УДК 550.4

И.В.МАРАСАНОВА
Геолого-разведочный факультет,
группа РМ-00-1

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Сделана попытка подготовки презентации для наглядного отражения процессов магматического рудообразования, динамика которых передана с помощью программы MS PowerPoint. Проведена классификация механизмов магматического рудообразования с их подразделением на процессы дифференциации магмы и концентрации обособившегося рудного вещества. Выделено три механизма магматической дифференциации (кристаллизационный, ликвационный и дистилляционный) и четыре механизма концентрации рудного вещества (гравитационный, инъекционный, эксплозивный и флотационный). Выделенные процессы смоделированы и проиллюстрированы примерами образования конкретных месторождений. Рассмотрены условия реализации процессов магматической дифференциации и концентрации рудного вещества, а также факторы, влияющие на особенности их проявления.

The paper makes an attempt to prepare the presentation of the visually observable image of magmatic ore-forming process, where its dynamic is displayed with animation tools on the base of MS PowerPoint program. Mechanisms of the magmatic ore-formation are classified with their subdivision into processes of magma differentiation and concentration of a segregated ore-substance. Thus, there are distinguished three mechanisms of the differentiation: crystallization, liquation and distillation, and four mechanisms of the ore-substance concentration: gravitation, injection, explosion and flotation. The use of animation tools allows modeling of the analyzed processes and their illustrating by examples of some real deposits formation. Conditions needed for realization of magmatic differentiation and ore-substance concentration processes are reviewed together with the factors effecting peculiarities of their appearances.

Компьютеры все шире входят в профессиональную и повседневную жизнь. Представляется интересным и перспективным использовать компьютерные технологии в лекционном процессе. С этой целью выбрана тема «Магматическое рудообразование», и с помощью программы MS PowerPoint подготовлена презентация-лекция. Преимущества по сравнению с классическим процессом чтения лекции следующие: графический материал готовится заранее, что позволяет не тратить время на его воспроизведение на доске; подготовка иллюстративного материала не трудоемка и легко поддается редактированию; высокое качество иллюстративного материала исключает возможность ошибок в конспектах студентов из-за сложности чтения с доски; использование эффектов анимации значительно повышает наглядность представляемого материала; лекция может тиражироваться при самостоятельной работе студентов; динамический характер иллюстрирования процессов особенно удобен при самостоятельных занятиях студентов заочного факультета. В настоящей презентации сделана попытка наглядного представления процессов магматогенного рудообразования, динамика которых может передаваться средствами анимации.

При построении любых моделей формирования рудных тел, отличающихся от вмещающих пород повышенным содержанием промышленно ценных минералов или элементов, необходимо предложить механизм накопления рудного вещества. Образование любого рудного тела отчетливо распадается на два связанных между собой процесса: перевод рудного элемента или минерала в дифференциально подвижную форму; направленное перемещение рудного элемента или минерала и их накопление с образованием участков повышенной концентрации рудного вещества.

При анализе процессов магматического рудообразования необходимо раздельно рассмотреть возможные причины дифференциации расплава и последующей концентрации рудного вещества. Следует пояснить, что в данном случае термин дифференциация магмы

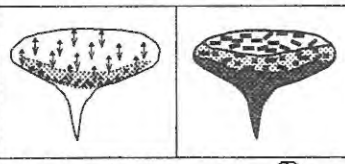
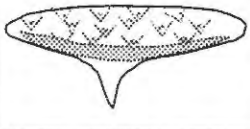
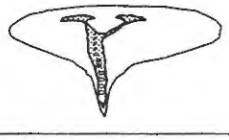
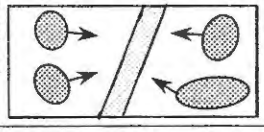
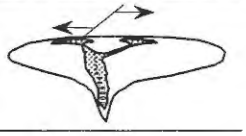
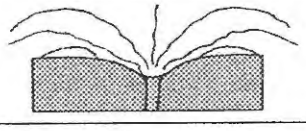
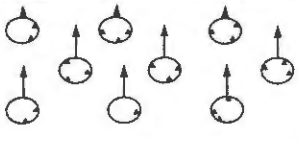
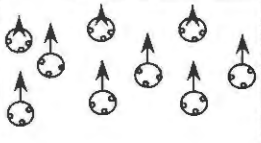
рассматривается более узко как процесс разделения первично однородной магмы на обособленные в той или иной мере части, которые могут независимо перемещаться друг относительно друга. Их дифференциальная подвижность может привести в дальнейшем к однонаправленному перемещению какой-либо части, выделившейся из расплава, с образованием участков ее повышенной концентрации (рудного тела).

Для магматических процессов наиболее хорошо известны три механизма дифференциации магмы: кристаллизационный, ликвационный (ликвация) и дистилляционный (дистилляция). При их проявлении в первично однородной магме по тем или иным причинам появляются новые фазы: твердая кристаллическая фаза в случае кристаллизационной дифференциации, вторая жидкая, обычно рудная фаза при ликвации и газовая (флюидная) фаза при дистилляции. Во всех перечисленных случаях дифференциация проявляется в образовании из гомогенной жидкости гетерогенной системы. Составляющие части гетерогенной системы могут иметь фазовые или диффузионные границы. Диффузионный характер границ между обособленными частями магмы возможен только в динамическом режиме; в статическом состоянии благодаря процессам диффузии данная неоднородность будет нивелирована.

Дифференциация расплава – необходимый, но не достаточный процесс для формирования рудных тел. Рудные тела образуются при концентрации в локальном объеме обособившихся в результате проявления процессов магматической дифференциации и обогащенных рудным веществом фаз или не имеющих фазовых границ областей расплава. Обладая дифференциальной подвижностью, они могут перемещаться относительно основной массы расплава в гравитационном поле или в градиентных полях, имеющих иную природу. Рассмотрено четыре основных механизма концентрации рудного вещества: гравитационный, инъекционный, эксплозивный и флотационный (см. таблицу).

Остановимся на каждом из трех механизмов дифференциации магмы в отдельности. В процессе кристаллизационной дифференциации в расплаве по мере его охлаждения появляются мельчайшие кристаллики-зародыши наиболее тугоплавкого минерала, что и показано в презентации-лекции при помощи эффектов анимации. При достижении определенного размера кристаллики начинают под действием силы тяжести погружаться вниз. Если первым кристаллизуется рудный минерал, то

Модели процессов формирования рудных тел магматических месторождений

Механизм концентрации рудного вещества	Тип магматической дифференциации		
	Кристаллизационная	Ликвационная	Дистилляционная
Гравитационный			
Инъекционный			
Эксплозивный		–	–
Флотационный			–

кристаллики рудного минерала погружают в нижнюю часть магматического резервуара и там накапливаются. Этот процесс прекратится только после начала кристаллизации силикатного каркаса. В итоге рудными минералами будет обогащена определенная (преимущественно нижняя) часть интрузива.

Процесс гравитационной концентрации продолжается при последовательной кристаллизации силикатных минералов и определяет расслоенность рудовмещающих интрузивов. В результате проявления гравитационного механизма концентрации рудного вещества образуются рудные тела, преимущественно вкрапленные руды. Индивиды рудных минералов представлены идиоморфными кристаллами. При образовании позднемагматических месторождений в расплаве по мере его охлаждения появляются мельчайшие кристаллики-зародыши наиболее тугоплавкого силикатного минерала. Их перемещение под действием сил гравитации приводит к обогащению наиболее тугоплавким минералом нижних уровней магматического резервуара. При достижении более низкой температуры начинается кристаллизация более низкотемпературного минерала. Все это время рудная составляющая накапливается в межкристальном пространстве в виде рудного расплава. Если силикатные породы не испытывают воздействия внутренних или внешних напряжений, приводящих к образованию трещин, то при дальнейшем понижении температуры происходит кристаллизация рудного расплава. Для образовавшейся в результате проявления этих процессов вкрапленной руды характерна сидеронитовая структура, характеризующаяся резким ксеноморфизмом рудного минерала по отношению к силикатам.

Процесс ликвации проявляется в разделении первоначально однородной гомогенной магмы на две или более несмешивающиеся жидкости. Если одна из этих жидкостей представлена более тяжелым рудным расплавом, то капельки такого расплава будут опускаться под действием силы тяжести вниз и там накапливаться. Завершается этот процесс также в результате кристаллизации основного объема силикатного расплава.

Процесс дистилляции в магме наблюдается при проникновении в магму флюидной фазы из внешнего источника или в результате ассимиляции магмой пород, реакция с которыми сопровождается выделением газа (например, карбонатных пород). В этом случае система магма – флюид не равновесна. Попадающий в магму флюид растворяется в магме, модифицируя ее состав и свойства. Если скорость поступления флюида в магматическую систему υ_1, скорость его растворения в магме υ_2, а скорость диффузии компонентов флюида в магме υ_3, то при $\upsilon_1 > \upsilon_2 > \upsilon_3$ будет формироваться трансмагматический поток флюидной фазы и обрамляющая его зона модифицированного расплава, обогащенного содержащимися во флюидной фазе компонентами. Процесс дистилляции (образования флюидной фазы в магме) непосредственно не приводит к переходу рудного вещества в дифференциально подвижную форму, но благодаря его проявлению в магме при определенных условиях могут возникать области динамической неоднородности расплава, отличающегося по составу, плотности и реологическим свойствам, который может перемещаться относительно основной части магмы. Этот процесс по своей сути близок процессу флюидизации расплава, что дает основания для использования этого термина применительно к рассмотренному процессу.

Рудообразующая роль процесса дистилляции не ограничивается только флюидизацией расплава. Резкая плотностная неоднородность газовой и жидкой фаз приводит к возникновению потоков газовых пузырьков, которые при наличии в магме твердой или отликвировавшей жидкой фаз могут вызывать процессы их флотации. Экспериментально процесс флотации металлических капель в силикатном расплаве воспроизведен Л.Н.Овчинниковым. Еще ранее на возможность участия флотационных процессов в образовании платиновых концентраций в Бушвельдском массиве указывал П.А.Вагнер. Весьма вероятна важная роль флотационных процессов в образовании медно-никелевого оруденения в верхнем эндоконтакте рудоносных силлов Норильского района.

Научные руководители: д.г.-м.н. проф. *А.В.Козлов*, к.т.н. с.н.с. *О.В.Быкова*