

ПРЕДИСЛОВИЕ

Космическое вещество, в результате аккреции которого более 4.5 млрд лет назад сформировалась Земля, имело ультраосновной состав, близкий к хондритам. Последующая его дифференциация привела к образованию ядра, нижней и верхней мантии ультраосновного состава и маломощной внешней оболочки – земной коры, незначительная часть которой приобрела состав средних и кислых пород. Ультраосновные, основные и щелочные расплавы, связанные с плавлением глубинных оболочек Земли, являются важнейшими источниками элементов платиновой группы, хрома, никеля, железа, ванадия, меди, фосфора, редкоземельных элементов, алмазов и других полезных ископаемых. Состав и рудная продуктивность этих расплавов, в первую очередь, зависят от состава мантийных субстратов, условий магмагенерации и степени частичного плавления, характера флюидного режима и еще от P - T - fO_2 - fS_2 и других параметров, изменяющихся в ходе дифференциации расплавов и их взаимодействия с окружающими породами. В совокупности все эти переменные прямо или косвенно связаны с типом геодинамических режимов проявления магматизма. Уравнение, на одном конце которого располагаются мантийные источники и расплавы, а на другом месторождения полезных ископаемых, – это уравнение со многими неизвестными. Какой бы сложной не была эта задача, целью любого геологического исследования является ее решение. Материалы, представленные в специальном выпуске журнала, охватывают разные стороны геологии, петрологии, генезиса и металлогении разнообразных мафит-ультрамафитовых комплексов. Часть исследований сводится к решению какого-либо одного вопроса, другая часть претендует на системные обобщения или рассмотрение фундаментальных проблем. Однако любой из этих форматов, несомненно, крайне важен при проведении исследований.

Специальный выпуск журнала открывает статья В.В. Холоднова с соавторами “Уральский подвижный пояс: природа и влияние “аномальной” мантии на состав структурно-вещественных комплексов Тиманид и Уралид и их уникальный рудно-ресурсный потенциал”. В работе, на широком аналитическом материале, авторы обсуждают вероятные причины аномальной геохимии ультраосновных и основных магматических пород Урала, сформированных на протяжении более двух миллиардов лет истории его геологического развития. Особое внимание уделяется тотальному обеднению всех пород ниобием. Делается вывод, что эти

параметры отражают “аномальный” состав мантии, а особенности флюидного режима магмагенерации и дифференциации расплавов являются основными факторами “фемичности” магматических пород Урала и их высокой продуктивности на Cr, Pt, Pd, Fe, V, Ti, Cu, Zn, Au и другие элементы.

Проблема формирования и распространения крупных и суперкрупных месторождений ниобия и редкоземельных элементов Томторского типа, а также платиноидов и золота на северо-западе Якутии в пределах Уджинской провинции рассмотрена в статье А.В. Толстова и А.В. Округина “Новые перспективы рудоносности Уджинской провинции ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) по результатам геолого-геофизических и минералогических исследований”. В работе проведен анализ и комплексирование новых геолого-геофизических данных с результатами минералогических исследований тяжелых концентратов из аллювиальных россыпей. На основе проведенных исследований авторы приходят к заключению, что на северо-западе Якутии можно прогнозировать наличие новых ультраосновных-щелочных комплексов Томторского и Гулинского типа, перспективных на Nb-редкоземельное и благороднометалльное оруденение.

В палеопротерозое на рубеже около 2 млрд лет назад в характере геодинамического развития Земли произошли существенные изменения, связанные с переходом к тектонике литосферных плит. Такой стиль тектонического развития планеты продолжается и по настоящее время. Однако исследователями приводятся серьезные аргументы существования океанов и зон субдукции даже в архее. Примером таких субдукционных комплексов мезо-, неоархейского возраста служит Беломорская эклогитовая провинция (БЭП) на Фенноскандинавском щите, материалы по которой представлены в статье К.А. Докукиной с соавторами “Мафит-ультрамафитовые субдукционные комплексы Беломорской эклогитовой провинции: состав и условия формирования”. Авторами дана детальная вещественная характеристика метаморфизованных осадков, базальтов, метагабброидов, метаультрабазитов и эклогитов, которые рассматриваются ими как фрагменты субдукционного офиолитового комплекса с возрастом ≈ 2.9 – 2.8 млрд лет. Составы эклогитов Салмы соответствуют океаническим базальтам типа N-MORB и E-MORB и ассоциируют с магнезиальными ультраосновными породами: серпентинитами, тальковыми сланцами, карбонатсодержащими хлоритовыми гарцбургита-

ми со слоями и жилами гранатовых пироксенитов. Минеральные ассоциации показывают последовательное прогрессивное преобразование ультрамафитов и сопутствующих пород от низкотемпературных фаций до $T > 750^\circ\text{C}$ и $P > 22$ кбар. Результаты данного исследования представляют большой научный интерес и могут быть отнесены к остро дискутируемым проблемам геологии архея.

Иной аспект архейского магматизма рассмотрен на примере Цагинского и Ачинского габбро-анортозитовых массивов Кейвской структуры на Кольском полуострове в статье Н.М. Кудряшова с соавторами “Неоархейский габбро-анортозитовый магматизм: изотопно-геохимические и геохронологические исследования Цагинского и Ачинского массивов Кейвской структуры (Кольский регион)”. Проблема формирования древних анортозитов относится к одной из ключевых в современной петрологии. На основе детального изучения и датирования U-Pb изотопным методом цирконов, выделенных из главных разновидностей пород, авторам удалось показать весьма узкий временной интервал формирования интрузий 2.75–2.67 млрд лет. Sm-Nd изотопные данные для габбро-анортозитов Цагинского и Ачинского массивов свидетельствуют о формировании первичных расплавов из обогащенного мантийного источника с $\epsilon_{\text{Nd}} = +0.1 \dots +3.1$. Sm-Nd изотопные значения для субщелочных гранитов Кейвской структуры с $\epsilon_{\text{Nd}} = 0.2 \dots +1.9$ также имеют мантийные характеристики без заметной добавки корового материала. Авторы связывают формирование архейских габбро-анортозитовых интрузий Кольского полуострова с плавлением метасоматизированной мантии под влиянием поднимающегося плюма и предполагают наличие еще больших объемов основных пород, залегающих на глубине и не вскрытых на поверхности.

Проблема гетерогенности мафит-ультрамафитовых комплексов, включая и офиолитовые ассоциации, рассмотрена в двух представленных статьях специального выпуска.

В работе А.А. Монгуша с большим коллективом соавторов “Гетерогенная природа ультрабазит-базитовой ассоциации Куртушибинского хребта (Западный Саян): вендские филлиты и ордовикские габброиды” обсуждаются результаты изучения ультрабазит-базитовой ассоциации, традиционно трактуемой в качестве единой офиолитовой, включающей дуниты, гарцбургиты, пироксениты, габброиды, долериты и базальты. Авторами было показано, что ультрамафиты вендского возраста могут быть отнесены к надсубдукционным офиолитовым комплексам, в то время как для габброидов с N-MORB геохимическими характеристиками был получен ордовикский возраст 487 ± 7 млн лет. Изотопная геохимия свидетель-

ствует, что “поздние” габброиды характеризуются значениями $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = +6.8$ и $+8.7$, что указывает на их ювенильный DMM-источник без заметной примеси субдукционного компонента.

В представленной статье Б.Б. Левочского с соавторами “Сравнительная минералого-геохимическая характеристика и рудный потенциал мафит-ультрамафитовых массивов Икчука и Дюкали (Хабаровский Край)” рассматриваются два мафит-ультрамафитовых массива Центрального Сихотэ-Алиня, залегающих в сложной аккреционной структуре, насыщенной тектоническими нарушениями. Обзор литературных данных показывает существование различных точек зрения на структуру, набор и состав пород, входящих в массивы, на их природу и формационную принадлежность. Существующие неопределенности вносят существенные осложнения в оценку металлогенической продуктивности ультрамафитов и габброидов представленных массивов. Проведенное авторами исследование, в том числе изучение разнообразия и состава сульфидных и благороднометалльных минералов, позволило произвести формационную типизацию ультрамафитов. Было установлено, что ультрамафиты массива Икчука представляют собой пластину мантийных реститов, тектонически выведенную на дневную поверхность в ходе коллизионных событий. Массив Дюкали, напротив, сформирован как продукт магматической дифференциации, где локальная гибридизация ультрамафитов и габброидов в приконтактных зонах обеспечила ликвидацию сульфидного расплава и первичную концентрацию ЭПГ.

Вопросы петрологии габброидов разного формационного типа, состава и генезиса, связанных с ними руд рассмотрены в двух статьях, представленных в этом выпуске.

В статье К.Н. Малича с соавторами “Минералогические и изотопно-геохимические индикаторы генезиса титаномагнетит-медно-сульфидных руд Волковского массива, Средний Урал” основное внимание уделено результатам изучения сульфидов, железо-титановых оксидов и амфибола из титаномагнетит-медно-сульфидных руд в габброидах. Выделены три последовательные стадии рудного минералообразования: раннемагматический, переходный и флюидно-метасоматический. Для каждой из стадий приведены характеристики состава минералов и оценки T и $f\text{O}_2$ условий формирования. Изучение изотопного состава серы в сульфидах показало, что раннемагматическая стадия рудообразования характеризуется мантийными метками, в то время как для поздней флюидно-метасоматической стадии зафиксировано резкое изотопное облегчение серы: от -2.1 до -2.2% в борните и до -2.9% в халькозине. Авторы предложили рассматривать установленную корреля-

цию между снижением отношения F/Cl в амфиболах, увеличением содержания меди в борните и отрицательным сдвигом $\delta^{34}\text{S}$ в качестве поискового критерия для выявления богатых платиноидами медно-сульфидных руд в аналогичных габбровых массивах.

Исследование И.Р. Рахимова “Петрогенезис и рудная специализация такситовых габбро поздневизейского худолазовского дифференцированного комплекса Южного Урала” посвящено петрологии и определению генезиса габброидов крайне неоднородных по текстурно-структурным особенностям. Автор приходит к заключению, что возникновение такситовых текстур в габбро обусловлено, с одной стороны, водонасыщенностью исходного расплава, а с другой – его неоднократным поступлением в ограниченную по размерам интрузивную камеру, провоцирующим образование участков с разной степенью вязкости и кристалличности. Геохимические и изотопные характеристики пород ($\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}_{(330)} = 0.70319 \dots 0.70396$ и $\epsilon\text{Nd}_{(330)} = +4.59 \dots +6.72$) указывают на то, что мантийный источник имел смешанный состав между примитивной мантией и мантией надсубдукционного клина.

Одно из открытий, которое почти 60 лет назад вызвало большой интерес российских и зарубежных геохронологов, было обнаружение на Южном Урале пород с эоархейским возрастом (около 4 млрд лет) по данным K-Ar датирования, которые за свой необычный вид и минеральный состав получили собственное название – израндиты, по названию реки Изранда, протекающей неподалеку. С тех пор эти и окружающие их породы привлекали пристальное внимание геологов и геохимиков. За это время были дискредитированы древнейшие оценки возраста, полученные K-Ar методом. Однако получение других возрастных оценок тоже было сопряжено с реальными трудностями. Лишь в 2011 г. была опубликована статья с определениями U-Pb возраста цирконов из израндитов 2696 и 2020 млн лет. Представленное в этом выпуске журнала “Литосфера” исследование Ю.Л. Ронкина “Изотопная геология израндитов (плагитоклаз-оливиновых клинопироксенитов) александровского комплекса (Южный Урал)” следует расценить как определенный вклад в изучение древнейших пород на Урале. Используя Sm-Nd изотопную систему, автору удалось выделить два события в геологической истории израндитов: палеопротерозойское (≈ 2.01 млрд лет), интерпретируемое как время регомогенизации протолита, и мезопротерозойское (≈ 1.13 млрд лет), отвечающее метаморфизму амфиболитовой фации. Аномально высокие значения $\epsilon\text{Nd}_{(1127)} = +7.5$, $\epsilon\text{Nd}_{(2014)} \gg +5.7$ и T_{DM} в интервале 2.3–1.8 млрд лет позволили автору высказать предположение, что израндиты являются фрагментами высокодеплетированной архей-

ской мантии, испытавшими автохтонное частичное плавление в палеопротерозое (≈ 2.01 млрд лет) с последующей кристаллизацией выплавки *in situ*, что и сформировало наблюдаемые кумулятивные текстуры.

Методы экспериментальной петрологии многие десятилетия играют роль независимого арбитра при проверке генетических моделей формирования магматических пород и связанных с ними рудных концентраций. Аналогичная задача была реализована при постановке экспериментов по взаимодействию в системе “кристалл–расплав” для щелочных рудоносных сиенитов, проведенных в гидротермальных автоклавах с системой быстрой закалки при 750°C и 200 МПа. Результаты этих исследований представлены в статье Д.А. Чеботарева с соавторами “Роль взаимодействия “кристалл–расплав” в формировании рудной минерализации щелочных сиенитов массива Бурпала (З. Прибайкалье): результаты экспериментов”. В ходе экспериментов на границе щелочной расплав–твердая фаза удалось зафиксировать резкое обогащение краевых зон амфибола и клинопироксена Mn, Sr, LREE, Y и Nb и кристаллизацию циркона, Zr-титанита и минералов группы чевкинита–перрьерита на границе расплав–сиенит. Хотя полученные результаты самими авторами рассматриваются как предварительные, они подтверждают теоретическую возможность формирования рудных скоплений редких и редкоземельных элементов в щелочных массивах при взаимодействии ранних закристаллизованных фаз с остаточными расплавами.

Внедрение в практику петрологических и структурных исследований современных методов дифракции обратно-рассеянных электронов (ДОЭ/EBSD) показано в работе Д.Е. Савельева с соавторами “Микроструктурные особенности оливина из офиолитовых ультрамафитов существенно лерцолитового состава по данным EBSD (на примере массивов Крака и Сыум-Кей)”. В отличие от классического изучения магматических или прототектонических ориентировок минералов на “столике Федорова”, метод ДОЭ существенно расширяет возможности исследователей в получении петроструктурной информации и ее интерпретации. Этому способствует и применение программных комплексов визуализации и анализа графической информации. На этой основе авторами в перидотитах изученных массивов были идентифицированы петроструктурные узоры мантийного и корового уровней.

Амфиболы – одни из наиболее распространенных пороодообразующих минералов в магматических и метаморфических породах любого состава, от ультраосновных до кислых. Амфиболы кристаллизуются в самом широком диапазоне T , P , $f\text{O}_2$, что лежит в основе их применения в качестве геотермометров и геобарометров. В статье

Р.Л. Анисимова с соавторами “Природа амфиболов в породах клинопироксенит-габбронорит-диоритового кааламского комплекса (Северное Приладожье)” акцент сделан на изучении этого индикаторного минерала. Несмотря на сильные метаморфические преобразования пород, авторам удалось идентифицировать амфиболы магматической стадии кристаллизации. Она характеризуется повышенным титаном и температурой равновесия, превышающей региональный термический фон метаморфических пород. Присутствие в породах магматического амфибола свидетельствует о высокой флюидонасыщенности расплава, родоначального для кааламского комплекса.

В заключение необходимо отметить, что статьи, размещенные в специальном выпуске журнала “Литосфера”, охватывают разнообразные стороны геологии, петрологии и металлогении ультрамафит-мафитовых комплексов, отражают современный уровень исследований в этой области. В них рассматриваются как фундаментальные проблемы состава мантийных субстратов и первичных расплавов, так и прикладные вопросы типизации комплексов и их рудной продуктивности. Материалы специального выпуска “Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, петрология, рудный потенциал” будут полезны как специалистам, так и студентам геологических специальностей вузов.

Е.В. Пушкарёв