

К.Е. ЕСИПЧУК

О СВЯЗИ ПЕТРОЛОГИИ С ГЕОЛОГИЕЙ, ГЕОХИМИЕЙ, МИНЕРАЛОГИЕЙ И РУДООБРАЗОВАНИЕМ

Рассмотрена роль петрологических исследований, выполненных автором или при его участии, в решении проблем формационного анализа и стратиграфии докембрия Украинского щита, метаморфизма и соотношения гранулит-гнейсовых и гранит-зеленокаменных террейнов, минералогии, геохимии и генезиса гранитов, геохимии базитов и ультрабазитов, а также связь магматизма Украинского щита с его рудоносностью.

Вопрос о взаимосвязи наук геологического профиля в широком плане обсуждался неоднократно и не нуждается в дополнительном рассмотрении. В настоящем сообщении остановимся лишь на взаимосвязи тех научных направлений, которые развиваются в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. М.П. Семененко НАН Украины, демонстрируя это на конкретных научных разработках, в которых принимал участие автор.

ФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ. ПЕТРОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ ДОКЕМБРИЯ

В западной зарубежной геологической литературе и в "Международном стратиграфическом справочнике (кодексе)" термин "формация" (*Formation*) имеет сугубо стратиграфический смысл. Формации - это литостратиграфические подразделения, на которые делится вся стратиграфическая колонка определенного региона за литологическими критериями. Две или несколько формаций объединяются в группы. Согласно русской и украинской стратиграфической терминологии формация соответствует свите, а группа - серии.

В русской и украинской геологической литературе, а также в производственной деятельности термин "формация" имеет совсем другое значение. Первым в России применил термин "петрографическая формация" Ф.Ю. Левинсон-Лессинг еще в 1888 г., обозначив им закономерную ассоциацию магматических горных пород, образовавшихся из одного магматического расплава в процессе его эволюции.

Начиная с 1950-х гг., в Советском Союзе были разработаны теоретические основы учения о геологических формациях как самостоятельного направления в науках о Земле, базирующегося на петрографических и литологических исследованиях. Под геологическими формациями большинство геологов понимали природные ассоциации горных пород, которые вследствие парагенетических соотношений тесно связаны между собой в пространстве и времени образования.

В Украине разработаны четыре разных подхода к формационному анализу докембрийских пород: генетический, петрографический, парагенетический и комплексный - вещественно-структурно-генетический. Примером первого был классический генетический анализ геологических формаций Криворожского железорудного района, выполненный Г.И. Каляевым (1965). Среди метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований он выделил

следующие формации: спилито-диабазовую, кварцкератофировую, джеспилитовую, карбонатно-лагунную с каустобиолитами, нижнюю груботерригенную и верхнюю молассоидную.

Н.П. Семененко с соавторами (1982) в пределах Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области выделил по вещественному составу несколько групп петрографических формаций: ультрабазитовые, метабазитовые, кератофировые алюмосиликатные и железисто-кремнистые.

Парагенетический подход к формационному анализу магматических и метаморфических пород Украинского щита (УЩ) использовали львовские геологи во главе с Е.М. Лазько (1975). Под породными парагенезисами эти исследователи понимают определенные ассоциации горных пород, которые закономерно повторяются на больших площадях в разных регионах. Такой сугубо эмпирический подход не требует предварительного анализа тектонических, физико-химических и палеогеографических условий, являющихся уже следствием формационных исследований. При таком подходе выделяются метаморфические, метаморфизованные, плутоно-метаморфические и плутонические группы формаций.

И.С. Усенко, К.Е. Есипчук и др. (1974) выделили первичные и вторичные формации. К первым относятся осадочные, вулканогенно-осадочные, вулканогенные и ювенильные интрузивно-магматические формации, выделение которых базируется на изучении состава горных пород, их геологического положения и реставрации генезиса. Специфика этих парагенетических ассоциаций обусловлена прежде всего тектоническими условиями кристаллизации магмы, а для осадочных пород - палеогеографическими условиями осадкообразования. Вторичные формации (метаморфические, ультраметаморфические, метасоматические) - это новообразованные породные ассоциации, возникающие вследствие глубинной переработки первичных пород под влиянием определенных термодинамических условий и глубинных флюидов и растворов. Каждому типу первичных формаций отвечают три подгруппы метаморфических формаций, которые объединяют породы низкой, средней и высокой степени метаморфизма. Ультраметаморфические формации делятся в зависимости от степени преобразования первичного субстрата на две подгруппы: мигматитовые и гранитоидные. Расчленение мигматитовых формаций проводится по составу первичного субстрата и интенсивности его переработки, а также термодинамических условий.

Использование формационного анализа, детальное петрографическое изучение метаморфических и магматических пород, эволюции докембрийского магматизма и эффективное внедрение современных изотопно-геохронологических методов позволили построить детальную и хорошо обоснованную хроностратиграфическую схему раннего докембрия УЩ, которая является основой всех региональных геологических исследований, картирования, прогнозирования, поисков и разведки полезных ископаемых. В основу этой схемы положена разработанная петрологами и геохронологами ИГМР им. Н.П. Семененко НАН Украины петролого-геохронологическая модель земной коры УЩ (1981, 1992). В соответствии с этой моделью, в формировании земной коры выделяется шесть этапов длительностью 300-600 млн лет каждый. На протяжении догеологического этапа (4,4-3,8 млрд лет) сформировалась первичная базальтовая кора, которая на следующем этапе (3,8-3,2 млрд лет) была преобразована в примитивную континентальную кору, сложенную комплексом тоналитовых и эндербитовых гранитогнейсов и в разной степени гранитизированных амфиболитов и кристаллосланцев. На мезоархейском этапе (3,2-2,8 млрд лет) формировались зеленокаменные пояса и гранулитогнейсовые комплексы. В неогархее (2,8-2,5 млрд лет) продолжалась гранитизация и стабилизация архейской континентальной коры.

В раннем протерозое (2,5-2,0 млрд лет) завершилось формирование зрелой континентальной коры на всей территории УЩ, состоялась интенсивная тектоническая дифференциация земной коры с развитием в теле громадного архейского литопланта троговых структур, подвижных поясов, зон столковения литосферных плит, краевых шовных зон и срединных массивов с зонами протоактивизации и диасхизиса. В мезопротерозое (2,0-1,6 млрд лет) проявилась тектоно-магматическая активизация и состоялась окончательная стабилизация континентальной коры.

МЕТАМОРФИЗМ. СООТНОШЕНИЕ ГРАНУЛИТО-ГНЕЙСОВЫХ И ГРАНИТ-ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ТЕРРЕЙНОВ

На территории УЩ известны все фации регионального метаморфизма (от зеленосланцевой до гранулитовой), а в экзоконтактах габбро-анортозит-рапакивигранитных плутонов наблюдаются проявления контактового метаморфизма. Изучению метаморфизма пород УЩ посвящено много научных трудов, а результаты обобщены в нескольких монографиях. Изучены термодинамические условия и пространственное распределение фаций регионального метаморфизма и метаморфических формаций, составлена карта фаций регионального метаморфизма УЩ.

Одна из актуальнейших проблем докембрийской геологии - пространственное и временное соотношение гранулитогнейсовых и гранит-зеленокаменных террейнов. Украинские петрографы отстаивают две точки зрения. Согласно одной, во всех докембрийских разрезах наблюдается гранулитовый фундамент, перекрытый образованиями амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Следовательно, гранулитовые толщи являются более древними, а их современное простран-

ственное распространение определяется лишь глубиной эрозионного среза. Украинские геохронологи (Н.П. Щербак и др.) выделяют несколько возрастных уровней гранулитов (от архея до протерозоя). Автор считает, что гранулитогнейсовые и гранит-зеленокаменные толщи могут быть как разно-, так и одновозрастными. В последнем случае их взаимное пространственное размещение связано с размещением и размерами конвекционных ячеек в мантии. В зоне восходящего сегмента соседних конвекционных ячеек образуется мантийный плюм, а в его кровле при сравнительно маломощной литосфере возникает зона растяжения и рифтообразования, где и формируются зеленокаменные пояса. Над нисходящим сегментом литосфера проседает и скупивается, здесь создается зона сжатия и интенсивного прогревания, что ведет к формированию гранулитогнейсового пояса.

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕЗИС ГРАНИТОВ

УЩ как никакой из докембрийских щитов характеризуется очень широким развитием и разнообразием гранитоидов. Не случайно украинские петрологи уделяли и уделяют пристальное внимание их изучению. На основании комплекса петрологических, минералогических и геохимических критериев разработана детальная схема классификации гранитоидных формаций УЩ. Нами изучены породообразующие биотиты, щелочные полевые шпаты, акцессорные цирконы, апатит и сфен из разных гранитоидных формаций и комплексов.

Химический состав биотитов и содержание в них элементов-примесей позволяют определять формационную принадлежность гранитов и оценивать такие параметры условий образования, как кислотность-щелочность, температура, окислительный потенциал. Эти зависимости достаточно сложные и в наиболее отчетливой форме проявляются на диаграммах сопряженного изменения железистости и отношения глинозема в четверной и шестерной координациях, приходящегося на разные миналы. По диаграмме $Al_{IV}/(Al_{IV}-1) - f$ определяется μO_2 и μH_2O (температура), а по диаграмме $Si/Al - Mg + Fe/Al$ - общая щелочность. Содержание TiO_2 в биотитах зависит не только от глубины кристаллизации, а следовательно, и от температуры, но также от щелочности минералообразующей среды, химической активности кислорода, а также содержания титана в исходной породе. Распределение в биотитах Rb, Zn, Ga и Ba определяется процессами кристаллизационной и эманационной дифференциации: первые три накапливаются в биотитах поздних фаз кристаллизации, а последний - в биотитах более ранних, меланократовых фаз. Содержание Li и Zr в значительной степени зависит от глубины генерации гранитной магмы: наиболее обогащены этими элементами биотиты из интрузивных гранитоидов, магна которых выплавлялась в нижних частях земной коры.

Самый информативный минерал в гранитах - щелочной полевой шпат (ЩПШ). Его характеристике посвящена довольно обширная литература и отдельная монография. Проведенные нами дополнительные исследования позволили выявить следующую закономерность: ЩПШ из гранитов каждого комплекса на диаграмме Аб - Ан - Орт образует ин-

дивидуальные тренды с дискретными группами, представляющими отдельные фазы и фации. В интрузивных гранитах от более ранних к поздним фазам ЩПШ снижается содержание альбитового компонента, а в палингено-анатектических коровых гранитах от ранних к поздним фациям содержание этого компонента повышается. По содержанию элементов-примесей ЩПШ разделили на три группы. Первая объединяет Ba, Sr и Rb, распределение которых подчиняется в основном фактору кристаллизационной и эманационной дифференциации. Первые два проявляют тенденцию к вхождению в решетку ЩПШ на ранних, высокотемпературных стадиях магматического и ультраметаморфического гранитообразования, в то время как Rb накапливается в поздних магматических дифференциатах и обогащает ЩПШ, кристаллизующиеся на завершающихся стадиях. Вторую группу представляют La, Ce и Nb, которые тоже накапливаются в более поздних дифференциатах, но более высокотемпературных, чем Rb. Преимущественно температурой определяется накопление элементов 3-й группы: Li обогащает высокотемпературные ЩПШ, а Zr и Cs - низкотемпературные. В интрузивных гранитоидах от ранних к поздним фазам в ЩПШ повышается содержание Rb, Zr и Cs (при понижении температуры), а в палингено-анатектических - La, Ce и Nb (при повышении температуры).

Выявлена зависимость соотношения в цирконе U, Th и Pb не только от возраста породы, но и от кислотности-щелочности минералообразующей среды. Соотношение Y и Sr в апатитах определяется прежде всего кремнеземистостью и основностью вмещающих пород. Стронцием максимально обогащен сфен из диоритов и он практически отсутствует в сфене из лейкогранитов. Ниобием и иттрием обогащен сфен из метасоматически измененных гранитов и более поздних их фаз.

Рассчитано содержание редких и редкоземельных элементов в гранитоидах разных фаз и фаций всех 15 выделенных формаций и 30 комплексов. На основании полученных данных и петролого-геохимического моделирования среди гранитоидов выделены интрузивные и ультраметаморфические образования, а среди последних - палингенные (регрессивные), анатектические (прогрессивные) и ремобилизованные разновидности. Магма интрузивных гранитоидов генерировалась в гранулитобазитовом слое земной коры, а кристаллизовалась после дифференциации в промежуточной камере и перемещении в приповерхностные участки. Палингено-анатектические граниты формировались в верхней (гранито-гнейсовой) части земной коры на месте ее генерации или после незначительного перемещения (аллохтонные граниты).

ГЕОХИМИЯ БАЗИТОВ И УЛЬТРАБАЗИТОВ

Геохимию этих пород детально изучал А.Б. Фомин, который выделил среди них образования океанического, переходного и континентального этапов. Более глубокий анализ этих материалов позволил сделать вывод, что среди элементов-примесей основных и ультраосновных метавулканитов выделяются две группы элементов: 1 - V, Cr и Co, содержание которых снижается от более древних к сравнительно молодым; 2 - Li, Rb, Ba и Ti, содержание ко-

торых в этом направлении повышается; поведение Ni ближе к первой группе, а Zn и Sr - ко второй. По диаграммам, построенным по содержанию таких элементов и их соотношениям, можно определять относительный возраст вмещающих мафитов и относить их к зеленокаменной, до- и послезеленокаменной стадиям формирования земной коры.

МАГМАТИЗМ И РУДООБРАЗОВАНИЕ

За последние 10 лет существенно расширились наши представления об эволюции магматизма УЩ и его связи с разными типами рудных формаций (работы К.Е. Есипчука, И.Б. Щербакова, С.Г. Кривдика и др.). В геологической истории УЩ выделено три последовательные стадии формирования земной коры: дозеленокаменная (3,65-3,20 млрд лет), зеленокаменная (3,20-2,60) и послезеленокаменная (2,60-1,70 млрд лет). На первой стадии в результате деятельности мантийных плюмов изливалась магма преимущественно толеитовых, часто высокоглиноземистых базальтов с подчиненными андезитами, преобразованными вследствие высокотемпературного метаморфизма в двопироксен-плаггиоклазовые кристаллосланцы и гнейсы, и внедрение силлоподобных интрузий перидотитового и пироксенитового состава. Ультраметаморфические преобразования этих пород привели впоследствии к формированию эндербитовых и эндербит-тоналитовых ассоциаций. Была сформирована первичная континентальная кора - литоплнт, практически стерильный в металлогеническом отношении.

С последующей стадией связано разделение земной коры на гранулитогнейсовые и гранит-зеленокаменные террейны. Внедряются интрузии мафит-ультрамафитов дунит-гарибургитового, дунит-перидотит-габброноритового и габбро-перидотитового состава и формируются первые вулканоплутонические ассоциации, представленные основными, средними и кислыми породами. Появляются интрузивные и палингенные гранитоиды. Металлогения этой стадии уже весьма богата: медно-колчеданная, медно-никелевая, золото-колчеданная минерализация, связанная с основными и ультраосновными породами; медно-молибденовая, золото-кварцевая и золото-теллуридная, молибденовая и вольфрам-молибденовая, олово-вольфрам-молибденовая - с гранитами и метасоматитами. С зеленокаменными и гранулитовыми поясами связано достаточно интенсивное железнакопление. С завершающими эту стадию малыми ультрабазитовыми интрузиями связаны проявления алмазов или их минералов-спутников.

Наиболее богата в металлогеническом отношении послезеленокаменная стадия, что обусловлено прежде всего интенсивным развитием гранитного и щелочного магматизма. С протерозойскими мафит-ультрамафитовыми интрузиями связано медно-никелевое и платиновое оруденение, с интрузиями и альбититами чернокварцевых гранитов, интрузивных чарнокитоидов и монзонитов - урановые месторождения, с интрузиями диоритов, гранодиоритов и гранитов - медное и медно-молибденовое оруденение, с высокоглиноземистыми гранитами - молибденовая минерализация, а аллохтонными двополевошпатовыми гранитами - золотое оруденение. Апатит-редкометаллическая минерализация ассо-

цируєт с карбонатитами, апатит-ильменитова - с габбро-анортозитами, редкоземельная - с габбро-сиенит-гранитной формацией, проявления и месторождения тантала, ниобия и лития - со щелочными сиенитами, субщелочными гранитами и пегматитами, проявления алмазов - с кимберлитами и лампроитами; хрустале-, берилл- и топазоносных пегматитов - с гранитами рапакиви и связанными с ними литий-фтористыми гранитами, бериллиевая и касситерит-танталит-колумбитовая - с редкометаллическими лейкогранитами типа пержанских и каменногильских.

РЕЗЮМЕ

Розглянуто роль петрологічних досліджень, виконаних автором або за його участю, в розв'язанні проблем формаційного аналізу і стратиграфії докембрію Українського щита, метаморфізму та спів-

відношення грануліто-гнейсових і граніт-зеленокам'яних террейнів, мінералогії, геохімії і генезису гранітів, геохімії базитів і ультрабазитів, а також зв'язок магматизму Українського щита з його рудоносністю.

SUMMARY

The report is dedicated to the connection of the author's petrological investigation with the problems formation analysis, Precambrian stratigraphy of the Ukrainian Shield, metamorphism and interrelation of granite-gneissic and granite-greenstone terrains; mineralogy, geochemistry and genesis of granites; basites and ultrabasites geochemistry, and connection of the magmatism of the Ukrainian Shield and its orebearing potential.

Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины, г. Киев

УДК 552. 33 (447)

С.Г. КРИВДІК

ПЛАТФОРМНИЙ МАГМАТИЗМ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Платформний магматизм Українського щита представлений лужними породами, анортозит-рапаківігранітними плутонами, дайками, траповими та лужними базальтами, кимберлітами. У внутрішній частині щита всі названі інтрузивні породи, включаючи кимберліти, мають протерозойський вік. Рифейські та фанерозойські лужні породи та кимберліти відомі тільки в Приазовській частині і на крайньому північному заході (Прип'ятський вал) цього регіону.

ВСТУП

Платформним магматизмом найчастіше вважають такий, який проявився на консолидованих стабільних ділянках земної кори, тобто докембрійських платформах, що складають основу або цоколь сучасних континентів.

Нерідко такий магматизм називають анорогеним, тобто він проявився після завершення складчастості (орогенезу) у рухомих поясах землі (раніше їх зазвичай іменували геосинкліналями). При цьому більшість або майже всі докембрійські платформи (Східно-Європейська, Сибірська, Китайська, Північно-Американська) оточені фанерозойськими складчастими областями, в яких проявився посторогенний магматизм (наприклад, лужний), подібний за деякими характеристиками до однойменного магматизму на докембрійських платформах. Разом з тим, докембрійським платформам притаманний такий магматизм, який не проявився на консолидованих у фанерозойських областях (їх також називають фанерозойськими платформами). Такими є кимберліти та алмазоносні лампроїти, анортозит-рапаківігранітні плутони, трапи, карбонатити, меймечити. Хоча в фанерозойських платформах виділяються однойменні породи - лампроїти (Іспанія, Італія, В'єтнам, Англія), меймечити (Камчатка), карбонатити (Забайкалля), але вони мають низку петролого-геохімічних відмінностей від платформних аналогів. Вважається, що типові платформні магматичні породи (їхні масиви, інтрузивні тіла, вулканічні потоки) не зазнають складчастості. Проте деформації порід, подібні до складчастості, можуть проявлятися і в

платформних магматитах в той час, коли вони, наприклад, локалізувалися в межах міжблокових шовних зон, як це властиво для Українського щита (УЩ).

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАТФОРМНІ МАГМАТИЧНІ ПОРОДИ УЩ

До платформних магматичних порід УЩ будемо відносити такі, які укорінилися в консолидований докембрійський фундамент (цоколь, рама) після масового гранітоутворення (анатексис, палінгенез): лужні породи і карбонатити, кимберліти, анортозит-рапаківігранітні плутони, граніти з рідкіснометалевою спеціалізацією (пержанські, катеринівські тощо), диференційовані (розшаровані) інтрузії ультраосновних-основних порід трапової формації, дайки різноманітного складу. Інколи в публікаціях анортозит-рапаківігранітні плутони УЩ відносять до субплатформних утворень. Такий термін щодо цих плутонів слід вважати невдалим, оскільки вони утворилися, коли УЩ повністю сформувався як єдина спаяна і консолидована структура, і на його території закрилися всі шовні міжблокові зони. До того ж, ще до вкорінення анортозит-рапаківігранітних плутонів віком 1,75-1,8 млрд рр., у всіх геоблоках УЩ були сформовані лужні, в т. ч. і лужно-ультраосновні, комплекси (віком 2,0-2,1 млрд рр.), а також дайки різного складу і навіть кимберліти центральної частини цього регіону (р-н м. Кіровоград). Не зовсім ясным є положення деяких інтрузивних масивів гранітоїдів, основних та середнього складу порід (Новоукраїнський, Кальміусь-Єланчицький) та чарнокітоїдів (Хлібодарівський, Букинський). Мож-