

- cal. and natural observations // Contrib. Mineral and Petrol. -1977. -V.63. -P. 175-198.
36. Ferry J.M., Spear F.S. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet // Carnegie inst., 1977. -V.76. -P.579-581.
37. Перчук Л.Л. Взаимосогласование некоторых Fe-Mg геотермометров на основе закона Нернста: ревизия // Геохимия. -1989. -№ 5. -С. 611-622.
38. Hodges K.V., Spear F.S. Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire // Amer. Mineral. -1982. -V.67. № 11/12. -P.1118-1134.
39. Pigage L.C., Greenwood H.J. Internally consistent estimates of pressure and temperature: the staurolite problem // Amer. J. Sci. -1982. -V. 282, № 7. - P. 943-969.
40. Hoinkes G. Effect of grossular-content in garnet on the partitioning of Fe and Mg between garnet and biotite. An empirical investigation on staurolite-zone samples from the Austroalpine Schneeberg Complex // Contrib. Miner. Petrol. -1986. -V.92. № 3. -P.393-399.
41. Hanes A., Forest R.C. Empirical garnet-muscovite geothermometry in low-grade metapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies) // J. Metamorphic Geol. -1988. -V.6. №3. - P. 297-309.
42. Stormer J.C., Jr. A practical two- feldspar geothermometer // Amer. Mineral. -1975. -V. 60, № 7/8. -P. 667-674.
43. Whitney J.A., Stormer J.C., Jr. The distribution of $NaAlSi_3O_8$ between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations // Amer. Mineral. -1977. -V. 62, № 7/8. -P. 687-691.
44. Haselton H.T., Howies G.L., Hemingway B.S., Robie R.A. Calorimetric investigation of the excess entropy of mixing in analbite-sanidine solid solutions: lack of evidence for Na, K short- range order and implications for two-feldspar thermometry // Amer. Miner. -1983. -V.68. - P. 394-413.
45. Powell M., Powell R. Plagioclase - alkali feldspar geothermometry revisited // Mineral. Mag. -1977. -V. 41, № 318. -P. 253-256.

УДК 552.1:553.481 (470.32)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ПЕТРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАГМАТИЧЕСКОГО АРЕАЛА ЕЛАНСКОГО КОМПЛЕКСА ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Ю.Н.Стрик

Воронежский государственный университет

Результаты исследования еланского норит-диоритового раннепротерозойского комплекса Воронежского кристаллического массива показали, что магматические тела группируются в пространственно обособленную аномальную узловую структуру, внутри которой расстояния между магматическими телами существенно сближены; их размещение в пределах этой структуры симметрично относительно вертикальной оси L_2 , а в любом горизонтальном сечении плотность размещения магматических тел находится в обратной экспоненциальной зависимости от квадрата расстояния до вертикальной оси симметрии.

Аномальная магматическая структура характеризуется концентрической петрохимической зональностью, выраженной закономерным изменением в породах содержания петрохимических компонентов в зависимости от их местоположения относительно оси симметрии; совокупности горных пород, слагающих интрузии аномальной структуры, образуют единую петрогенетическую серию.

Соответствие установленных эмпирических закономерностей результатам моделирования дает основание считать выявленную аномальную магматическую структуру конечным состоянием эволюции физически обособленного единого магматического очага - очаговым комплексом.

Еланский комплекс по геолого-геофизическим данным локализуется в пределах узкой (до 30-40 км) Елань-Тамбовской структурно-формационной зоны Воронежского кристаллического массива протяженностью более 300 км [1]. Но достоверно к настоящему времени в результате буровых работ установлено несколько десятков небольших по размеру (от 0,3 до 12-15 км²) штокообразных крутопадающих интрузивных тел, размещенных преимущественно на ограниченной площади 50х60 км. Изотопное определение возраста U-Pb методом по циркону показало время формирования комплекса в интервале 2050±14 - 2065±15 млн. лет [2]. Вмещающие метаосадочные песчаниково-сланцевые породы воронцовской серии на контакте с интрузиями изменены. В составе еланского комплекса

выделяются две главные фазы - ранняя норитовая с жильными дериватами (норит-порфириды) и последующая диоритовая, сопровождающаяся внедрением даек диоритовых порфиридов и гранитоидов. Особенности морфологии интрузивных тел, структурно-текстурные характеристики пород комплекса свидетельствуют об их формировании в субвулканических условиях. С Еланской и Елкинской интрузиями комплекса связано сульфидное Cu-Ni оруденение.

Петрохимически породы комплекса отличаются рядом специфических особенностей. Наиболее показательным определенное несоответствие между высокими содержаниями кремнекислоты (52-60 и более мас. %) и высоким содержанием окиси магния (до 20% в меланократовых разностях).

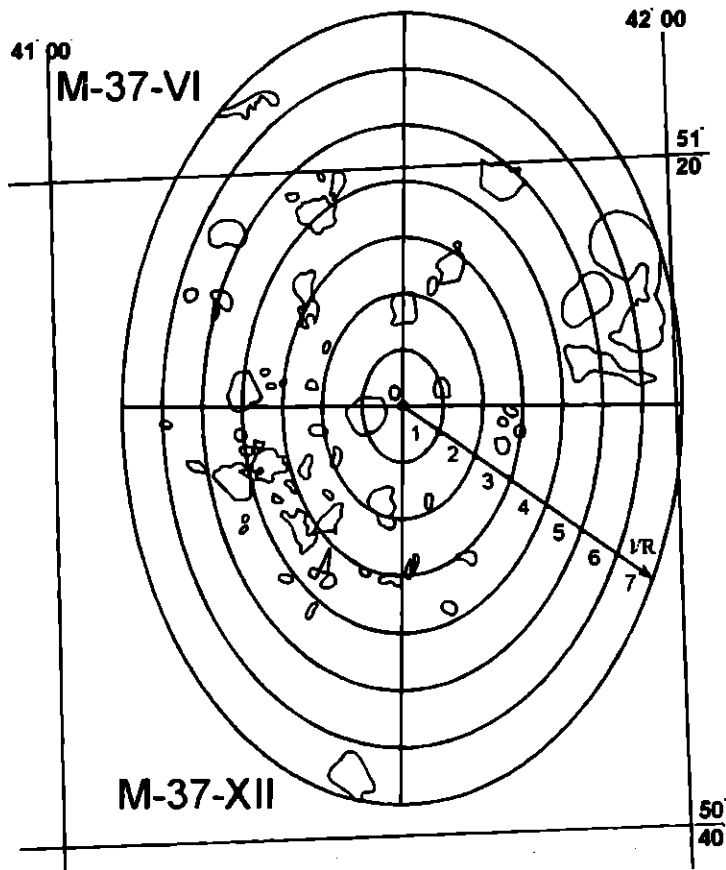


Рис.1. Схема размещения норитовых интрузий еланского комплекса и геометризация магматического ареала.

Исследование пространственной структуры магматических ареалов проводилось для всех магматических комплексов, распространенных в пределах Калач-Эртильского геоблока. Однако их полная структура может исследоваться в настоящее время только для мамонского и еланского комплексов, что обусловлено достаточно надежной их картируемостью в геофизических полях, заверкой большинства массивов буровыми скважинами, достаточно хорошей их изученностью.

Оптимальным объектом для исследования является еланский комплекс в силу его компактного расположения на площади размером 50x60 км и высокой достоверности исходной геологической информации о составе, строении и размещении входящих в него интрузивных тел.

В качестве источника информации для изучения пространственной структуры интрузий еланского комплекса использовалась схематическая геологическая карта Воронежского кристаллического массива масштаба 1:500000, авторы В.И.Лосицкий и др., научный редактор Н.М.Чернышов; 2000 г.

Анализировалось размещение только норитовых тел, поскольку из-за недостатка фактических данных интрузии диоритового состава не всегда надежно классифицируются по принадлежности к мамонскому или еланскому комплексам. Сущность анализа пространственного размещения магматических тел заключается в геометризации магматического ареала на основе картографического изображения магматических тел, расчете плотности их размещения, сравнении расчетных данных с теоретическими. Процедура анализа подробно излагалась

в [3]. Геометризация исходных данных осуществлялась методом скользящего среднего с помощью программы *surfer*. По результатам четырех циклов сглаживания была составлена карта плотности размещения магматических тел еланского норит-диоритового комплекса, которая свидетельствует о наличии аномальной обособленной структуры слабо асимметричной формы со сложным внутренним строением. Для выявления геометрических характеристик рассчитан коэффициент анизотропии, равный 1,35. Геометрически ареал распространения норитовых тел обладает центральной симметрией (ось L_2) и описывается эллипсом, длинная ось которого ориентирована на север (рис. 1). Такая ориентировка магматического ареала не совпадает с основным северо-западным направлением системы разломов глубокого заложения, с которыми предположительно связано образование еланского комплекса. Это обусловлено либо отличием ориентировки поверхностных и глубинных структур, что было установлено для магматических образований Туркестано-Алая [4], либо связано с погрешностями картирования магматических тел комплекса. Расчет плотности размещения интрузивных тел в магматическом ареале осуществлялся с помощью программы *MapInfo* (6 версия). Изменение плотности размещения магматических тел определялось в зависимости от расстояния до центра магматического ареала (точка 0 на рис. 1), для чего был выполнен расчет доли площади, занимаемой интрузивными телами в пределах семи эллиптических колец, удаленных от центра на последовательно увеличивающееся расстояние. Результаты расчета приведены в таблице 1. Установлено отчетливое уменьшение этого параметра по мере удаления от геометрического центра магматического ареала. Кривая зависимости удовлетворительно описывается обратной экспоненциальной функцией вида $\rho = ae^{-bR^2}$, корреляционное отношение равно 0,76 (рис. 2).

Таким образом, достоверно установленные к настоящему времени норитовые интрузии образуют компактную пространственную группировку, имеющую характерные признаки магматической системы очагового типа - отчетливую пространственную структуру, выраженную наличием симметрии относительно оси L_2 и законом размещения магматических тел, описываемым функцией типа $\rho = ae^{-bR^2}$.

Проблема комагматичности серии пород, слагающих еланский комплекс специально не рассматривалась, но в той или иной степени затрагивалась многими исследователями при решении проблемы никеленосности [5, 1, 6, 7]. Полученные данные позволяют с достаточной определенностью утверждать существование генетических связей между всеми образованиями комплекса и их принадлежность к единой магматической системе очагового типа. Основные аргументы, подтверждающие гипотезу комагматичности, заключаются в следующем:

Таблица 1

Расчет плотности размещения интрузивных тел в Еланской очаговой структуре

№ эллиптического кольца	Элементы эллипса		Площадь эллиптического кольца, км ²	Площадь интрузивных тел в эллиптическом кольце, км	Плотность размещения интрузивных тел в эллиптическом кольце, %
	Большая полуось, км	Малая полуось, км			
1	2	3	4	5	6
1	4,4	3,6	49,8	4,7	17,9
2	8,8	7,2	149,3	16,1	20,5
3	13,2	10,8	248,8	18,4	14,1
4	17,6	14,4	348,3	30,0	16,3
5	22,0	18,0	447,9	32,5	13,9
6	26,4	21,6	547,4	36,6	12,7
7	30,8	25,2	646,9	15,3	4,6

Примечание: параметры эллиптических колец и их номера в таблице соответствуют рисунку 1.

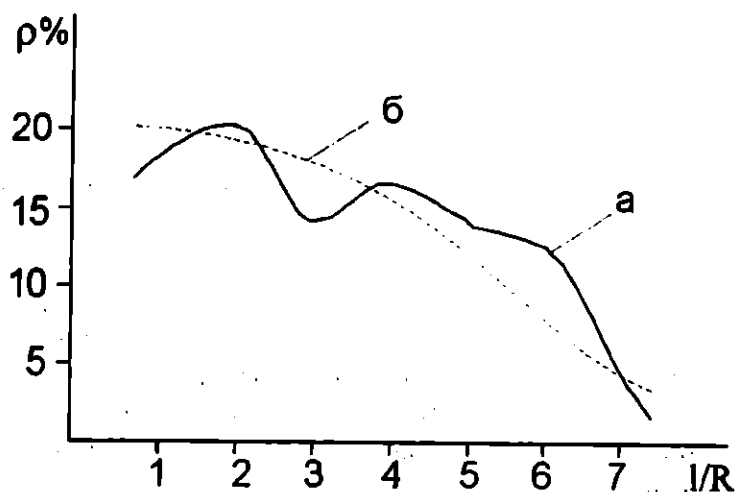


Рис.2. Зависимость плотности размещения интрузивных тел от расстояния до центра ареала: а - эмпирическая зависимость; б - теоретическая аппроксимация

уравнением $\rho = ae^{-bR^2}$; $1/R$ - доли радиуса аномальной структуры; ρ - плотность размещения магматических тел.

Все интрузивные тела комплекса в пределах исследуемой территории имеют одинаковое двухфазное строение. Структурно-текстурные особенности пород, практически постоянное присутствие в породах в разных количествах вкрапленников ортопироксена и плагиоклаза свидетельствуют о малой глубине становления всех интрузий и наличии выровненной гипсометрической топологической поверхности становления комплекса, являющейся нижней границей замыкания питающей сети очаговой магматической системы.

Петрографический состав пород, характер взаимоотношений их различных типов во всех массивах комплекса достаточно близки. Разновидности пород обусловлены вариациями содержаний главных породообразующих минералов и различной степенью вторичных постмагматических преобразований. Для большинства разновидностей характерны постепенные взаимопереходы.

Породообразующие минералы обладают рядом специфических особенностей. Ортопироксен отличается достаточно высокой магнезиальностью и одновременно ее широкими вариациями, причем содержание энстатитового минала остается почти

неизменным в ряду меланократовые - лейкократовые нориты. Плагиоклазы характеризуются широкими вариациями состава от олигоклаза до лабрадора, но зависимость основности плагиоклаза от основности пород не установлена [8]. Среди фенокристаллов ортопироксена и плагиоклаза по данным С.М.Фролова присутствуют протокристаллы глубинного происхождения.

Хромшпинелиды еланского комплекса устойчиво характеризуются редкой особенностью - высокими содержаниями цинка и хрома и малыми окиси железа и магния, чем существенно отличаются от шпинелей Еланского плутона мамонского комплекса [9].

Результаты факторного анализа [5] указывают на наличие устойчивой известково-щелочной тенденции дифференциации исходной мафитовой магмы. Этот факт может свидетельствовать о единстве магматического источника норитовых интрузий различной степени рудоносности. Одновременно установлено различие исходных расплавов и их последующей эволюции норит-диоритового комплекса и ближайшего к нему расслоенного Еланского плутона, принадлежащего к мамонскому комплексу.

Однотипные породы различных интрузий комплекса характеризуются близкими концентрациями малых элементов. В ряду от меланократовых норитов к диоритам отмечены аналогичность трендов вариаций их содержаний, выраженная последовательным обогащением некогерентными (Zr, Nb, Y, Rb, Ba, Ti, K) и обеднением совместимыми (Cr, Ni, Co, V) элементами [10]. Геохимическое моделирование показало, что реально наблюдаемые вариации содержаний малых элементов объясняются фракционной кристаллизацией ортопироксен-плагиоклазовой ассоциации.

Таким образом минералого-петрографические и петрогеохимические особенности пород комплекса дают основание предполагать наличие единого сингенетического ряда пород - петрогенетической серии, сформированной в результате синхронно-последовательной двухступенчатой кристаллизационной дифференциации единого магматического

Таблица 2

Статистические параметры зависимости содержания MgO от кремнекислотности в норитах еланского комплекса

№ пп	Массив	Статистические параметры			MgO, вес.% при SiO ₂ = 56,00 %	Объем выборки
		ρ	коэффициенты уравнения регрессии			
			a	b		
1	2	3	4	5	6	7
1	Еланский	-0,746	-0,992	67,10	11,55	32
2	Ёлкинский	-0,420	-0,642	48,19	12,24	36
3	Троицкий	-0,952	-1,179	77,87	11,85	11
4	Бороздиновский	-0,756	-1,010	70,02	13,46	8
5	Новопокровский	-0,844	-0,638	45,84	10,14	15
6	Романовский	-0,927	-0,716	49,02	8,92	12
7	Русановский	-0,661	-0,872	61,98	13,15	4
8	Некрыловский	-0,861	-0,755	55,88	13,60	13

Примечание: коэффициенты корреляции значимы при $g = 0,05$

расплава в промежуточной магматической камере и in situ.

Исследование теоретической модели эволюции единичного магматического очага показало, что при котектическом типе плавления он характеризуется концентрической петрохимической зональностью, отражающей степень частичного плавления пород субстрата. Такая петрохимическая зональность магматической системы относительно ее геометрического центра должна сохраняться вплоть до уровня становления интрузивных массивов как обязательный компонент общей петрохимической структуры очагового комплекса. В дифференцированных сериях пород основного состава, где вариации содержаний химических компонентов обусловлены главным образом процессом фракционирования субликвидусных кристаллических фаз, реликты петрохимической зональности могут проявляться только у тех элементов, которые характеризуются постоянством коэффициентов распределения в большом диапазоне интенсивных параметров магматической системы. Из петрогенных компонентов линейным характером тренда дифференциации обладает окись магния.

Главным процессом, сформировавшим серию пород еланского комплекса, была кристаллизационная дифференциация, обусловленная фракционированием парагенезиса ортопироксен-плагиоклаз [10]. Петрохимически фракционирование выражено в наличии значимых корреляционных связей между компонентами. Наиболее ярко выражена близкая к линейной зависимость содержаний окиси магния от кремнекислоты (табл.2), отражающая фракционирование ортопироксена. Исследование этой связи в каждом из восьми опробованных массивов норитов показало, что зависимость MgO - SiO₂ устойчиво отрицательная, рассчитанные коэффициенты корреляции значимы при $g=0,05$ и практически не отличаются от корреляционных отношений, то есть зависимость действительно линейного типа и существенная. Однако обнаруживаются значительные рас-

хождения по величине свободного члена в линейных уравнениях регрессии. На рисунке эта особенность выражается субпараллельным положением линий регрессии. Данный факт не может быть объяснен с позиций кристаллизационной дифференциации. Параллельными линиями трендов дифференциации обладают порции исходного расплава, отличающиеся по содержанию магния. По данным А.В.Переславцева [8] исходный расплав Еланского норит-диоритового массива содержал приблизительно 56 мас.% SiO₂. Используя уравнения регрессии, были рассчитаны в каждом опробованном массиве содержания окиси магния при фиксированном содержании SiO₂ = 56,00 %. Вариации содержания окиси магния при постоянной кремнекислотности оказались весьма значительными (табл.2), что свидетельствует о различной магнезиальности исходных расплавов в различных магматических камерах.

Полученные значения содержаний $MgO|_{SiO_2=56\%}$ были использованы для проверки гипотезы о наличии концентрационной петрохимической зональности в исследуемой магматической ассоциации. Расчет зависимости содержания окиси магния в исходных расплавах различных массивов от расстояния этих массивов до геометрического центра ареала (рис.3) показал, что такая связь существует, коэффициент корреляции равен -0,731 и значим при $g=0,05$. Уравнение регрессии $MgO|_{SiO_2=56\%} = -0,826(I/R) + 15,74$, где I/R - безразмерная величина, характеризующая меру удаления любой точки ареала от его геометрического центра (рис.4). Таким образом гипотеза о наличии концентрической петрохимической зональности магматического ареала норитовых интрузий еланского комплекса подтверждается.

Завершая анализ еланского норит-диоритового комплекса, можно утверждать, что выделенная в его составе аномально-компактная группа интрузий характеризуется симметричной эллип-

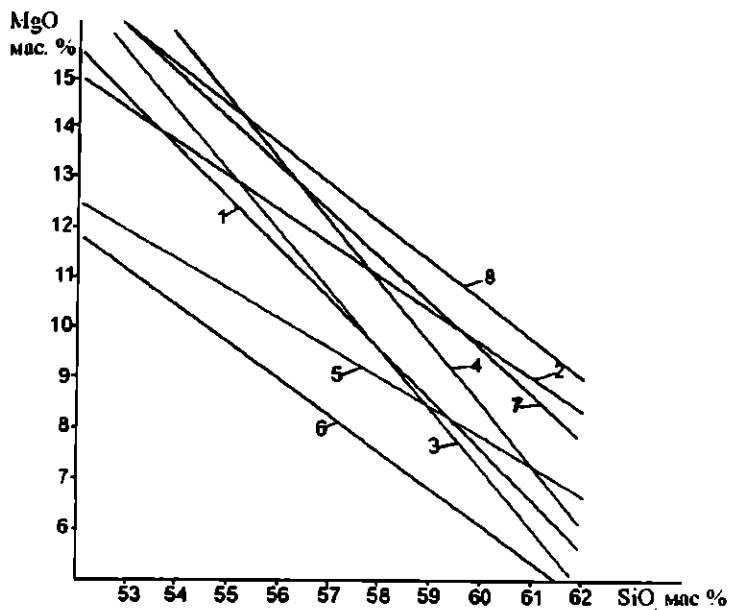


Рис.3. Зависимость содержания оксида магния от кремнекислотности в норитах еланского комплекса. Порядковые номера линий регрессии на рисунке соответствуют номерам интрузивных массивов в таблице 2

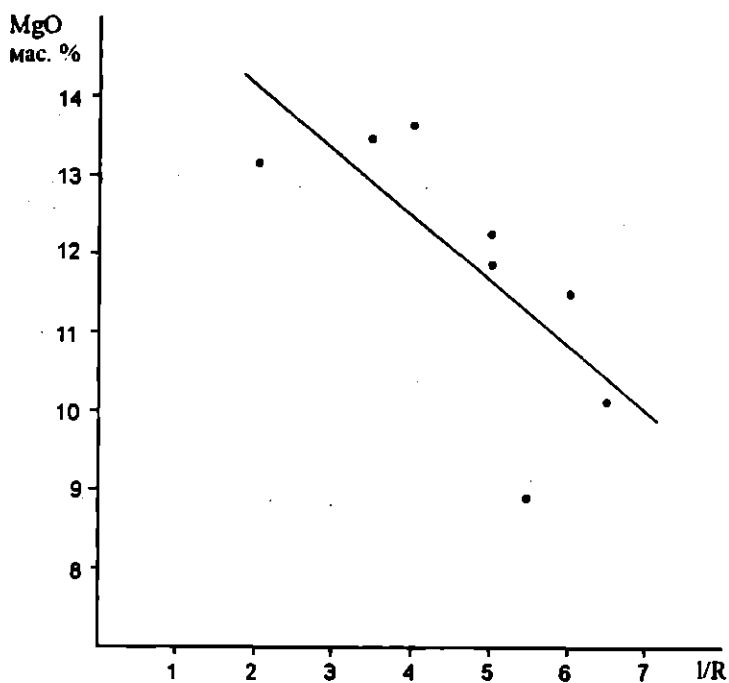


Рис. 4. Зависимость содержания оксида магния в исходных расплавах различных массивов еланского комплекса от их расстояния до геометрического центра магматического ареала

совидной формой, обратной экспоненциальной зависимостью плотности размещения интрузий от расстояния до геометрического центра ареала, генетическим родством пород, слагающих единую серию, и концентрической петрохимической структурой. Следовательно, в данных отношениях рассматриваемая аномальная структура аналогична теоретической модели элементарной магматической системы и является очаговым комплексом.

Проведенная проверка результатов моделирования и выявленные закономерности структурной организации интрузивных тел не дают полного ответа на один вопрос: являются ли они специфическими для данного региона или имеют всеобщий характер в пределах какого-то типа геологических

структур. То есть речи идет о границах применения результатов теоретического моделирования.

В магматической геологии широко пользуются терминами "очаговый ареал", "очаговая структура" и им подобными, но они рассматриваются преимущественно в структурно-морфологическом аспекте [11]. В ряде публикаций приводятся единичные сведения о группировании разновозрастных геологических тел магматической природы, их пространственной сближенности относительно друг друга.

Ю.П.Масуренковым был проведен анализ распределения современных вулканов в Западном секторе Тихоокеанского пояса. Установлено, что наиболее часто встречающееся расстояние между соседними вулканами 5-10 км (более 50% всех вулканов), около 30% вулканов удалены на расстояние 10-20 км [12]. Такое распределение достигается, благодаря группированию вулканов в отдельные локальные центры, внутри которых расстояния между ними существенно сокращены [13], а количество вулканов обратно пропорционально квадрату расстояния до центра структуры [14]. Поверхностные признаки таких систем имеют и структурное воплощение в виде купольно-кольцевых структур. На Камчатке выделено 120 таких форм, на Курилах - 70, в Японии - 144. Диаметры кольцевых структур варьируют в очень широких пределах от нескольких километров до 250-300 км. Распределение вулканов по радиальным интервалам структур неоднородно, возрастает к центру сгущения и является одной из форм поверхностного проявления локализованного потока вещества и энергии. В подавляющей своей массе кольцевые структуры совпадают с такими сгущениями вулканов.

О.Н.Егоров, исследовавший несколько эндогенных центров Камчатки [13], показал, что непременной чертой их строения является концентрическая структура, которая подчеркивается субкольцевыми разломами, субкольцевым расположением вулканических аппаратов и интрузий, концентрацией в их центральных частях (выделенных по структурному либо морфологическому признаку) магмопроявлений, особенно кислого состава, полей и зон метасоматитов, взрывных центров, более высокой активности палеогазогидротерм.

Дж. Элдер [15] указывает на групповое расположение интрузивов в пределах некоторых пространственных и временных интервалов как характерную особенность вулканизма Земли. Узловые сгущения интрузивных тел установлены Р.А.Ереминым [16] в верхнем течении реки Колымы. Имеются данные Романовского Н.П. о группировании близких по возрасту интрузивных массивов в магматические структуры регионального и субрегионального уровней [17]. Аномалии повышенной распространенности мезозойских гранитоидов, фиксируемые минимумами силы тяжести, протягиваются

почти непрерывной полосой вдоль всего тихоокеанского побережья Америки и северо-востока Азии [18].

Приведенный обзор литературных данных показывает, что выявленные закономерности структурной организации интрузивных тел Туркестано-Алая и Воронежского кристаллического массива не являются специфическими для данных регионов. Они имеют общий характер для магматических образований, синхронных по времени формирования.

Выводы

Результаты исследования естественной магматической ассоциации (еланского комплекса) Воронежского кристаллического массива показали:

1) геологически синхронные по времени образования магматические тела еланского комплекса группируются в пространственно обособленную аномальную узловую структуру, внутри которой расстояния между магматическими телами существенно сближены;

2) размещение магматических тел в пределах этой структуры симметрично относительно вертикальной оси L_2 или L_∞ ;

3) в любом горизонтальном сечении плотность размещения магматических тел находится в обратной экспоненциальной зависимости от квадрата расстояния до вертикальной оси симметрии;

4) совокупности горных пород, слагающих интрузии аномальной структуры, образуют единую петрогенетическую серию и подчиняются правилам полярности и комплементарности;

5) аномальная магматическая структура характеризуется концентрической петрохимической зональностью, выраженной закономерным изменением в породах содержания петрохимических компонентов в зависимости от их местоположения относительно оси симметрии.

Соответствие установленных эмпирических закономерностей результатам моделирования дает основание считать выявленную аномальную магматическую структуру конечным состоянием эволюции простейшей магматической системы (физически обособленного магматического очага), то есть элементарной ассоциацией (очаговым комплексом), с которой начинается надпородный уровень организации вещества.

Анализ литературных данных свидетельствует, что системная организация отдельных магматических тел в аномальные структуры с определенным законом размещения - общее явление для геологически синхронных магматических образований, независимо от их состава, времени образования и местоположения, основной закон их пространственной композиции.

Благодарности: Автор приносит благодарность М.Е.Шульге за помощь при автоматизированной обработке картографических данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УР.09.01.032

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. -1986. -№ 12. -С. 42-54
2. Чернышова М.Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив). - Воронеж, 2002. - 184 с.
3. Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок. В 2-х томах. -Т. 2. - М., 2002. -424 с.
4. Стрик Ю.Н., Ненахов В.М. К проблеме прогноза металлогенических объектов, связанных с гранитоидным магматизмом (на примере Туркестано-Алая). - Изв. вузов. Геол. и разведка. -1994. -№ 6.
5. Бочаров В.Л., Гриненко Л.Н., Плаксенко А.Н., Левин В.Н. Минералого-геохимические признаки никеленосных норит-диоритовых интрузий (Воронежский кристаллический массив) // Геохимия. -1988.- №8.- С.1159-1167.
6. Чернышов Н.М. Металлогеническое районирование Воронежского кристаллического массива в связи с его никеленосностью // Геол. рудных месторождений.- 1990.- №3. С.3-16.
7. Чернышов Н.М., Переславцев А.В., Молотков С.П., Чернышова М.Н. Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол.- 1991.- №10.- С. 111-124.
8. Переславцев А.В., Слюняев А.А. Породообразующие минералы и петрогенезис никеленосных норит-диоритовых интрузий Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол.- 1992.- №11.- С. 81-98.
9. Бочаров В.Л., Плаксенко А.Н., Фролов С.М., Касатов А.С. О первично-коматитовом источнике никелевых сульфидных руд в норит-диоритовых интрузиях Воронежского кристаллического массива // Геохимия.- 1987.- №3.- С.430-437.
10. Переславцев А.В., Слюняев А.А. Закономерности фракционирования малых элементов в никеленосных норит-диоритовых интрузиях Воронежского кристаллического массива // Геол. рудных месторождений.- 1991.- №4.- С.32-46.
11. Юшманов В.В. Тектоно-магматические концентрические комплексы (теоретические, методические и практические вопросы изучения).- М., 1985.- 235 с.
12. Масуренков Ю.П. Закономерности распределения вулканов в зонах островных дуг.- М., 1982.- С. 80-99.
13. Егоров О.Н. Центры эндогенной активности (вулканические системы). -М., 1984. - 166с.
14. Масуренков Ю.П. Система вулкан-очаг-структура (гелого-петрологический аспект проблемы). Ч. 1 // Вулканология и сейсмология.- 1980.-№ 4.- С. 34-49.
15. Элдер Дж. Количественное лабораторное изучение динамических моделей магматических интрузий // Механизм интрузий магмы.- М., 1972.- С.213-229.
16. Еремин Р.А., Шахтыров В.Г. Типизация геологоструктурных обстановок проявления золото кварцевой формации для прогнозирования оруденения // Тихоокеанская геол. - 1985. - № 5.- С. 72-78.
17. Магмато-рудные системы / Власов Г.М., Компаниченко В.Н., Малышев Ю.Ф. и др. - М., 1986. -256 с.
18. Романовский И.П. Рудно-магматические системы притихоокеанских орогенных сооружений Азии и их связь с зонами и центрами глубинной разрядки эндогенных процессов // Тихоокеанская геол.- 1985.- № 2.- С. 26-32.