

УДК 550.93:551.71/72

Канд. горно-минерал. наук ВОЛКОВА Т.П., инженер ФЕДОТОВА Л.А. (ДонНТУ)

## **ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ**

Важнейшей особенностью аномальных геохимических полей является наличие зональности. Зональность есть закономерное изменение в пространстве различных характеристик и параметров геохимического поля [1]. Наиболее изученной является геохимическая зональность рудных тел и месторождений, на основе которой выявляются закономерности в распределении интенсивности оруденения, различных сортов руд. Геохимическая зональность полей, районов, провинций изучена значительно хуже. Выявление и изучение зональности в пределах разномасштабных металлогенических подразделений особенно важно при оценке перспективных площадей концентрации рудных элементов на разных стадиях поисково-разведочных работ.

Образование зональности имеет объективный характер и связано с внутренними и внешними факторами миграции элементов. Внутренние факторы обусловлены геохимическими свойствами элементов. Редкие элементы, за исключением Rb, Sr, Zr, имеют кларки ниже 0,03%, что обусловлено неустойчивостью ядер их атомов. Их содержание, за исключением Sr, возрастает к верхним слоям Земли, поэтому их относят к группе литофильных элементов. С ростом кремнезема и щелочей в породах возрастают и кларки этих элементов. При кристаллизации магм в обычных условиях редкие элементы рассеиваются в кристаллических решетках породообразующих и некоторых акцессорных минералов. При кристаллизации магм в особых геологических условиях происходит формирование остаточного магматического расплава. Еще в 30-х годах В.М. Гольдшмидт выделил в изверженных породах две контрастные группы элементов: сидерофильную и литофильную. Элементы первой группы, включающей Cr, Ni, Co, V, Sr, Sc, в силу кристаллохимической близости к Fe, Mg, Ca, Al при кристаллизации изоморфно входят в состав породообразующих минералов. Элементы второй группы Li, Rb, Cs, TR, Nb, Ta, Zr, Hf отличаются от петрогенных элементов зарядом и слишком большим или малым радиусом ионов, что не способствует их изоморфному захвату. Поэтому они накапливаются в остаточном магматическом расплаве [2]. Эти основные направления геохимического разделения петрогенных и редких элементов сохраняются в глубинных процессах формирования магм и при их дальнейшей дифференциации в условиях земной коры.

На основе обобщения опыта металлогенических и прогнозно-поисковых исследований выделен ряд природных иерархических рудоконтролирующих и рудоцентрирующих систем, определяющих закономерности распределения месторождений редких металлов. Они определяются значительной ролью древних платформ и, особенно, щитов платформ в появлении редкометальных провинций [3]. Это связано с тем, что месторождения редких металлов формируются в процессе длительной и многоступенчатой дифференциации вещества. Наиболее благоприятствует этому устойчивый тектонический платформенный режим и наличие крупных очагов магматического расплава. Согласно последним данным о глубинном строении Земли, в фундаменте платформ существуют крупные сиалические ядра, возникшие в раннем докембрии на начальных стадиях формирования континентальной коры, но в значительной степени определивших эволюцию платформ и на более поздних стадиях [4]. Поэтому энергетическая обеспеченность платформ была выше чем геосинклиналей.

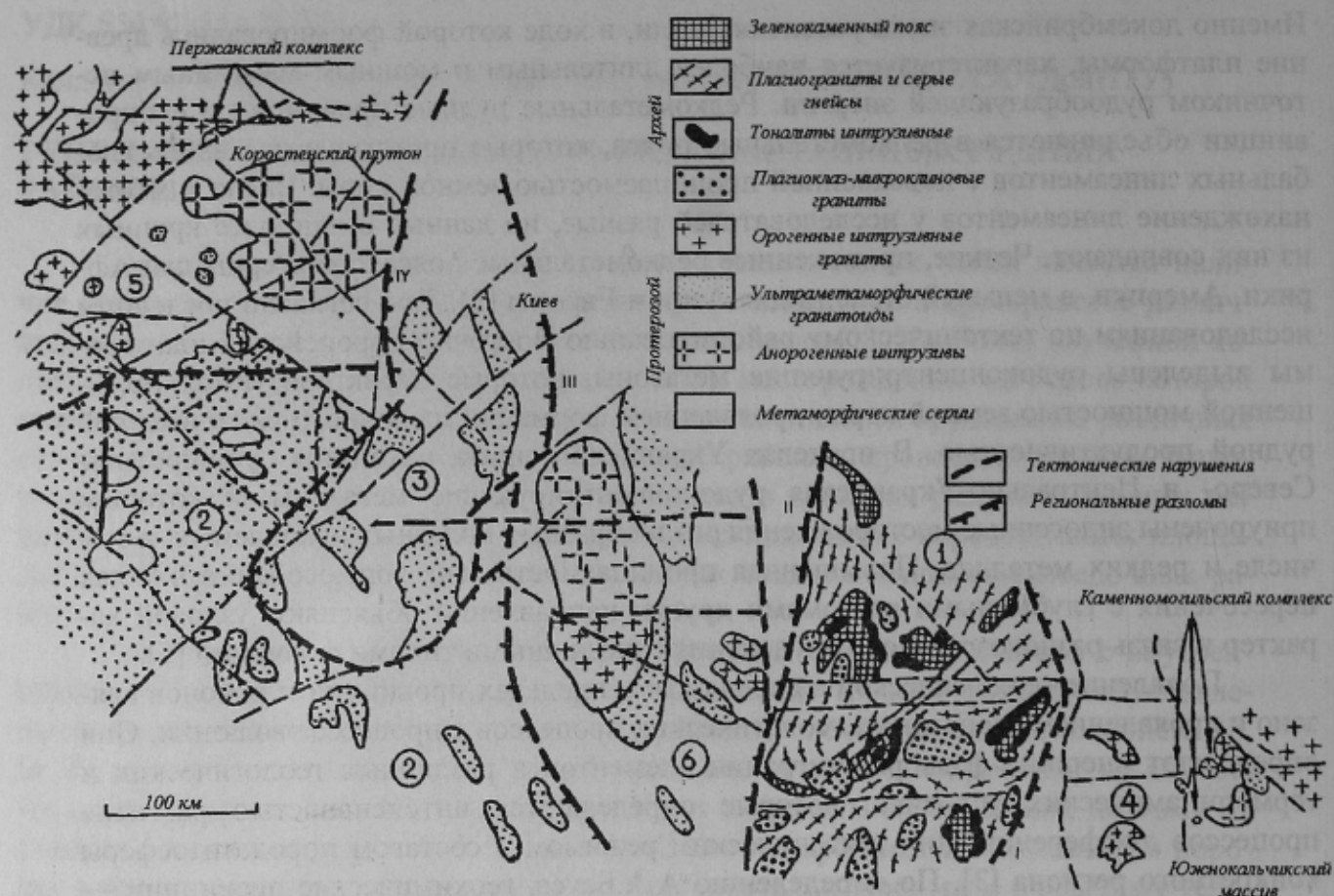
Именно докембрийская эпоха развития Земли, в ходе которой формировались древние платформы, характеризуется наиболее длительным и мощным мантийным источником рудообразующей энергии. Редкометалльные рудные провинции и субпровинции объединяются в редкометалльные пояса, которые протягиваются вдоль глобальных линеаментов с повышенной проницаемостью земной коры. Число и местонахождение линеаментов у исследователей разные, но данные о наиболее крупных из них совпадают. Четкие, протяженные редкометалльные пояса характерны для Африки, Америки, в меньшей степени для Азии и Европы [3]. Так, согласно последним исследованиям по тектоническому районированию Восточно-Европейской платформы выделены рудоконцентрирующие мегазоны, которые характеризуются повышенной мощностью земной коры, проявлением формаций щелочного ряда, высокой рудной продуктивностью. В пределах Украинского щита находятся субширотные Северо- и Центрально-Украинская рудоконцентрирующие мегазоны, к которым приурочены эндогенные месторождения разнообразных полезных ископаемых, в том числе и редких металлов. Повышенная проницаемость этих зон, особенно в узлах пересечения с глубинными разломами других направлений объясняют узловую характер и связь разновозрастного оруденения с различными типами формаций [5].

Появление геохимической зональности в пределах провинций и районов связано с проявлением глобальных геологических процессов в процессе эволюции. Они определяют внешние факторы миграции элементов в различных геологических и термодинамических условиях, которые определяются интенсивностью развития процессов дифференциации, тектоническим режимом и составом пород литосферы конкретного региона [3]. По определению А.А.Беуса, геохимические провинции — это крупные структурные элементы земной коры, характеризующиеся едиными чертами геохимической эволюции. Своеобразие ассоциаций элементов, а также появление и распределение в пространстве их месторождений, по А.Е. Ферсману, является результатом особенностей исторического развития конкретного участка земной коры — провинции или района. Формирование палеосвода Украинского щита вызвано подъемом астенолита, сопоставимого по размерам с размерами щита в современном эрозионном срезе [4]. Украинский щит разделен на два вида крупных тектонических структур: кратонов и разделяющих их мобильных поясов. К первым отнесены блоки — Северо-Западный, Ингуло-Ингулецкий, Приазовский; ко вторым — Днестрово-Бугский, Росинско-Тикичский, Среднеприднепровский (рис. 1).

Наиболее разнообразное редкометалльное оруденение характерно для кратонов. В течение истории формирования щита эти блоки испытали неоднократную тектоно-магматическую активизацию. Эволюция блоков сопровождалась последовательным развитием процессов ультраметаморфизма и гранитизации, формированием гранито-гнейсовых куполов и очагово-купольных структур, определенной магматической зональностью. Большую часть их площадей занимают интрузивные гранитоиды, которые связаны с многофазными плутонами - Коростенским, Корсунь-Новомиргородским, Восточно-Приазовским [4]. Огромные массы глубинного магматического расплава служили источником вещества и энергии для процессов дифференциации, в которых происходила сепарация и концентрация рудного вещества. Внедрение расслоенных ультраосновных-основных мантийных диапиров сопровождалось появлением систем дизъюнктивных нарушений различной ориентировки, движения по которым определили глыбово-блоковую структуру всего Украинского щита и его блоков.

Дальнейшее развитие палеосвода Украинского щита сопровождалось определенным распределением тепловых потоков. Основными факторами этого рас-





**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Украинского щита Мегаблоки (цифры в кружках): 1 — Среднеприднепровский; 2 — Днестрово-Бугский; 3 — Росинско-Тикичский; 4 — Приазовский; 5 — Северо-Западный; 6 — Ингуло-Ингулецкий. Римские цифры: I — Орехово-Павлоградская шовная зона; II — Криворожско-Кременчугская шовная зона; III — Система Ядлово-Трактемировского и Первомайского разломов; IV — Брусилловский и субширотный Андреевский разломы

пределения являются энергетическая активность и флюидонасыщенность магм, мощность и проницаемость земной коры, геодинамический режим отдельных регионов [6]. В пределах провинций появление редкометалльных областей связано с зонами автономной тектоно-магматической активизации [3]. Для зон тектоно-магматической активизации характерно распространение дифференцированных интрузий центрального типа. Они представляют собой многофазные магматические образования и развиваются в узлах пересечения глубинных разломов. Длительность развития и полиформационный состав центральных комплексов является следствием многократной активизации одних и тех же разломов [5]. Системы крупных разрывных нарушений способствуют образованию зон повышенной проницаемости пород и контролируют размещение поздних фазовых дифференциатов. В соответствии с нормальным ходом дифференциации магматических расплавов они имеют более кислый или щелочной состав. Узловое распределение разновозрастных интрузий в пределах рудных районов определяет магматическую и соответствующую ей геохимическую зональность. С наиболее поздними интрузиями связано размещение позднемагматического и постмагматического редкометалльного оруденения. В этой связи редкометалльные месторождения областей тектоно-магматической активизации при-

урочены к долгоживущим региональным зонам повышенной проницаемости и обладают рядом специфических черт [3]:

- связью с породами повышенной щелочности;
- длительностью формирования и многостадийностью парагенезисов руд;
- небольшой глубинностью месторождений, обусловленной проницаемостью тектонических зон, среди которых они образуются;
- широким развитием щелочного метасоматоза (микроклинизации, альбитизации) при рудообразовании.

Все эти черты в значительной мере характеризуют редкометальные месторождения субплатформенных блоков, имеющих много общего в геологическом строении. Всего на Украинском щите выделено восемь эпох тектоно-магматической активизации [6]. Каждая из них нашла свое отражение и в строении кратонов.

Северо-Западный блок отделен от смежных Росинско-Тикичского и Днестрово-Бугского блоков субмеридиональным Брусилевским и субширотным Андрушевским глубинными разломами. В конце нижнего протерозоя происходит внедрение габбро-норитов и габбро-анортизитов Коростенского плутона (см. рис.1). Основные породы занимают почти четвертую часть площади плутона. Формирование основных пород относится к начальной стадии становления Коростенского плутона. Массивы габбро-анортозитов приурочены к зонам пересечения северо-задных разломов с субмеридиональными и северо-восточными. и Граниты, наиболее распространенные в плутоне, окаймляют массивы основных пород, занимая наиболее обширную территорию в северной части плутона. Они представлены несколькими разновидностями, наиболее важными из которых являются граниты-рапакиви. Вдоль осадочных образований овручской серии, расположенных к северу от плутона, находится ряд массивов формации редкометальных субщелочных гранитов и аляскитов пержанского комплекса. Пержанские граниты развиты в Суцано-Пержанской зоне разломов, которая по данным аэрокосмических снимков выделяется как глубинная (до поверхности Мохо) линейная структура. Она четко выражена гравитационной ступенью северо-восточного простирания в поле силы тяжести, ширина которой составляет 5–15 км при амплитуде до 10–18 км. На космофотоснимках отчетливо проявляется активизация этой зоны в платформенный этап, что подтверждается смещением или прерыванием ею разломных зон более позднего заложения, а также особенностями гидросети в пределах линеаментной зоны [7]. В центральной части Суцано-Пержанской зоны находится Ястребецкий массив габбро-сиенитовой формации с циркон-редкоземельной минерализацией. По своему структурному положению, составу пород и рудных минералов он является близким аналогом Володарского массива Приазовья, в котором находится Азовское циркон-редкоземельное месторождение.

Ингуло-Ингелецкий мегаблок примыкает с запада к Среднеприднепровскому. Эти два блока разграничивает Криворожско-Кременчугская шовная зона. Восточная граница блока проходит по системе Ядлово-Трактемировского и Первомайского разломов (см. рис.1). В пределах блока широко распространены нижнепротерозойские гранито-гнейсовые супракрустальные образования. Появление интрузий кировоградского комплекса формации нормальных гранитов, новоукраинского комплекса формации чарнокитов и гранитов, а также формации рапакиви (Корсунь-Новомиргородский плутон) связано с мезопротерозойской активизацией. Они сформировали единую полосу простирания юг-север, расположенную ближе к западу блока на значительном удалении от Криворожско-Кременчугской шовной зоны.



Корсунь-Новомиргородский плутон представлен породами основной, кислой и щелочной групп. Из них наиболее распространены граниты (75–80%) при подчиненном развитии основных и щелочных пород. В поздних фазах гранитов-рапакиви отмечается редкоземельная минерализация [8]. В северо-восточной части плутона расположен Русскополянский массив редкометалльных лейкогранитов и аляскитов. Среди щелочных пород наибольший интерес представляет Маловисковское рудное поле. Оно представлено массивами и малыми интрузиями щелочных арфведсонитов, рибекитовых и эгириновых сиенитов, приуроченных к южному контакту Корсунь-Новомиргородского плутона с гранитоидами Новоукраинского массива. Сиениты имеют редкометальную специализацию на цирконий, редкие земли, ниобий.

Высокая перспективность Приазовского блока на редкие металлы доказана в последние годы. Он является юго-восточной окраиной Украинского щита. В докембрийской истории формирования тектонической структуры Приазовского блока, как и всего Украинского щита, различаются два крупных периода. Первый от 3500 до 2000±100 млн.лет. охватывает архей и палеопротерозой; второй — от 2000 млн.лет и до настоящего времени, приходится на средний и верхний протерозой, палеозой, мезозой и кайнозой. В течение первого периода был сформирован сиалический слой коры и, в основном, завершилось формирование жесткого кристаллического фундамента. В структуре Приазовского блока выделено 2 блока II порядка — Западно-приазовский и Восточноприазовский, разделенных Центрально-Приазовской межблоковой зоной. Она прослежена на расстояние свыше 120 км и фиксируется гравитационной ступенью и минимумами гравитационного поля [9]. Консолидация западной и восточной частей Приазовского блока происходила в разное время. Наиболее крупные складчатые структуры Приазовского блока сформированы в архее и имеют преимущественно северо-западное и субмеридиональное простирание. В Западно-приазовском блоке II порядка они представлены Корсакским синклиниорием и Салтычанским антиклинорием, в Восточноприазовском — Мангушским синклиниорием и Кальчик-Кальмиусским антиклинорием. Преимущественное распространение здесь имеют архейские метаморфизованные суперкрупные образования. В Приазовье магматическая зональность выражается в смене с юго-запада на северо-восток пород ультраосновного состава, имеющих преимущественное распространение в Корсакском синклиниории, нормальными и кислыми в Салтычанском антиклинории, затем субщелочными и щелочными гранитоидами Восточного Приазовья [10]. Следствием этого является геохимическая и металлогеническая зональность Приазовского рудного района. Первый этап раннепротерозойской протоактивизации проявился во всех структурах мощной гранитизацией с образованием мигматитов, а на завершающей стадии — гранитоидов. Последние широко распространены в ядерной части Салтычанского антиклинория и представлены гранитоидами обиточненского и салтычанского комплексов. Массивы залегают среди метаморфических пород, имеют с ними постепенные переходы, наследуя акцессорную минерализацию (ортит) богатых кальцием гнейсов. Стабилизация западной части завершилась 2650 млн.лет назад внедрением даек гранитоидов в осипенковскую свиту, с которой связаны месторождения и рудопроявления редкометалльных пегматитов [9]. Наиболее продуктивные из них расположены в пределах Сорокинской, Куйбышевской и Федоровской троговых грабенообразных структур, расположенных по периферии Салтычанского антиклинория, а также в его ядерной части (Елисеевское пегматитовое поле). Более поздние эпохи эндогенной активности в Западном Приазовье проявлены формированием Черниговской зоны разломов, время заложения которой определяется как 2000 ±50 млн.лет. Наиболее поздняя активизация отмечена в мезозое формиро-

ванием Конкско-Ялынской впадины. В Восточном Приазовье тектоно-магматические активизации отмечены в рифейский период, затем в герцинскую и альпийскую эпохи. В результате здесь появились магматические породы кислого и щелочного состава различных возрастных комплексов, начиная от палеопротерозойского (андольский, хлебодаровский), мезопротерозойского (южнокальчикский, каменномогильский, октябрьский), и заканчивая мезо-кайнозойским. Особенно широкое распространение здесь имеют субщелочные и щелочные породы. Из 30% площади, занимаемой щелочными породами на УЩ, 95% принадлежит Приазовскому блоку. Они имеют повышенные кларки редких элементов, создавая геохимическую специализацию пород Восточного Приазовья. Породы формации субщелочных и щелочных гранит-граносиенитов (южнокальчикский и каменномогильский комплексы) относятся к субщелочным разновидностям с содержанием суммы щелочей от 8,5 до 11,5%. характеризуются сидерофиллитовыми составами биотитов и феррогастингситовыми составами роговых обманок. Отличительной геохимической особенностью пород рассматриваемой формации являются ниже кларковые содержания рубидия, лития, цинка, относительно низкие содержания концентраций ванадия, кобальта, хрома, никеля, повышенные фоновые содержания циркония (0,1–0,3%) и редких земель (0,05–0,2%) [8].

Граниты формации рапакиви УЩ (Коростенский и Корсунь-Новомиргородский плутоны) обладают субщелочным составом (сумма щелочей колеблется в пределах 8–9,5%), сидерофиллитовыми составами биотитов с железистостью 75–85% и феррогастингситовыми составами роговых обманок. Геохимической особенностью этих образований являются чуть выше средних содержания рубидия, бария, олова, молибдена, цинка и наиболее низкие содержания ванадия, кобальта, никеля, хрома. Наиболее поздние разновидности гранитов формации редкометалльных лейкогранитов и аляскитов (комплексы: каменномогильский, русскополянский, лезниковский, пержанский) характеризуются субщелочным составом с содержанием суммы оксидов щелочей 7,5–9%, сидерофиллитовыми составами биотитов с железистостью 95–98%, лейкогранитовым содержанием  $\text{SiO}_2$ . В геохимическом отношении они отличаются от других формаций резко повышенными содержаниями фтора, лития, рубидия, бериллия, олова, свинца, цинка, молибдена и чрезвычайно низкими концентрациями бария и стронция.

Нетрудно заметить, что все гранитоиды рассматриваемых формаций имеют субщелочной состав, редкоэлементную или редкоземельную специфику с максимальными содержаниями литофильных элементов в поздних фазах. Общим для них является также структурное положение на щите, наличие многофазных интрузивных комплексов, наличие долгоживущих тектонических разломов, которые способствуют широкому развитию процессов ощелачивания. Для всех литофильных редких элементов наблюдается близкая к линейной зависимость величины кларков от кислотности пород, выраженной через коэффициент литофильности ( $L$ ), определяемый как отношение концентрации элемента в породе к его кларку в континентальной литосфере [11]. При  $L > 3$  магматические породы становятся потенциально рудоносными. Примером тому является распределение редких элементов в щелочных комплексах Приазовья (рис.2).

Магматические серии щелочных пород образуются в различной геодинамической обстановке. Необходимым условием их образования является завершение формирования консолидированной гранит-метаморфической коры. Известно несколько формационных типов магматических пород с которыми связаны наиболее продуктивные редкометалльные формации (табл. 1).



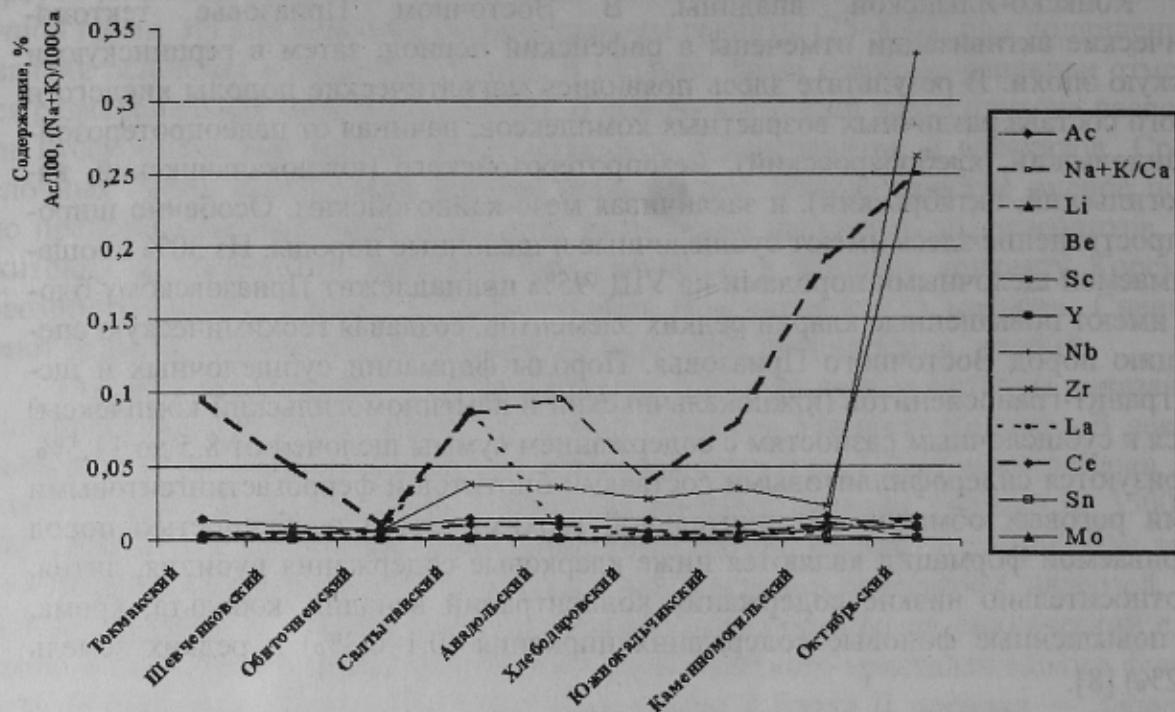


Рис. 2. Связь содержаний редких элементов с кислотностью и щелочностью пород

В результате неоднократного внедрения порций магматического расплава образуются наиболее продуктивные редкометальные формации: карбонатитовые; щелочных пород, связанные с нефелин-калишпатовыми массивами; бериллиеносные флюоритовые метасоматиты [12]. Для них характерно обогащение щелочами, способствующее концентрации летучих компонентов и редких металлов. Общей геохимической тенденцией является повышение концентрации редких элементов при переходе от ранних дифференциатов (ультраосновных, основных) к поздним. Особенно перспективными на редкие металлы являются нефелиновые сиениты ультраосновных щелочных комплексов, изначально обогащенные мантийным веществом [4]. В них содержания редких элементов (тантал, ниобий) в результате фазовой дифференциации достигают промышленных содержаний (0,01 и 0,1% соответственно в Ловозерском массиве).

Табл. 1. Формации магматических пород редкометальной специализации

Формационный тип	Исходные магмы	Ассоциация редких элементов	Коэффициент литофильности
Гранитовый	базальтовые и палингенные щелочно-земельные	Ta, Li, Rb, Cs	1,5-2,5
щелочно-гранитовый	щелочно-базальтовые и пантеллеритовые	Ni, Li, Y, TR	4-15
агпаитовый нефелин-сиенитовый	фонолитовые и нефелин-сиенитовые	Nb, Zr, TR	>10
карбонатитовый	щелочно-ультраосновные и силикатно-карбонатные	Nb, TR, Sr	2-10

Таким образом, появление геохимической зональности рудных районов связано с эволюцией регионов и последовательностью проявления в них геологических процессов. Перспективность редкометальных рудных районов следует из оценки

площадей распространения продуктивных пород. Это субщелочные и щелочные породы, имеющие типоморфную ассоциацию редких элементов Их появление в Восточном Приазовье определено эволюцией архейских гранито-гнейсовых куполов первого порядка. Их формирование привело к образованию мощных зон сжатия (Салтыгчанский и Кальчик-Кальмиусский антиклинорий) и мощных зон растяжения (Центральноприазовская межблоковая зона). В последней, благодаря процессу «базификации», создаются мощные геохимические барьеры для дальнейшего рудоотложения литофильных элементов. Кроме того, повышенная проницаемость этой области способствовала широкому распространению и возможности многоэтапной глубинной дифференциации магм основного состава. Повышение содержаний рудных элементов связано не только с процессом магматической дифференциации. Механизм сепарации рудного вещества присущ всем геологическим процессам — метаморфическим, метасоматическим, гидротермальным и т.д. В результате именно в этой области наиболее полно прошли процессы дифференциации, определившие геохимическую зональность этого рудного района.

### Библиографический список

1. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М: Недра, 1983. — 191 с.
2. Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов / В.Я.Терехов, Н.И. Егоров, И.М.Баюшкин, Д.А.Минеев. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 360 с.
3. Архангельская В.В. Закономерности размещения эндогенных редкометалльных месторождений. — М.: Недра, 1980. — 284 с.
4. Красовский С.С., Оровецкий Ю.П. Глубинное строение земной коры Украинского щита: современные представления // Минералогический журнал, 2000. — Т.22. — № 2-3. — С. 57-76.
5. Галецкий Л.С. Шевченко Т.П., Черниенко Н.Н. Трансрегиональные рудоконцентрирующие мегазоны активизации Украины // Рідкісні метали – погляд у майбутнє. — Київ: збірник наук.праць ІГН НАНУ, 2001. — С. 33-34.
6. Белевцев Я.Н., Каляев Г.И., Галецкий Л.С. Эпохи и зоны активизации Украинского щита и связи с ними оруденения // Закономерности размещения полезных ископаемых. — М: Наука, 1975. — С. 230-235.
7. Металиди С.В., Нечаев С.В. Суцано-Пержанская зона. — Киев: Наукова Думка, 1983. — 136 с.
8. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко А.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов. — Киев: Наукова думка, 1990. — 236 с.
9. Закруткин В.В., Кулиш Е.А. и др. Метаморфические комплексы восточной окраины и склона Украинского щита. — К.: Наукова думка, 1990. — 251 с.
10. Глевасский Е.Б., Каляев Г.И. Тектоника докембрия Украинского щита // Минералогический журнал, 2000. — Т.22. — № 2-3. — С. 77-91.
11. Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений. — М.: Недра, 1992. — 308 с.
12. Солодов Н.А. Минералогия редкометалльных формаций. — М.: Недра, 1985. — 225 с.

© Волкова Т.П., Федотова Л.А., 2003

УДК 550.834:53

Канд. техн. наук ТИРКЕЛЬ М.Г., инженер КОМПАНЕЦ А.И. (УкрНИМИ)

### ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ОСЛОЖНЯЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОСНОВАНИЯ ПЛОЩАДКИ СТАДИОНА «ШАХТЕР» МЕТОДАМИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Геологическая обстановка играет решающую роль в формировании экологических условий: устойчивости уровней поверхностных и подземных вод, геохимиче-