и сидеро-

филлитовые грейзены – «цвиттеры» – развиты преимущественно на вольфрамово-оловорудных месторождениях и слабо проявлены на вольфрамово-молибденовых объектах. Очевидно, флюидные потоки восстановительного характера в «оловянных» провинциях, наряду с редкими металлами и фтором, переносят закисное железо, которое затем в зонах грейзенизации входит в слюды. В «молибденовых» провинциях окислительные условия препятствуют миграции железа, и в результате высокожелезистые слюды не образуются.

Как известно, в основу номенклатуры гранитоидных формаций положена физиография (макроскопическая структура) интрузивных пород, выступающая их диагностическим признаком [11]. Количественный анализ изменчивости морфологии минеральных индивидов и агрегатов дает возможность более объективно судить о причинах структурной эволюции разноформационных гранитов, несет важную генетическую информацию о закономерностях кристаллизации гранитной магмы и роли постмагматических изменений в структурообразовании, помогает выявлять характерные признаки строения гранитных пород, с которыми ассоциирует редкометальное оруденение. Для численной характеристики наблюдаемых структурных вариаций рассмотрена возможность описания геометрии кварцевых агрегатов гранитов ряда эталонных массивов – Северного (Чукотка), Урмийского (Приамурье), Акчатау (Казахстан), Абу-Даббаб (Египет) и др. – при помощи фрактального приближения, выражающего степенную зависимость площади сечений агрегатов M от их линейного размера R. Показано, что указанные величины удовлетворяют соотношению подобия во всем диапазоне линейных масштабов (около двух порядков), причем рассчитанные значения фрактальной размерности (в пределе больших R) коррелируют с формационной принадлежностью изученных пород. С надежностью 0,95 средне-крупнозернистые стандартные граниты типа А обладают устойчиво высокими (1,75-1,81), среднезернистые аляскитовые граниты типа Б – промежуточными (1,63-1,70), средне-мелкозернистые амазонитовые граниты типа В – наиболее низкими значениями (1,48-1,62) величины D.

Для интерпретации полученных результатов выполнено численное моделирование процессов структурообразования при застывании магматического расплава с использованием метода Монте-Карло. Прообразом случайного распределения минеральных зерен в объеме закристаллизованной породы выбрана модель нерешеточной перколяции (построение перекрывающих сфер со случайно распределенными радиусами). Будучи рассмотрена как временная последовательность, модель близко согласуется с основными посылками теории процессов случайной нуклеации и роста и, в общих чертах, отвечает концепции «идеального гранита» [2]. В результате сравнительного анализа модельных и природных распределений показано, что более всего теоретическим параметрам простой пуассоновской модели (с учетом ограничений, накладываемых на модальный состав) соответствует распределение кварца в некоторых разновидностях амазонитовых гранитов типа В. Именно для этих гранитов (и только для них) имеются достоверные свидетельства опережающего формирования кварца из расплава, что послужило причиной равномерного случайного роста зародышей в кристаллизующемся объеме независимо от влияния прочих минеральных фаз. Для других типов пород найденные оценки фрактальной размерности заметно превышают аналогичные модельные характеристики: по сравнению с аляскитовыми и стандартными гранитами распределение кластеров в пуассоновской модели более однородно, а сами кластеры менее компактны.

С целью корректировки исходной модели учтены некоторые принципиальные черты магматической кристаллизации гранитов с различной физиографией. Для неравнозернистых гранитов типа А к ним следует отнести: запаздывающую кристаллизацию кварца относительно полевошпатовых вкрапленников и наличие двух разноразмерных генераций кварцевых зерен. Формализация этих условий приводит к модели неоднородного пуассоновского распределения. Подобное рас-

пределение задается посредством суперпозиции нескольких, последовательно возникающих однородных распределений с различными параметрами. Каждое из них имитирует рост зародышей одной минеральной фазы (генерации); путем подгонки параметров модели таким образом могут быть получены структурные рисунки, ближе всего отвечающие природным. Критерием соответствия служат рассчитанные значения фрактальной размерности. Для аляскитовых гранитов типа Б рассмотренный механизм с необходимостью предполагает участие в формировании структуры процессов вторичной перекристаллизации; достаточным условием возникновения специфических «цепочечных» агрегатов кварца в этом варианте модели служит одноразмерность индивидов кварца. Автометаморфические изменения способствуют распаду пертитового калинатрового полевого шпата вкрапленников на две самостоятельных фазы (микроклин и альбит) с образованием равнозернистого агрегата [1].

Наряду с физиографией, большое значение для оценки рудогенерирующей способности гранитов имеют те особенности строения породообразующих агрегатов, которые непосредственно связаны с процессами, ответственными за редкометальную специализацию интрузий. Применительно к гранитам аляскитовой формации, важная роль среди подобных процессов отводится автометаморфизму, способствующему автолизии пород с накоплением рудных компонентов в остаточной флюидной фазе. С учетом отмеченной концепции, проведено сравнительное изучение морфологии кварца рудоносных и заведомо безрудных магматических образований. В основу исследований положены современные методы морфометрического анализа.

На базе фрактального приближения (корреляционной функции) оценены значения фрактальной размерности межзеренных границ кварц-кварц как меры их извилистости (сутурности) для заданных уровней разрешения r. В качестве нижнего предела величины r выбран уровень реального (оптического) разрешения границ, верхнего предела – средний радиус минеральной частицы [5]. С целью характеристики морфологических свойств кварцевых агрегатов рассчитаны средние и стандартные отклонения фрактальных параметров для гранитных пород, различающихся по формационной принадлежности и рудоносности:

Характеристика образца	Число зерен	D_1, r = 20-40	D_2, r = 40-80	S_{D1}	D_3, r =80-160	S_{D3}
Средне-крупнозернистые граниты стандартного типа, ассоциирующие с непромышленным оруденением, массив Северный (Чукотка)	9	1,0	1,025	0,028	1,070	0,033
Среднезернистые граниты аляскитового типа, ассоциирующие с промышленным оруденением, массив Акчатау (Казахстан)	20	1,0	1,053	0,037	1,071	0,031
Среднезернистые граниты аляскитового типа безрудные, массив Кент (там же)	13	1,0	1,014	0,038	1,041	0,034

Показано, что во всех случаях природная дисперсия признаков многократно превышает среднюю аналитическую ошибку (0,01). Найденные числовые параметры использованы для процедуры статистической дискриминации. При помощи t-критерия попарного сравнения независимых выборок установлены значимые отличия средних величин D_1 и D_2 продуктивных и безрудных аляскитов, свидетельствующие о более высокой сутурности границ рудоносного кварца. Вероятной причиной наблюдаемой зависимости следует считать тектонический режим становления интрузивов. По-

лученные данные носят предварительный характер.

С помощью дискретного преобразования Фурье найдены амплитуды и дисперсии гармоник, несущих информацию об относительном вкладе сигналов разных масштабов (частот) в строение минеральных контуров. Для заданных масштабных уровней рассчитаны коэффициенты сутурности (по Эрлиху) и оценено влияние геологических факторов на форму минеральных зерен. Показано, что в сравнении с фрактальной моделью, вариации фурье-дескрипторов менее чувствительны к изменению формы и в большей степени подвержены влиянию случайных причин. Тем не менее, обе группы структурных характеристик отражают весьма тонкие морфологические различия в строении агрегатов и, при условии статистической представительности выборок, могут служить критериями условий минералообразования.

Фрактальные модели принадлежат к иерархическим моделям структур, состоящих из разномасштабных элементов, объединенных степенным законом связи. Их применение в геологии весьма перспективно, поскольку они представляют удобный способ количественного изучения нерегулярных иерархических структур, свойственных геологическим образованиям. Фрактальные модели, оперирующие дробными размерностями объектов, не только характеризуют их метрический образ, но и отражают их генезис. В частности, исследованы возможности приложения фрактального анализа к решению задач рудной геологии. Эти задачи отличаются значительным разнообразием: от количественной оценки сложности строения рудных тел до исследования структуры запасов рудных объектов.

Основные результаты выполненных работ в этом направлении сводятся к следующему. Продемонстрирована возможность количественной оценки морфологии рудных тел. Установлена основная тенденция изменения величины фрактальной размерности с глубиной – ее возрастание. Доказано явление масштабного скейлинга – подобие структур малых фрагментов структуре месторождения в целом. Выявлена и выражена количественная связь фрактальной размерности границ зерен рудных минералов и степени их раскрываемости при рудоподготовке. Обнаружено соответствие распределения запасов металла на различных иерархических уровнях рудных объектов ряду чисел Фибоначчи.

Главными минералогическими особенностями крупных и уникальных месторождений являются разнообразие минеральных видов и их разновидностей, наличие широкого спектра метасоматических взаимоотношений минералов в рудах, необычность элементных ассоциаций, а также проявление в составе минералов характеристик, свидетельствующих об интенсивности и длительности (а соответственно и масштабности) процессов минералообразования. Изменчивость минеральных индивидов (онтогения), в свою очередь, проявляется как функция факторов, действовавших на этапах зарождения, роста и преобразования конкретного минерала в конкретном месторождении.

Эволюция пород и минералов в редкометальных провинциях выражается в направленной изменчивости их конституции и свойств в соответствии с изменением геодинамической обстановки и развитием рудно-гранитоидных ассоциаций во времени и пространстве. Наиболее отчетливо различия в конституции пород и одноименных минеральных видов выражаются при сопоставлении месторождений разного формационного типа. В пределах отдельных месторождений проявляется сочетание стадийного и фациального типов изменчивости.

Общая картина изменчивости конституции минеральных индивидов создается в результате наложения неоднородностей, возникающих на последовательных стадиях их онтогенеза. На фоне общих тенденций изменчивости минералов во всех месторождениях отмечаются и локально проявленные вариации их состава. В ряде случаев они увязываются с особенностями условий минералообразования в конкретной геологической ситуации. При этом проявляется зависимость химизма рудных минералов от состава боковых пород и сопутствующей минерализации, от положения контактов между геологическими образованиями и от особенностей

размещения и развития внутрирудных тектонических нарушений, а также других локальных условий. Неоднородности в химизме минералов проявляются на разном уровне: как при переходе от одного участка оруденения к другому, так и внутри отдельных монокристаллов.

Таким образом, факторы, влияющие на изменчивость конституции и свойств минералов, можно подразделить на общие и частные, первые из которых соответствуют общему ходу процессов минералообразования на месторождениях данной формации, а вторые отражают специфику обстановки в конкретном блоке земной коры.

Минеральные ассоциации, формирующиеся во время последовательных стадий минералообразования, либо проявлены в различных системах рудовмещающих структур, образуя определенную зональность, либо накладываются друг на друга, что сопровождается явлениями замещения минералов и телескопирования. Взаимодействие длительно развивающейся гидротермальной системы с необычными по составу вмещающими породами, а также наложение растворов из разных источников приводит к появлению аномальных парагенезисов элементов и минералов, что является отличительной особенностью многих крупных месторождений. Нередко наблюдается и многоярусное размещение оруденения. Характерной особенностью крупных месторождений является не только сложный состав обычно комплексных руд (до 90 и более минеральных видов), но и сложные совмещения в пространстве продуктов разностадийного и разноэтапного минералообразования. Это приводит к появлению в рудах многочисленных генераций, зарождений и разновидностей минералов, многие из которых сохраняются лишь в виде реликтов метасоматически замещенных кристаллов. Анализ подобных образований всегда требует специальных исследований, однако само наличие таких сочетаний различных минеральных видов одних и тех же элементов и их ассоциаций, обилие во многих индивидах различных неоднородностей, разнообразие морфотипов минералов и набора в них элементов-примесей может свидетельствовать о масштабности объекта.

Исходя из указанных выше особенностей генезиса крупных и уникальных месторождений, наиболее информативными при прогнозировании масштабов оруденения оказываются генерации минералов, которые могут нести следы глубинных источников растворов и их взаимодействия с боковыми породами. Такими характеристиками могут служить «мантийные» изотопные системы, необычные соотношения редкоземельных или других индикаторных элементов, повышенные концентрации металлов, в отношении которых можно предполагать мантийное происхождение. Примеры реализации подобного подхода пока единичны, однако его правомерность иллюстрируется данными по различным месторождениям.

Во многих случаях в рудах крупных и уникальных месторождений появляются необычные элементные ассоциации, которые могут быть объяснены сложностью источников вещества и длительностью истории минералообразования. Например, одним из таких необычных элементов для месторождений олова является хром, как известно, не характерный для оруденения, ассоциирующего с гранитоидами, но устанавливаемый в гидротермально-метасоматических образованиях, в том числе и в касситерите, крупных месторождений.

Учитывая зависимость особенностей конституции и свойств минералов от различных геологических факторов, в некоторых случаях удается выявить и непосредственно такие их типоморфные особенности, в которых отражаются аномальные условия, приводящие к появлению крупных рудных тел и месторождений. Проиллюстрируем это на примере минералов вольфрамовых месторождений Центрального и Южного Казахстана.

В Богутинском рудном поле разведано крупное по запасам шеелитовое месторождение, а также выявлена серия мелких рудопроявлений того же типа. Оруденение приурочено к кварцевым жилам и прожилкам, рассекающим измененные терригенно-осадочные породы среднего ордовика. Сопоставления минералов, проявленных на

участках разномасштабного оруденения, показали, что некоторые из них, в частности, мусковит и кварц в своей конституции отражают интенсивность процессов рудообразования. Так, содержание редких щелочей и главных рудных элементов, способных изоморфно входить в структуру слюд, статистически достоверно различается, имея более высокие значения на крупном объекте. Аналогичная картина наблюдается и в Акчатауском рудном поле, где развиты грейзеновые тела с вольфрамитовой минерализацией, приуроченные к апикальным участкам аляскитовых гранитов [11]. Содержание лития, рубидия, вольфрама, фтора в мусковитах крупных рудных тел Акчатау значительно выше, чем в мусковитах мелкого проявления Аулие-Шоки, относящегося к тому же формационному типу.

Отчетливо различаются и выделения кварца указанных рудных полей. Как хороший индикатор условий минералообразования известен и флюорит. Характер распределения в нем примесей, в том числе и РЗЭ, зависит от составов флюидов и вмещающих геологических образований. Исследования, проведенные на ряде месторождений олова и вольфрама, позволили выявить различия в характере распределения редкоземельных элементов во флюоритах различных типов оруденения [4]. Различен характер распределения РЗЭ и в топазах маломощных прожилков и крупных тел объемных метасоматитов на Правоурмийском месторождении, что также объясняется пониженным влиянием боковых пород. Положительная аномалия Eu, проявляющаяся и в этом случае, дополнительно свидетельствует о восстановительном характере рудоносных флюидов.

Итак, исследования показали, что крупные рудные месторождения являются сложными минеральными системами и в составе руд и околорудных метасоматитов несут значительные концентрации не только главных, но и целого ряда других компонентов. Недооценка сложности состава и условий размещения различных минеральных и геохимических ассоциаций на крупных и уникальных месторождениях ведет к потере в процессе эксплуатации значительных масс ценных компонентов и поступлению в окружающую среду потоков токсичных элементов, которые приводят к резкому и быстрому изменению геохимической обстановки в горно-рудных районах. Установлено, что гипергенные преобразования минералов и руд при освоении рудных месторождений приводят к формированию техногенных геохимических аномалий, отличающихся от природных масштабами, контрастностью и формами нахождения химических элементов. Одной из важных проблем, которая в настоящее время может решаться на стадиях поисково-оценочных работ и разведки для уменьшения степени техногенного воздействия на биосферу, является подсчет объемов всех компонентов руд и околорудных образований, в первую очередь, конечно, наиболее токсичных, извлекаемых на поверхность при различных схемах отработки месторождений. Без подобного рода расчетов, которые до настоящего времени нигде не проводятся, невозможна корректная экологическая оценка воздействия горно-промышленных предприятий на окружающую среду, а в связи с этим и оценка экономической целесообразности освоения месторождений.

ФАЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ

Важный вклад в изучение закономерностей размещения месторождений нерудных полезных ископаемых вносят результаты более чем 25-летнего геолого-минералогического изучения крупнейших в России месторождений мусковита – Северо-Байкальской и Восточно-Саянской пегматитовых провинций [6]. Новыми данными об изменчивости типоморфных свойств минералов, морфологии и строения пегматитов обоснована возможность перехода в формационном анализе этих пород на фациальный уровень исследований. Работы проводились с целью разработки и геолого-минералогического обоснования фациального анализа мусковитовых пегматитов как перспективного направления в изучении внутриформационной изменчивости этих образований и использовании полученной минералогической информации

для решения задач локального прогнозирования на крупноразмерный высококачественный мусковит.

Показано, что фациальный подход к изучению разнообразия пегматитов, намеченный в работах А.Е.Ферсмана, Г.Н.Бунтина, Д.С.Коржинского, позволяет рассматривать картину геолого-минералогической изменчивости этих пород многомерно в аспекте развития пегматитообразования во времени, пространстве и взаимосвязи с другими геологическими явлениями и процессами, что отвечает актуальным задачам обобщения имеющихся данных о пегматитах и разработке представлений о пегматитовых системах. Предложенные принципы фациального анализа пегматитов и методические приемы его осуществления вполне приложимы к исследованию внутриформационного разнообразия не только мусковитовых, но и редкометальных и хрусталеносных пегматитов. В этом плане фациальный анализ следует рассматривать как составную часть формационного анализа гранитных пегматитов.

Наряду с метаморфо-, лито- и магматофациями пегматитов выделены совершенно новые пегматитовые фации – тектонофации, определяющие закономерности распределения, изменения состава, строения, преобразования пегматитов в пределах мусковитовых провинций и, в конечном счете, их практическую ценность. Показано, что пегматитовые тектонофации характеризуются закономерной изменчивостью примесного состава, Al/Si-упорядоченности, онтогенических особенностей породообразующих минералов. Это обусловлено различиями тектонических условий образования и преобразования фациально изменчивых пегматитов, формировавшихся вне зон динамически активных разрывных структур и в их пределах. Поэтому установленная связь крупнокристаллического низкодефектного мусковита с пегматитами одной из тектонофаций (тектонофации растяжения) позволяет использовать выявленные фациальные геолого-минералогические признаки пегматитов в качестве поисковых и оценочных критериев на высококачественный мусковит и усовершенствовать методику локального прогноза такого вида сырья.

В итоге разработан и применен на практике новый метод локального прогнозирования в пегматитах слюдоносных зон с крупноразмерным высококачественным мусковитом. Он основан на использовании в процессе крупномасштабного геологического картирования пегматитовых полей данных о закономерностях локализации концентраций мусковита в пегматитах разных тектонофаций и геолого-минералогических признаках продуктивности этих пород на мусковит. Методом составления детальных карт пегматитовых фаций определено положение участков, перспективных на обнаружение промышленных слюдоносных зон на территории Северо-Байкальской и Восточно-Саянской провинций. На ряде таких участков поисковыми работами были обнаружены промышленные слюдоносные объекты.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

В 2000 г. были подведены итоги научных исследований, выполняемых СПГГИ, начиная с 1997 г, при поддержке Фондов поддержки фундаментальных исследований Минобразования РФ, «Теоретические и природные модели систем углеобразования, угленакопления (углей, угольных пластов, угольных литоциклов, угленосных формаций), газогенерации и геодинамики угольных бассейнов и месторождений, как фундаментальная база прогноза и оценки угольных месторождений» и «Изучение молекулярной и надмолекулярной (тонкой) структуры витринита ископаемых углей с целью прогноза газогенерации угольных пластов, нетрадиционных залежей метана и газодинамических явлений».

Общая методика системного подхода в угольной геологии, созданная в СПГГИ, еще не достигнув уровня теории, стала базой пересмотра основных теоретических положений этой науки и ее практических результатов в оценке минерально-сырьевой базы угледобывающей отрасли. Разработаны общегеологические и специальные понятия и категории угольной геологии, необходимые

для получения принципиально новых знаний и представлений об углегазовых месторождениях и их параметрах [7]. На основе положений и методики системного подхода и глубокого изучения надмолекулярной структуры витринита создано учение о системах углеобразования и метаногенерации [7, 8], получила новое содержание генетическая классификация улей Донбасса и теория газодинамических процессов в угольных пластах о технологичности и эффективности угольных пластов и перспективности месторождений и участков.

Исследования надмолекулярной структуры ископаемых углей методами РЭМ, дифрактометрического, колориметрического, рефлексометрии и сорбционного анализов позволили выполнить классификацию углей по типу надмолекулярной структуры витринита, соответствующей трем генетическим типам по восстановленности, дать более полную характеристику полостного пространства углей и его связи с метаногенерацией и метаноносностью. На базе структурных исследований разработаны теоретические основы классификации углей с учетом генетических типов, первичных и вторичных фаций углеобразования и газогенерации и стадийно-фазовых преобразований. Согласно этой теории возможна дифференциация углей по пригодности к подготовке суспензионных топлив, открыты принципиально новые возможности регионального и локального прогноза (картирования) метаморфизма углей.

Методы исследования изменений надмолекулярной структуры витринита служат основой предложенной теории газодинамических явлений в угольных пластах, прогноза их выбросоопасности и контроля профилактических мероприятий. Обнаружена возможность использования витринита (его надмолекулярной структуры) как индикатора геодинамических процессов на угольных и других месторождениях.

Системный подход и исследования газогенерации явились основой разработанных геологических методов обнаружения микрозалежей угольного метана, их поиска, разведки и оценки, как на площадях, не освоенных горными работами (неразгруженные горные массивы), так и в пределах отводов действующих и закрытых угольных шахт.

Системный подход использован как метод изучения альтернатив развития угледобывающей отрасли – составной части ТЭК России, что позволило дать сравнительную оценку альтернатив развития угледобывающей отрасли в целом России, отдельных угольных бассейнов – Донецкого бассейна, месторождения (горно-промышленного района) и отдельных шахт-участков. Угледобывающая отрасль должна развиваться с учетом федеральных задач – обеспечение ТЭК страны в целом и ее энергетической безопасности за счет угледобывающей отрасли (угледобыча) и федерального бюджета (новые виды топлива, транспорт – магистральные трубопроводы, железнодорожный, ТЭС и линии электропередач); на региональном уровне – обеспечение отдельных отраслей и регионов за счет отраслей народного хозяйства – угледобывающей отрасли и потребителей; на местном уровне обеспечение коммунально-бытового хозяйства топливом за счет регионального (местного) бюджета – коммунального, кооперативного, коллективного, частного предпринимательства. На конкретном примере Большого Донбасса системный подход позволил прогнозировать наличие от 16,4 до 37,8 % балансовых запасов в эффективных угольных пластах, что при общем сроке службы шахт более 60 лет позволяет около 15-20 лет вести их успешную отработку.

Геологическое обеспечение развития угольной промышленности включает:

1. Текущие задачи ранжирование угледобывающих предприятий по перспективности с закрытием неперспективных и компенсационное повышение угледобычи из эффективных угольных пластов на остающихся в работе с наименьшими экологическими и геологическими (в том числе по ресурсам) вредными последствиями.

2. Задача ближайшего времени – замена на короткий (до 10-15 лет) срок выбывающих мощностей малыми участками (шахтами) неглубокого заложения с разнообразными углями в относительно эффективных пластах

мощностью более 1 м. Запасы этих нетиповых участков обеспечивают добычу малыми шахтами до 100-150 тыс.т в год. Требования к шахтам малой мощности (нетиповым): минимальная инфраструктура, глубина заложения не более 300 м, один-два отрабатываемых угольных пласта, максимальная добыча, минимальный объем вспомогательных работ.

3. Задача на период более 15 лет, т.е. до 2015-2020 г. (оптимальный срок строительства крупных предприятий и глубоких стволов, вскрывающих горизонты на глубинах до 1000-1200 м) подготовка шахт из резерва около 70 разведанных участков, причем запасы энергетических углей будут вскрываться на еще не освоенных площадях с большими расходами на инфраструктуру, но с отработкой с поверхности. Геологическими задачами являются: пересмотр и подготовка разведанных участков в соответствии с современными требованиями, определение места заложения групповых глубоких стволов, вскрывающих площади с максимально концентрированными запасами в эффективных пластах, обеспечение длительной нагрузки на стволы модульными шахтами с относительно короткими сроками эксплуатации.

Геологические параметры полей модульных шахт умеренной и большой мощности удовлетворяют требованиям: схема шахта-пласт, основная (полная) нагрузка на один мощный очистной забой, добыча на пласт мощностью более 1 м – 2-3 тыс.т/сутки; подвиганию лавы отдается предпочтение; срок службы предприятия не более 15 лет, предварительная заблаговременная дегазация горного массива скважинами с поверхности. Размеры, положение, параметры модульных шахт устанавливаются, исходя из условий привязки к групповым глубоким стволам.

Геологическое обеспечение создания прибыльных шахт как новых, так и санированных включает выбор эффективных угольных пластов и шахтных полей с наиболее благоприятными ГГУ для избирательной опережающей отработки. Необходимо более глубокое изучение структуры и свойств углей для улучшения их потребительских свойств, получения на их базе новых перспективных топлив (угольных суспензий и др.) и более полного использования всей извлекаемой при добыче горной массы, минерализованных вод, угольного метана.

Перспективы геологического обеспечения развития Ленинградского месторождения горючих сланцев рассматривались В.С.Ванчуговым и А.Л.Панфиловым как практическое применение системного подхода к предлагаемой системе разведки месторождения горючих сланцев подземными выработками и перевода месторождения во вторую группу сложности из-за развития карста и его влияния на горные работы.

Задачи геологических исследований и геолого-разведочных работ, связанные с дальнейшим развитием угольной промышленности:

1. Совершенствование структуры запасов на действующих шахтах, подвергнутых санации, с выделением эффективных угольных пластов и эффективных выемочных участков для преимущественной (первоочередной) отработки и обоснование новых методических подходов в расчетах постоянных и временных кондиций, в учете вскрытых, подготовленных, изъятых из оборота ресурсов; блокировка и консервация запасов в неэффективных угольных пластах. Требуется повышение уровня информационно-геологической обеспеченности высокопроизводительных лав выбор пластов и участков, картирование малоамплитудной нарушенности, прогнозирование горно-геологических условий. Ведущая роль придается прогнозу газоносности и управлению процессами извлечения угольного метана, прогнозу геодинамических явлений (внезапных выбросов угля и газа) и контролю профилактических мероприятий. Одним из наиболее экономичных и эффективных методов повышения экономических показателей угледобычи считается ротация горно-геологической съемки шахтных полей с периодичностью 3-5 лет.

2. Обеспечение эколого-геологической безопасности площадей закрываемых неперспективных шахт. Требуется создание новой

методики учета оставленных, безвозвратно потерянных и временно законсервированных ресурсов с обеспечением мониторинга гидродинамических и газодинамических, инженерно-геологических и горно-геологических явлений.

ИЗУЧЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, СВЯЗАННЫХ С МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Проведены разномасштабные геохимические исследования с определением содержаний широкого круга химических элементов в рудах, коренных породах и рыхлых отложениях на ряде участков, в пределах которых известны или прогнозируются месторождения золота и других полезных ископаемых. Преобладающая часть полевых работ геохимической направленности была сосредоточена в последние годы на Северо-Западе России, в пределах восточной части Балтийского щита. Обработка полученных данных и их геолого-геохимическая интерпретация позволили выявить новые поисковые признаки, проявляющиеся как в локальных геохимических аномалиях, так и в более сложных образованиях аномальных геохимических полях (АГХП). В частности, детально охарактеризованы АГХП Хаутаварского рудного поля Южной Карелии, при этом установлено, что пространственная и элементная структуры АГХП отражают влияние сменявших друг друга во времени процессов вулканогенно-осадочного и гидротермально-метасоматического рудообразования [9]. В юго-западной ветви Костомукшской зеленокаменной структуры по результатам поисково-геохимических работ, проводившихся совместно с геологами Карельской экспедиции, выявлено и геохимически охарактеризовано перспективное золотое оруденение.

Кроме работ научно-практической направленности, проведены более фундаментальные исследования АГХП разноранговых металлогенических объектов, которые позволили развить представления о том, что общим признаком геохимических полей рудоносных объектов как сложных самоорганизующихся систем является закономерная пространственная упорядоченность и вложенность друг в друга АГХП разных иерархических уровней. При этом, с привлечением представлений синергетики, начата разработка информационно-геохимических моделей рудообразующих систем. Создан ряд концептуальных и физико-математических моделей вторичных АГХП, проявляющихся в рыхлом покрове на закрытых территориях, в том числе наложенных ореолов рассеяния восходящей миграции. На основе моделей АГХП разработаны новые компьютеризированные способы обработки поисково-геохимических данных, позволяющие более эффективно выделять и интерпретировать информативные составляющие геохимических полей [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бузкова Н.Г* Петрографические критерии редкометальной рудоносности аляскитовых гранитов // ЗВМО. 1982. № 2. С. 150-158.

2. *Вистелиус А.Б.* Концепция идеальных гранитов и ее использование при съемочных, петрографических и поисковых работах / А.Б.Вистелиус, М.А.Романова // Идеальные граниты. Вып.1. Л.: Наука, 1972. С.4-47.

3. *Гавриленко В.В.* Закономерности размещения и особенности формирования крупных и уникальных месторождений литофильных редких металлов России / В.В.Гавриленко, Ю.Б.Марин // Наука в СПГГИ; СПб, 1998. Вып.3. С.38-45.

4. *Гавриленко В.В.* Минералого-геохимические признаки крупных и уникальных месторождений, ассоциирующих с гранитным магматизмом / В.В.Гавриленко, Ю.Б.Марин, Е.Г.Панова, Л.К.Левский // Зап. ВМО. 2000. № 2. С.1-9

5. *Гульбин Ю.Л.* Опыт количественного генетического анализа структур жильного кварца на основе фрактального приближения / Ю.Л.Гульбин, Е.Б.Евангулова, К.В.Бурлаков // ЗВМО. 1997. № 6. С.103-116.

6. *Иванов М.А.* Фации мусковитовых пегматитов Сибири (Северо-Байкальская и Восточно-Саянская провинции) / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999. 117 с.

7. *Кирюков В.В.* Системные исследования в угольной геологии // Геология угольных месторождений: Межвуз. науч.-темат. сб. / УГГА. Екатеринбург, 2000. Вып.10. С.15-28.

8. *Кирюков В.В.* Промышленно-геологические факторы освоения угольно-газовых залежей Донецкого бассейна / В.В.Кирюков, О.А.Куш //

[illegible] (ТУ)
[illegible]
[illegible]

Геология угольных месторождений: Межвуз. науч.-темат. сб. / УГГГА. Екатеринбург, 1998. Вып.8. С.243-253.

9. *Марченко А.Г* Аномальные геохимические поля Хаутаваарского рудного поля Южной Карелии как отражение вулканогенно-осадочного и гидротермально-метасоматического рудообразования // Отечественная геология. 1998. № 2. С.32-36.

10. *Марченко А.Г* Выделение и интерпретация информативных составляющих геохимического поля (с примерами из поисковых работ на золото в Костомукшской зеленокаменной структуре) // Российский геофизический журнал. 1998. № 11-12. С.65-72.

11. *Beskin S.M., Larin V.N., Marin Yu.B.* Physiographic types of granitic rocks of Kazakhstan and their metallogenic significance: Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent areas, INTAS-93-1783 Project, Eds. Shatov, Seltmann e.a., 1996. Glagol Publ. House, Saint-Petersburg, p.259-268.