



УДК 550.84:553.4+552.1:53

## ПЕТРОФИЗИКА, ЭВОЛЮЦИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХОВ МАНТИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА (ВКМ)

Н.С.Афанасьев, И.И.Кривцов\*

*Воронежский государственный университет  
\*ФГУПП «Воронежгеология»*

Впервые для ВКМ предлагается вариант объемной петрофизической модели земной коры и верхов мантии и на ее основе некоторые аспекты металлогении и эволюции литосферы. Модель разработана с использованием данных плотностной и тектонической блокировки региона, структурно-петрофизического состояния объектов, их анизотропии, нелинейной зависимости скорость-плотность, материалов ГСЗ и потенциальных геофизических полей.

Металлогенический потенциал различных геологических образований региона, что следует из практики выявления и прогноза рудных объектов, определяется закономерностями эволюции состава, строения, состояния и вещественно-энергетических процессов на всех глубинных уровнях литосферы, вероятно и более глубоких недр. Информативность в этом отношении глубинных моделей строения земной коры и верхов мантии несомненна и зависит она от целого ряда факторов.

Во-первых, от полноты и целевой надежности системной базы эмпирических материалов задействованных в процессе разработки модели или моделей. Во-вторых, от корректности применения петрофизических параметров с целью структурно-вещественной интерпретации различной природы геофизических полей. В третьих, от разработанности и развитости методологии построения моделей и закономерностей проявления минерагенических обстановок и тектоно-магматических процессов в различных сегментах региона, для различных уровней коры и верхов мантии.

Первые представления о глубинном строении земной коры ВКМ получены в конце 70-х годов и отражены в работах А.П.Таркова, С.С.Чамо и др.[1-3] Авторами земная кора средней мощностью 42-45 км описывается тремя слоями. Несколько позже в исследованиях, пополненных материалами точечных ГСЗ, физико-геологическими и гравиметрическими сведениями, в составе коры выделены «диоритовый» слой и коро-мантийный переходной горизонт [4-8]

Все упомянутые модели построены вдоль сейсмических профилей (профильный вариант) с овеществлением их горизонтов и слоев на основе

линейных уравнений состояния или корреляции скорость-плотность. При подобном подходе почти всегда получались нереалистические значения расчетных признаков, в частности, плотности объектов коры. В некоторых подборках в целом для региона или его крупных сегментов для верхнего уровня гранито-гнейсового слоя до глубин близких к 20 км получены плотности 2,55 г/см<sup>3</sup> [9,10], при фактически наблюдаемых их значениях 2,69-2,71 г/см<sup>3</sup>.

Рассмотрим результат петрофизического обоснования впервые построенной для региона объемной петроплотностной (грависейсмической) модели земной коры и верхов мантии для разноранговых структур ВКМ, а так же некоторые факторы и критерии эволюции и рудогенерации для различных рудно-геологических систем, в том числе и процессов мантийно-корового взаимодействия.

Петрофизические аспекты применительно к разработке объемной модели подробно рассмотрены в публикациях [11-15]. Ведущими из них являются: петроплотностная характеристика соподчиненных объектов стратифицированного уровня гранито-гнейсового слоя коры [16], нелинейная зависимость для скорости-плотности [17,18], анизотропия свойств среды [17,18], интенсивная структурно-петрофизическая дифференциация различного ранга тел [13,19].

Еще раз подчеркнем, что физико-геологическая (петрофизическая) характеристика ВКМ, его минерагения определяется закономерностями формирования соподчиненной иерархии объектов на разных уровнях литосферы. В приэризонной области докембрия преобладающее развитие получили гранит-мигматит-гнейсовые образования. Они со-

ставляют более 70% территории региона, а в нижнеархейских блоках до 85%. Одновременно гранито-гнейсы являются ложем (фундаментом) постархейских структур и по существу определяющей средой и характеристикой гранито-гнейсового слоя коры. В то же время в различных гетерохронных раннеархейских и постнижнеархейских геоструктурах ВКМ представительно развиты метабазиты, сланцы, метапесчаники, железистые кварциты, широкий спектр магматических интрузивных тел коровой и мантийной природы. Особенности развития и соотношения последних с гранито-гнейсовой средой определяются закономерности фрагментации и структурного рисунка блоков

Блокировка и описание докембрийского фундамента осуществляется в рамках крупных геоблоков по [5,7,8,21] и авторской схемы [16] (рисунок).

**Могилевский** (Рославльский) мегаблок является связующим сегментом между Воронежским и Белорусским выступами (массивами). Он характеризуется вяло пониженным гравитационным полем и мозаичным в целом повышенным магнитным полем, возрастающим в пределах “разуплотненных” областей. Мегаблок слабо изучен, разбурен единичными скважинами, вскрывающими гранито-гнейсы аналогичные архею активизированных раннеархейских структур ВКМ (Ливненско-Ефремовский блок). В настоящем разделе, из за отсутствия соответствующих сведений, его характеристики принимаются соответствующими с вышеупомянутым блоком.

**Брянский** мегаблок, при его относительной однородности с позиций состава, строения, петрофизики, геофизического отражения в соподчиненных подразделениях практически на всех уровнях коры характеризуется устойчиво прослеживаемыми вариациями перечисленных признаков. В частности, в верхах гранито-гнейсового слоя среди преимущественно биотитовых составов пород на северо-востоке блока заметное место принадлежит амфиболовым и амфиболсодержащим породам, в том числе соскладчатым с гнейсами амфиболитам и железисто-кремнистым образованиям, а в ряде линейных структур, фиксируемых повышенным магнитным полем-гранулитоподобным породам или высокотемпературным метасоматитам по реликтовым протгеосинклинальным образованиям [12].

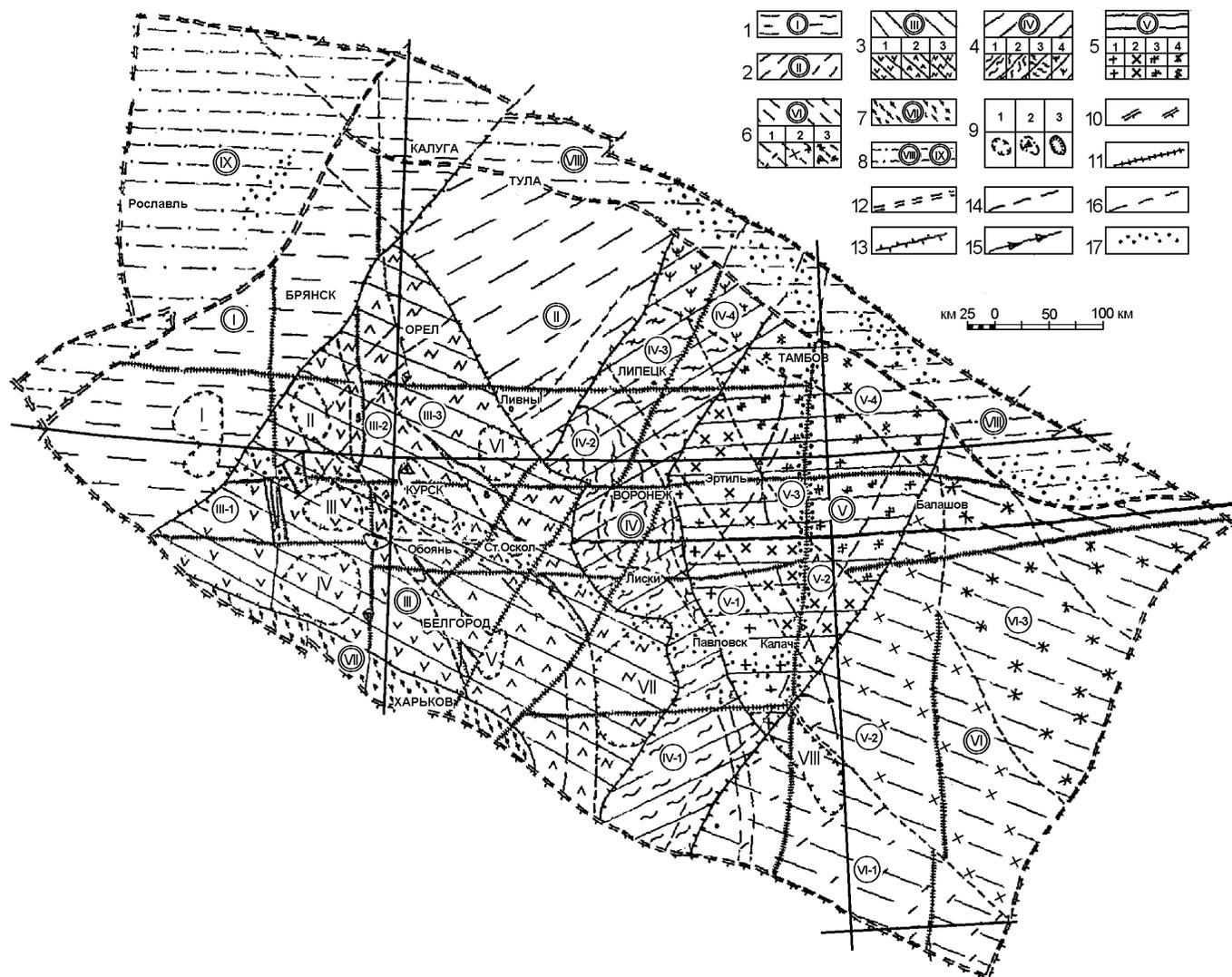
При средней плотности гранитного горизонта геоструктуры-2,69-2,71 г/см<sup>3</sup>, диоритового и метабазитового слоев соответственно 2,79-2,81 г/см<sup>3</sup> и 2,95-2,96 г/см<sup>3</sup> г/см<sup>3</sup>, для соподчиненных блоков в эрозионном срезе она составляет 2,67-2,76 г/см<sup>3</sup>. Повышенное поле силы тяжести, сложная морфология магнитного поля, тяготееют к блокам более меланократового состава. Структуры с пониженной плотностью верхней коры вплоть до раздела К или интенсивно гранитизированы, или изначально представлены более лейкократовыми ассоциациями.

По данным ГСЗ [22] для верхнего слоя совместно с “диоритовым” горизонтом мощностью 27-29 км, пластовая скорость колеблется от 6,00 до 6,60.

Подобные скорости по петрофизическим наблюдениям отвечают гранито-гейсовым составам пород с плотностью 2,72-2,75 г/см<sup>3</sup>. В нижнекоровом слое (мощностью 12-15 км) средняя сейсмическая скорость составляет 6,60-6,80 км/с и здесь она минимальная для ВКМ. По результатам измерений на образцах горных пород при соответствующих этим глубинам Р-Т параметрах такие скорости удовлетворяют спектру пород, в том числе меланократовым гнейсам, диоритам, амфиболитам, некоторым габброидам с плотностью 2,83-2,92г/см<sup>3</sup>. Одновременно отметим, что вариации физических характеристик коры макроблока обязаны, помимо изменений состава в соподчиненных блоках, в значительной мере анизотропии пород и их структурно-петрофизическому состоянию- “уплотнению-разуплотнению” [29]. Низкая пластовая скорость слоев коры объясняется ориентировкой профиля ГСЗ –11 вкрест структурных элементов блока. Не исключено, что в нижнем слое раннеархейской коры развиты метаморфиты диорит-габброидной основности с преобладанием плагиоклазсодержащих амфиболитов, возможно, гранулитов. При отношении гранито-гнейсового слоя (М=29- 30км.) с плотностью - 2,73-2,74 г/см<sup>3</sup> (к метабазитовому – М = 12-13 км) с предельно высокой для него плотностью- 2,90-2,92 г/см<sup>3</sup>, равному 2,2/1, средняя  $\sigma$  коры нижнеархейского Брянского мегаблока составит 2,805 г/см<sup>3</sup>- что удовлетворяет гранодиорит-диоритовым парагенетическим ассоциациям пород, т.е. сиалическому типу коры.. В результате можно констатировать, что земная кора макроблока сформирована практически в полном объеме в раннем архее. Постнижнеархейские тектоно-магматические этапы проявились в тектоно-термальной переработке, усложнении структурного внутреннего плана и структурно-петрофизического состояния ее сегментов и зон.

**Ливненско-Ефремовский** (по [16] рассматривается в составе КМА) макроблок выделяется в северо-западном фланге Воронежско-Волгоградского геоблока. является северной частью более крупного Ливненско-Касторенского активизированного раннеархейского фрагмента. Он представлен в приповерхностном уровне гранито-гнейсовой серией пород с подчиненными им амфиболитами, габбро-амфиболитами. Среди гранито-гнейсов развиты биотитовые и биотит-роговообманковые разновидности как плагиоряды, так и двуполевошпатовые. Кроме этого, в составе мегаблока наблюдаются значительные области интенсивной гранитизации, а в узлах и зонах разломов (в сочленении соподчиненных блоков) проявления мантийных постнижнеархейских габброидов, габбродолеритов.

В геофизическом отношении мегаблок фиксируется пониженным, с крупными локальными осложнениями, полем силы тяжести, в целом отрицательным магнитным полем, с отдельными (до 15% блока) положительными аномалиями. Ориентировка локальных аномалий меняется от северо-западной до субширотной. Петроплотностная харак-



**Рисунок. Схема структурно-тектонической блокировки ВКМ:** 1 - мегаблок I (Брянский, раннеархейский, гранито-гнейсовый); 2 - мегаблок II (Ливненско-Ефремовский, раннеархейский, тектоно-термально активизированный в позднеархейско-раннепротерозойское время); 3 - мегаблок III (КМА, позднеархейско-раннепротерозойского протегосинклинального развития с сохранением раннеархейских блоков - срединных массивов), III-1, III-2, III-3 - макроблоки: III-1 Крупецкой, III-2 Белгородско-Михайловский, III-3 Орловско-Волотовский; 4 - мегаблок IV (Богучарско-Липецкий, гетерогенный-раннеархейских активизированных структур и раннепротерозойских подвижных вулканогенных структурно-формационных комплексов), IV-1, IV-2, IV-3, IV-4 - макроблоки: IV-1-Павловско-Стрелицкий, IV-2-Лосевско-Воронежский, IV-3-Усманско-Липецкий, IV-4-Чаплыгинский; 5 - мегаблок V (Калач-Эртильский раннепротерозойский миогеосинклинальный или перикратонного прогиба), V-1, V-2, V-3, V-4 - макроблоки: V-1-Подколдновско-Мартыновский, V-2-Новохоперский, V-3-Борисоглебско-Жердевский, V-4-Тамбовский; 6 - мегаблок VI (Волгоградско-Балашовский, выклинивающийся перикратонный) VI-1, VI-2, VI-3 - макроблоки: VI-1 - Миллеровский, VI-2-Волгоградско-Михайловский, VI-3 - Камышенско-Баландинский; 7 - мегаблок VII (Харьковско-Купянский); 8 - архейские активизированные мегаблоки: VIII-Торопец-Рязанский, IX-Могилевский; 9 - локальные структуры: 1) устойчивые нижнеархейские блоки (срединные массивы) I-1-Шосткинский, III-1-II- Комарический, III-1-III-Шептуховский, III-1-IV- Сумской, III-2-V-Варваринский, III-3-VI-Долгоевский, III-3-VII-Россошанский, VI-1-VIII-Липов Куст; 2) III-2-I Курско-Бесединский нижнеархейский активизированный блок; 3) синклиновые и грабен-синклиновые нижнепротерозойские зоны: III-1-1- Крупецкая, III-1-2- Почепнянско-Рыльская, III-1-3-Борисовская, III-1-4- Сторожевская, III-2-5- Михайловская, III-2-6- Белгородская, III-3-7- Орловская, III-3-8- Тим-Ястребовская, III-3-9- Волотовская; 10 - глубинные разломы, ограничивающие геоблоки, мегаблоки, авлакогены, впадины - первого порядка; 11 - глубинные трансрегиональные разломы сквозькоровые; 12) глубинные разломы второго порядка; 13 - региональные межблоковые разломы третьего порядка; 14 - региональные разломы 4-го порядка - внутрикоровые; 15 - Тамбовско-Чернышевская рифтогенная зона; 16 - разломы высоких порядков; 17 - зоны палеозойской активизации.

грабен-синклиновые нижнепротерозойские зоны: III-1-1- Крупецкая, III-1-2- Почепнянско-Рыльская, III-1-3-Борисовская, III-1-4- Сторожевская, III-2-5- Михайловская, III-2-6- Белгородская, III-3-7- Орловская, III-3-8- Тим-Ястребовская, III-3-9- Волотовская; 10 - глубинные разломы, ограничивающие геоблоки, мегаблоки, авлакогены, впадины - первого порядка; 11 - глубинные трансрегиональные разломы сквозькоровые; 12) глубинные разломы второго порядка; 13 - региональные межблоковые разломы третьего порядка; 14 - региональные разломы 4-го порядка - внутрикоровые; 15 - Тамбовско-Чернышевская рифтогенная зона; 16 - разломы высоких порядков; 17 - зоны палеозойской активизации.

теристика мегаблока лишь в общих чертах сопоставима с Брянской структурой. Его усредненная плотность в верхнем слое коры колеблется в пределах 2,68-2,71 г/см<sup>3</sup> и для соподчиненных образований (мезо и микроблоков) - 2,67-2,74 г/см<sup>3</sup>. Отличительной чертой макроблока является также приуроченность магнитоактивных объектов к его северной периферии. Разрез земной коры и ближней подкоровой области в его пределах, в отличие от Брянской структуры, более насыщен различными неоднородностями, в том числе волноводами [19]. Дисперсия плотности земной коры для интерпретационных блоков составляет 2,80-2,82 г/см<sup>3</sup>. В интервалах глубин 15-29 км. устойчиво наблюдается "диоритовый" слой с  $\sigma$  2,82-2,84 г/см<sup>3</sup>. Для метабазитового слоя мощностью 12-15 км. она порядка 2,93-2,94, в отдельных случаях 2,95 г/см<sup>3</sup>. Обобщенная мощность земной коры макроблока - 43-45 км. В основании коры до глубин 52-53 км наблюдаются пониженные сейсмические скорости (7,40-7,70 км/с) с  $\sigma$  в этой переходной области от 3,15 до 3,22 г/см<sup>3</sup>. Сложное внутреннее строение всех уровней макроструктуры отражается в проявлении в них многочисленных отражающих площадок, развитии постраниархейского корового и мантийного магматизма. Наличие ряда гетерохронных магматических комплексов здесь указывают на неоднократное вовлечение мегаблока в постнижнеархейские термо-тектонические и структурно-вещественные преобразования вплоть до сближения ее характеристик с блоками протогеосинклинального развития. Перечисленные параметры и факторы позволяют отнести мегаблок к салическому типу коры.

**Мегаблок КМА-Центральный** включает основные структуры накопления железорудных формаций и многочисленные структурно-вещественные неоднородности различной природы. Кроме этого выделение мегаблока обосновывается комплексом других обстоятельств.

1. Минимальными значениями поля силы тяжести относительно смежных подобной размерности структур, особым сочетанием мозаичных и линейных северо-западной ориентировки, часто очень интенсивных магнитных аномалий.

2. Широким представительством в составе мегаблока разновозрастных магматических формаций мантийной и коровой природы, т.е. базит-гипербазитовых и гранитоидных рядов.

3. Развитием среди супракрустальных комплексов объектов (тел, структур, зон и т.д.) различных ступеней метаморфизма- от зеленосланцевой до высокотемпературных амфиболитовой и гранулитовой фаций.

4. Различием степени, сохранности, переработанности и распространенности в тех или иных сегментах блока (в протогеосинклиналях, рифтогеналях, грабен-синклиналях постнижнеархейских тектоно-магматических этапов) нижнеархейских гранито-гнейсовых ассоциаций.

5. Спецификой проявления и выраженности в мегаблоке соподчиненных раннеархейских блоков протогеосинклинальных структур в пределах различных уровней коры и верхов мантии.

В региональных петрофизических работах [11,16,23] отмечается, что в приэрозионном уровне геоблок обладает максимальной фрагментарностью и петрофизической контрастностью. При общности многих кардинальных признаков для них и одновременно для мегаблока, в макроблоках и миниблоках наблюдаются существенные различия в степени развитости неоднородностей, включая особенности внутренней блокировки, проявлений тех или иных магматических формаций, петрофизической неоднородности, вариаций в строении земной коры и др.

В Центральных макроблоках 2-го и 3-го порядков предельно для ВКМ представлены все известные железорудные формации. Белгород-Михайловская железорудная зона в нем имеет протяженность до 500-600 км. Железисто-кремнистые образования КМА обладают оптимально полным фациальным составом, фиксируются они интенсивными локальными гравитационными и магнитными аномалиями. Магматические формации, как базит-гипербазитов, так и гранитоидов, сопряженные с этими структурами, относятся к гетерохронным образованиям, каждый из комплексов которых обладает достаточно четко выраженными петрофизическими различиями [12,24].

В разрезе земной коры макроструктур КМА на фоне их общего сложного строения, в названных выше протогеосинклиналях проявляется повышенные мощности коры - 44-46 км, гранито-гнейсового слоя совместно с "дегранитизированным" горизонтом - 29-33 км. и четкий коро-мантийный горизонт. Практически во всех слоях хорошо выражены сейсмические волноводы, многочисленные неоднородности, подчеркиваемые сложной системой площадок отражения упругих волн. В эрозионных срезях для них фиксируются максимальные средние значения и пределы рассеяния  $\sigma$  (2,735 и 2,67-2,86 г/см<sup>3</sup>), что связано с значительной распространенностью в них основных вулканогенных мантийных продуктов. На других уровнях коры, особенно в нижнем гранитном горизонте,  $\sigma$  обычно ниже, чем в сопредельных структурах, что параллельно с большей мощностью в них гранито-гнейсового слоя определяет отрицательное гравитационное поле КМА. Дополнительные депрессии поля силы тяжести (особенно в области Белгород-Михайловской зоны) и совпадающее с ними региональное положительное магнитное поле коррелируются с максимально развитой в подобных структурах гранитизацией, вплоть до магматических выплавов, продуктов первичной коры, сопровождаемой определенным выносом окислов железа из раннего субстрата и кристаллизацией ферромагнитных минералов в ареальных зонах гранитизированных объектов, или в их контурах.

Макроблоки Крупецкой, Рыльский, Сторожевской, Борисовский, в сравнении с основными

протогеосинклиналими, отличается вырожденным приповерхностным распространением в небольших угловатых структурах, выполненных вулканогенными, вулканогенно-осадочными, железисто-кремнистыми (зеленосланцевых фаций метаморфизма) образованиями. Эти структуры размещаются на активизированном гранито-гнейсовом фундаменте. Кроме этого, они приурочены к зонам разграничения менее преобразованных блоков нижнего архея (Комарического, Шестаковского, Сумского), которые отражаются повышенным положительным гравитационным полем. К упомянутым межблоковым пространствам тяготеют также относительно небольшие тела базитов и крупные гранитизированные объекты или непосредственно интрузии.

Петроплотностная характеристика макроблоков и микроблоков определяется соотношением в их составе гнано-гнейсовых ассоциаций и значительно подчиненных им других вулканогенно-осадочных ассоциаций пород. В результате средние значения плотности в этих структурах варьирует в рамках, установленных как для нижнеархейских структур  $-2,68-2,76 \text{ г/см}^3$ , так и для блоков подобных глубоким эвгеосинклиналим КМА, где  $\sigma$  поднимается до  $2,85 \text{ г/см}^3$ . В этом случае они выделяются соответствующими аномалиями потенциальных геофизических полей.

В земной коре мощностью 40-43 км в данной области ВКМ фиксируется "дегранитизированный" и переходный "коро-мантийный" горизонты с  $\sigma$   $2,82-2,83$  и  $3,15-3,17 \text{ г/см}^3$ , характерными для нижнеархейских неоднократно активизированных структур. Стыковое положение макроблоков КМА с Брянским нижнеархейским сектором ВКМ и их переходные характеристики подтверждают предположение об их раннеархейском единстве и эволюционирующем разграничении в эпохи постнижнеархейских деструктивных преобразований.

В рамках Орловско-Волотовской нижнепротерозойской структуры КМА, развитой в западном фланге Воронежско-Волгоградского мегаблока, раннеархейских относительно устойчивых массивов (Касторенский, Россошанский), наблюдается множество более подвижных фланговых и внутренних раннеархейских гранито-гнейсовых блоков, верхнеархейско-нижнепротерозойских неоднократно раскрывающихся протограбенгеосинклиналей, сложенных вулканогенно-осадочными с железистыми кварцитами продуктами низких фаций метаморфизма (структуры: Орловская, Тим-Ястребовская, Волотовская, Становская, Чернянская, Погромецкая и др.). Сложное сочетание перечисленных элементов в этом сегменте ВКМ проявляется в структуре петрофизических характеристик, состава и строения коры. В частности, средняя плотность соподчиненных структур здесь колеблется от  $2,67 \text{ г/см}^3$  (в раскисленных гранито-гнейсовых областях,  $2,72-2,76 \text{ г/см}^3$  (в нижнеархейских массивах,  $2,85 \text{ г/см}^3$  (в вулканогенных нижнепротерозойских структурах, например, Тим-Ястребовской). В целом при повышенной

плотности макроблока отрицательный уровень гравитационного поля (как для мегаблока в целом) отражает влияние всего разреза земной коры и подкоровых масс. При этом, ведущий вклад, вероятно, принадлежит степени гранитизации с ее различным распределением в соподчиненных блоках гранито-гнейсового слоя коры. Как в геоблоке в целом, земная кора здесь насыщена различными сейсмическими неоднородностями, в том числе волноводами, особенно в верхнем слое, значительным рассеянием скоростей на всех уровнях для аналогичных горизонтов и других характеристик. Мощность коры и ее основных слоев-гранито-гнейсового и метабазитового составляют соответственно: 43-47 км, 28-33 км и 12-17 км. Максимальные мощности как правило приурочены к блокам постархейского тектономагматического этапа. По ряду разрезов (преимущественно в протогеосинклиналих или граничных сочленениях с раннеархейскими структурами) даже на глубинах более 50 км мантийных скоростей не получено и фиксируется довольно мощный коромантийный переход. Выделение макроблока, следовательно, является отражением его специфической структурно-вещественной неоднородности как в приповерхностном уровне, так в глубинных горизонтах коры и верхах мантии, испытывающих соответствующие их составу изменения на базовых рубежах корообразования. и развития многочисленных гранитных и базитовых выделений. Характеристики блоков - Курско-Бесединского, Двуреченского практически аналогичны с параметрами Ливненско-Ефремовского, Касторенского массивов.

**Воронежско-Волгоградский** (Восточно-Воронежский) мегаблок [4,7] включает множество гетерогенных и гетерохронных макро и микроблоков, отражающих его многократные преобразования.

**Богучарско-Липецкий макроблок** сформирован в основном в постнижнеархейский этап эволюции коры. В его эрозионном срезе с запада преобладают активизированные в результате интенсивной гранитизации продукты нижнего и верхнего архея обоянской и донской серий, гранитоиды павловского комплекса (Павловско-Стрелицкая зона краевых поднятий, фиксируемая региональной магнитной аномалией). В этой области наблюдается нормальный разрез земной коры с мощностями до границы К- 29-32 км и до М- 42-43 км, максимально гранитизированная кора составляет 17-20 км. В восток-северо-восточном ограничении макроблока и преимущественно в его срединных микроблоках на максимально деструктивном нижнеархейском фундаменте развиты вулканогенные толщи лосевской серии. Вулканыты выполняют глубокие до 5-7 км. Вулкано-тектонические прогибы (рифты) раннего протерозоя. Они выражены в виде отдельных вулканических построек, иногда линейно смыкающихся между собой. Вулканыты инициируются интрузиями гранитоидов усманского комплекса. В северо-восточном замыкании распространения лосевских

вулканитов и песчаниково-сланцевых толщ воронцовской серии Эртиль-Калачского макроблока выделяется область, в которой в разрозненных приразломных грабен-синклинальных структурах на породах лосевской и воронцовской серий получили развитие вулканогенно-осадочные продукты воронежской свиты. Отдельные тела преимущественно вулканитов воронежской свиты размещаются в узлах или линейных зонах разломов в областях выклинивания лосевской и воронцовской серий, или непосредственно в гранито-гнейсовом фундаменте. Структурно-вещественные различия макроблока отражаются в петрофизической контрастности его объектов. В гранитизированной его области при высокой намагнитченности объектов средняя плотность составляет 2,67-2,69 г/см<sup>3</sup>, в блоках развития вулканитов-от 2,66 для гранитоидных тел, до 2,83 г/см<sup>3</sup> - в вулканогенных объектах. В других структурах она колеблется в тех же рамках и зависит от конкретного их заполнения. Геофизическая характеристика мегаблока в целом, его соподчиненных объектов, в частности, не всегда соответствует приповерхностным их свойствам. Зона гранитоидов павловского комплекса очень слабо проявляется в уровне гравитационного поля, а более плотные объекты-блоки имеет пониженный его уровень. Эти и многие другие примеры, как и в других мегаструктурах, указывают на нелинейный вклад в геополе неоднородностей всех уровней земной коры и активной мантии.

В земной коре макроблока по данным ГСЗ по профилям, пересекающим сопредельные соподчиненные структуры мегаблока наблюдаются значимые отличия характеристик для аналогичных горизонтов, включая насыщенность их различными неоднородностями. Средние сейсмические скорости в варьирующих по мощности гранито-гнейсовом (15-26 км), "диоритовом" (8-15 км), "метабазитовом" (!-15 км) слоях и ближайшей подкоровой мантии соответственно колеблется в интервалах 5,80-6,35 км/с, 6,60-6,75 км/с 7,10-7,40 км/с и 7,30-8,20 км/с. По отдельным пересечениям (Губкин-Елец), заложенном в разломной зоне, по существу разделяющей **Орловско-Волотовский и Богучарско-Липецкий макроблоки**, на глубине более 60 км мантийных  $V_p$  скоростей не получено, также как по профилю (Железногорск-Суджа), выполненного в межблоковом, насыщенном вулканитами, субмеридиональном разломе КМА. По ортогональному к **Богучарско-Липецкому** макроблоку профилю Губкин-Новохоперск на глубине 44-45 км хорошо наблюдается граница М и непосредственно под ней высокая (8,20 км/с) сейсмическая скорость  $V_p$  волн. В блоке широко представлены мантийные и коровые магматические образования (рассмотрены выше) в интрузивной и вулканогенных гетерохронных фациях. Плотность нижнего уровня гранитного горизонта, диоритового, метабазитового слоев, переходной области (кора - мантия), верхней мантии и коры в целом имеет следующие пределы значений:

2,72-2,73; 2,84-2,85 до 2,86; 2,95-2,96; 3,17-3,23; 3,25-3,26 и 2,82, а для некоторых блков до 2,84 г/см<sup>3</sup>. Комплексный параметр состава и строения коры почти всегда положительный. Перечисленные признаки земной коры в пределах структуры несколько выше соответствующих параметров мегаблока КМА.

Эти сведения, наряду другими (опубликованными и отчетными) геолого-геофизическими материалами, включая установление под вулканогенно-осадочными толщами протерозоя мощного гранито-гнейсового слоя, приводит к следующим выводам.

1. Земная кора мегаблока и ее основные подразделения практически в полном объеме сформирована в нижнеархейский этап эволюции Земли

2. Постнижнеархейские тектоно-магматические процессы, в том числе формирование протогео-синклинальных толщ, мантийный и коровый магматизм, являются деструктивными относительно нижнеархейской платформенной коры, они структурно локализируются в зонах концентрации внутренней энергии Земли.

3. На каждом из последующих этапов активизации коры (подача магматических образований воронежской свиты, панинских кластолав, девонских базальтов, далее фанерозойское осадконакопление, жесткие подвижки по зонам разломов, сейсмоактивизация и т.д.) наблюдаются особые формы их выраженности.

**Калач-Эртильский** макроблок представляет центральную область Воронежско-Волгоградского мегаблока. Он ограничивается Лосевско-Мамонским и Богучарско-Балашовским зонами разломов и отличается от сопредельных структур по целому ряду позиций.

1. В составе верхнего стратифицированного уровня коры мегаблока преобладающее развитие получили флишоидные песчаниково-сланцевые толщи, метаморфизованные в зеленосланцевых и локально амфиболитовой фациях, в то время как в мегаблоках **КМА** давят породы нижнего архея, а в **Богучарско-Липецком секторе**- мантийные вулканиты дацит-андезит-диабазового состава.

2. Биотит-плагиоклазовые гнейсы и мигматиты амфиболитовой фации метаморфизма Подколотовско-Мамонского, Калачского, Анненского и др. микроблоков имеют четко выраженные признаки их образования в процессе гнейсификации песчаниково-сланцевых продуктов. Гнейсы нижнеархейских блоков присутствуют лишь в северном замыкании структуры- практически на широте Тамбова..

3. В отличие от протогео-синклинальных нижнепротерозойских комплексов КМА и западного макроблока в Эртиль-Калачской структуре они формировались в менее напряженном протомиогео-синклинальном режиме .

4. Синхронные с вмещающей толщей магматические образования представлены почти нацело интрузивными фациями, в то время как на КМА,

Лосевской структуре и прочих в протогоосинклиналях КМА преобладают вулканогенные их аналоги.

5. В структуре отсутствуют железорудные формации, определяющие лицо КМА.

6. Приповерхностные образования соподчиненных тел макроблока, в отличие от западных структур, характеризуются сближенными петрофизическими признаками (плотностными-2,72-2,74 г/см<sup>3</sup>, магнитными-30-100 · 10<sup>-5</sup> СИ, скоростными- V<sub>p</sub>-5,70-5,85 км/с при относительно высокой анизотропии V<sub>p</sub>- K= 1,31). Повышенными физическими свойствами - плотность 2,88 г/см<sup>3</sup> и пониженными - плотность 2,65 г/см<sup>3</sup> обладают интрузивные тела базит-ультрабазитов мамонского и гранитов бобровского комплексов.

7. В морфологии спокойных потенциальных геофизических полей в пределах мегаблока с определенной закономерностью выделяются изометричные или неправильные локальные, в основном северо-западной ориентировки, магнитные аномалии. В блоке отсутствуют интенсивные, присущие КМА, их линейные формы.

В земной коре мегаблока мощностью 43-45 до 46 км. наблюдаются сокращенная мощность гранито-гнейсового слоя 16-18 км, минимальная скорость V<sub>p</sub> волн в приэрозионном срезе (5,80 км/с) по профилю Павловск-Новохопетск, ориентированному в крест структуры и более высокая (6,15 км/с)- по профилю Павловск-Усть-Хоперская-практически вдоль структуры. Различие значений V<sub>p</sub> по ортогонально направленным профилям ГСЗ является следствием анизотропии строения пересекаемой ими среды. На глубинах (16-18) --(29-32) км. четко прослеживается высокоскоростной (6,70 км/с) "диоритовый" слой и далее до М с V<sub>p</sub> 7,55 км/с - "метабазитовый" слой. В подкоревой области мантийные характеристики проявляются на глубине порядка 48-50 км. Расчетные плотности для коры макроблока, нижнего уровня его гранитной части, диоритового и метабазитового слоев, перехода кора-мантия и верхов мантии укладываются в рамки: 2,81-2,84; 2,72-2,73; 2,84-2,85 до 2,86; 2,95-2,96 до 2,97; 3,17-3,20 до 3,25; 3,25-3,26 до 3,27 г/см<sup>3</sup>. Эти значения на всех интерпретируемых уровнях близки или равны их аналогам **Богучарско-Липецкого** макроблока и заметно выше чем в мегаблоке КМА. По всей видимости, земная кора здесь, наряду с исходной спецификой состава, в постнижнеархейские этапы развития в условиях полного экранирования нижнеархейских образований песчаниково-сланцевыми толщами протерозоя, претерпела предельную структурно-вещественную дифференциацию, с подачей более легких из соответствующих уровней продуктов в стратифицированную приэрозионную область (гранитов бобровского комплекса из гранито-гнейсового слоя, габбро-перидотитов мамонского комплекса из верхней мантии).

Выделение в макроблоке соподчиненных объектов отражает степень развития и проявления общих для него признаков, а в некоторых условиях

превалирующего влияния ряда из них, присущих только для данного блока или блоков. В частности, в Подколдновско-Мартыновской зоне в составе базит-гипербазитов мамонского комплекса шире, чем в других блоках, представлена их ультрамафитовая составляющая, а в песчаниково-сланцевой толще - углеродистые ее представители. В микроблоках Новохоперской зоны в составе мамонского комплекса довлеют базиты, хорошо представлены его норитовая и диоритовая фазы или еланский комплекс по [25]. Кроме этого, здесь, наряду с большей представительностью гранитоидов бобровского комплекса, в узлах некоторых разломов разной глубинности заложения и взаимноортогональной ориентации-Лосевского, Воронежско-Курского, Суджанско-Икорецкого и др. выявлены небольшие тела сиенитов артюшкинского комплекса и локальные структуры, выполненные вулканитами воронежской и панинской толщ (свит) с соответствующими физическими показателями самих комплексов и некоторых разделов земной коры, в частности, флуктуациями глубин погружения и плотности верхнекоревых слоев.

В микроблоках Борисоглебско-Жердевского сегмента, особенно в его северо-восточном фланге, среди сокращенной по мощности вплоть до выклинивания песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии, наблюдаются окна (блоки) гранито-гнейсов архея, разной размерности тела вулканитов воронежской свиты, плитообразные интрузии базитов новогольского комплекса. На севере макроблока за область развития нижнеархейских гранито-гнейсов четко проявляются субширотные структурно-морфологические элементы, характерные для Рязано-Саратовского авлакогена.

С востока макроблок и ВКМ в целом ограничивает Волжский уступ- Волгоградско-Камышенский мантийный разлом.

В региональном плане ВКМ является частью дорифейского Восточно-Европейского кратона с древней архейско-протерозойской консолидированной корой салического типа (до 20 км σ составляет 2,69-2,71 г/см<sup>3</sup>, что отвечает гранит-гранодиоритовым составам). Отсюда вытекает, что говорить о развитии региона целесообразно с позиции установления палеогеодинамических обстановок при формировании его соподчиненных блоков и на основе вскрытых для них структурно-вещественных, петрофизических, металлогенических, геофизических неоднородностей на всех уровнях земной коры и верхов мантии. Естественно так же, в связи с этим замечанием, следует отразить закономерности проявления различных сторон эволюции вещества коры в цепочке гетерохронных объектов (формаций, микроблоков, макроблоков, геоблоков, структурно-формационных комплексов и т.д.) и в последовательности - объекты нижнеархейского становления, постнижнеархейских протогоосинклиналей различных режимов становления, далее областей с различной выраженностью субплатформенной активиза-

ции, проявления подкорового и корового магматизма, иных форм глубинной проницаемости и приповерхностных преобразований.

В нижнеархейских стабильных блоках земная кора мощностью порядка 40-42 км построена сравнительно просто, она минимально насыщенная неоднородностями, обладает достаточно четко выраженными границами К и М. В основании ее 30 км-го гранито-гнейсового слоя на глубинах 15-30 км по скоростным характеристикам фиксируется слабо-дифференцированный горизонт с расчетной плотностью 2,78-2,79 г/см<sup>3</sup>, близкой к  $\sigma$  всей коры в подобных структурах. Не исключено, что состав горизонта близок к протовеществу первичной коры. В верхнем уровне коры глобальные процессы первичной дифференциации изначальных образований Земли наблюдаются в форме ареального метаморфизма, плагиогранитизации, синхронных по времени вулканогенно-осадочных и магматических процессов (мигматит-плагиогранитная формация, гранодиорит-плагиограниты салтыковского комплекса). В этих структурах, в сравнении с активизированными их зонами и объектами постархейских этапов заложения, наблюдается минимальная и внутриблоковая петрофизическая контрастность, также как других параметров, включая геофизические поля. Вероятно, ареальные метаморфно-ультраметаморфические процессы при высоком и длительном стоянии геотермы обеспечивали выравнивание состава, геохимического фона и рассеяния рудных компонентов, как и морфологии строения всего разреза коры. В итоге представляется, что в нижнеархейский этап эволюции Земли, самый длительный по времени отрезок глобальной высокоэнергетической дифференциации вещества Земли практически завершилось конструктивное формирование земной коры.

В постнижнеархейские тектоно-магматические этапы существенно-энергетические преобразования локализируются в протогеосинклинальных и палеорифтогенальных структурах и зонах тектоно-термальной перестройки первичной коры. По существу постнижнеархейская эволюция Земли является деструктивным процессом, когда протогеосинклинальные образования наслаиваются на раннеархейском синхронно преобразованном и гранитизированном основании при определенной вариантности их конкретной реализации. В частности, в “легком” геоблоке (КМА) прогеосинклинальный процесс проявлен в эвгеосинклинальном режиме, наложенном, вероятно, на неравномерно затухающий, а периодически интенсифицирующийся предшествующий геотектогенез. Материализация этой посылки находит выражение в значительном усложнении строения не только приповерхностного уровня коры, а всех уровней коры, ее насыщенности магматами различных комплексов, поданных из соответствующих областей их генерации (коровые-мигматит-гранитная формация, интрузии гранитоидов осколецкого, атаманского и других комплексов, подкоровые гипербазит-базитовые - сергеевский,

железногорский, мамонский комплексы), разуплотнении гранито-гнейсового слоя в подошве стратифицированных структур, повышении основности, плотности, иногда мощности диоритового горизонта, многочисленных неоднородностях в ее глубоких горизонтах и даже подкоровой области. Кроме этого, в подобных блоках наблюдается, наряду с их вещественным многообразием, широкое представительство структурных различных форм-пликативно-разрывных, пластических и хрупких деформаций, рифтинга, прогибаний и воздыманий коры, изменений физического состояния вещества (особенно в областях инверсий напряжений, сочленения петрофизически контрастных блоков и зонах влияния глубинных разломов). Как вещественные, так и структурные преобразования в глубокой коре фиксируются волноводами, разноплановыми смещениями отражающих границ, сменой градиентов физических параметров. Накопление в этих структурах гетерогенных вулканогенно-осадочных толщ и магматитов от базитового ряда до дацит-риолитов и гранитоидов свидетельствуют о многоактной их активизации особенно в фемически нагруженных их блоках и преобладающем вкладе в механизме их формирования разнознаковых вертикальных движений и конвективно-струйного перемещения вещества на различных уровнях коры и верхов мантии.

В Эртиль-Калачском макроблоке наблюдаются иные, в сравнении со структурами КМА, характеристики блока. Прежде всего, здесь на нижнеархейском гранито-гнейсовом основании развит сплошной чехол петрофизически однородных песчаниково-сланцевых образований, практически не содержащих синхронных с ними вулканитов. Магматизм в мегаблоке представлен его интрузивными фациями, как предшествующего основного, так и последующего кислого рядов. В гранито-гнейсовом слое коры нет четко выраженных сейсмических волноводов, последние наблюдаются в нижней коре и подкоровой мантии. В подошве верхнего слоя и в кровле нижнего выделяется представительный “диоритовый” или “дегранитизированный” горизонт. Одновременно прослеживается значительное упрощение, в сравнении с КМА, в распределении физических параметров и насыщенности неоднородностями всех уровней коры, что с учетом вариаций в подаче различных магм в соподчиненных частях структуры указывает на дифференциальное, но в основном длительное прогибание геоблока, возможно, с частичным поглощением ее нижнекоровых первичных дифференциатов (некоторое сокращение его мощности и проявление волноводов), достаточно полным разделением вещества во всех слоях и горизонтах коры. Геодинамическое развитие в этом мегаблоке осуществлялось, в отличие от КМА, в более спокойном режиме, с последовательной от уровня к уровню подачей тепла, обеспечивающего не только внутрислойные массообмены, но и выплавку, и перемещение в песчаниково-сланцевую толщу вначале подкоровых и с некоторым интерва-

лом (по изотопным датировкам- [29]) коровых магм (интрузий мамонского, еланского, новогольского и бобровского комплексов). В приподнятых и максимального разогретых блоках (более высокое положение геотермы) песчаниково-сланцевые образования гнейсифицированы, мигматизированы вплоть до развития гранитоидов подколлоидного типа. В северо-восточном фланге Калач-Эртильского макроблока, в условиях выклинивания песчаниково-сланцевого комплекса воронцовской серии, внедряются изламанно-линейной формы плитоподобные тела габбродолеритов новогольского комплекса. По всей видимости, последний формировался синхронно с мамонским комплексом, но в иной обстановке-более жесткой вмещающей рамы, быстрой магмоподдачи, приуроченности к сложной сети разломов на стыке петрофизически различных блоков жесткого гранито-гнейсового основания. Интрузии мамонского комплекса размещены в линейно-полигональных структурах, часто согласно с соподчиненными элементами внутренней структуры песчаниково-сланцевых образований. Не исключено, что геодинамический режим формирования макроблока можно отнести к палеоаналогу таких структур, как Прикаспийская впадина, так как к моменту накопления воронцовской толщи и внедрения интрузий мамонского комплекса, не говоря уже о более поздних продуктах, в полном объеме сформирован сравнительно жесткий гранито-гнейсовый слой коры и другие ее уровни.

Геодинамика ВКМ в условиях субплатформы отражается преимущественно в неупругой блокировке ранних структур и узлокализированной мобилизации вещества в зонах глубинного энергопотока (межблоковые и другие глубинные разломы). К объектам подобного рода можно отнести базиты глазуньской, воронежской, панинской толщ, щелочно-ультраосновные и карбонатитовые тела, траппы, базальты девона, а также разнообразные метасоматиты и эманационно-гидротермальные образования, размещаемые в швах петрофизически контрастных блоков, особенно в случае их различий структурно-петрофизического состояния-сжатия-растяжения.

В итоге можно констатировать, что геодинамические условия развития ВКМ обеспечивались, наряду с глобальной их энергетикой, дифференциальными во времени и пространстве собственными внутренними источниками коры и глубоких оболочек при взаимодействии различных неоднородностей с полями напряжений (той или иной природы и уровня) в их стремлении к равновесному состоянию.

Перечисленные краткие сведения о геологии стратифицированного докембрия и строения земной коры позволяют обсудить некоторые вопросы эндогенной металлогении ВКМ, хотя бы на эмпирически наблюдаемой факторной базе, с учетом того, что на ВКМ целенаправленного анализа металлогении с особенностями глубинного строения пока не предпринималось, хотя к настоящему времени здесь вы-

явлено представительное многообразие генетических и формационных типов оруденения [26-31].

В литературе имеются попытки раскрытия связи между особенностями распределения рудных зон и месторождений с неоднородностями земной коры, но в основном в увязке с рельефом поверхности М, других разделов коры. Предполагается, что структурно-морфологические неоднородности коры являются долгоживущими и обеспечивают приуроченность к ним различной природы и возраста рудогенерирующих процессов [32-35]. Однако разнообразие рудообразования, его гетерогенность и гетерохронность нацеливают на поиски здесь более сложных связей, не только с морфологическими элементами различных разделов коры. Вероятно, более существенное место должно отводиться исследованию внутрикорового и подкорового эволюционирования рудногеологических систем соподчиненных рангов. В этом отношении представляется, что основное внимание следует сосредоточить на раскрытии закономерностей в связях пространственно-временного изменения вещества и рудомобилизации во всех обособляющихся этажах литосферы.

Выше при поуровневой характеристике геологического строения кристаллической коры, частично верхней мантии показано, что их сложность интенсифицируется в блоках, испытавших неоднократную тектоно-магматическую активизацию и как следствие структурно-вещественную перестройку.

В нижнеархейских блоках салического типа с относительно упрощенным строением земной коры с четко выраженными ареальными и низкоградиентными процессами баротермии ее формирования (в особенности гранито-гнейсового слоя) наблюдается преимущественно рассеянная минерализация. В то же время в гранитизированных их блоках и локализованных гранитоидных объектах наблюдается определенная подвижность и концентрация коровой группы рудных элементов (редких, щелочноземельных и др.), а в складчатых с гнейсами телах базит-гипербазитов сергеевского, бесединского комплексов - хром-титановая минерализация, редкие земли, апатит, благородные металлы.

Более широкий спектр рудных элементов и коровой и мантий природы, а так же возможности к концентрации рудных ассоциаций фиксируются в постнижнеархейских протогеосинклинальных структурах. Такие структуры характеризуются, наряду с кардинальной перестройкой ранних образований, накоплением вулканогенно-осадочных толщ и высокой насыщенностью гетерогенными и гетерохронными интрузивными комплексами базит-гипербазитового и гранитоидного рядов, обычно специфических для различно построенных блоков во всем разрезе литосферы конкретных блоков.

В "легком" геоблоке ВКМ - КМА с несколько увеличенной мощностью земной коры и высокой степенью преобразования последней в его эвгеосинклинальных комплексах наблюдается много-

кратная, разноуровневая предмагматическая и магматическая мобилизация вещества. При этом в гетерохронных продуктах ее реализуется совмещение рудопроявлений коровой и мантийной групп. Это обстоятельство обязано, как специализации первичных дифференциатов литосферы, так и вовлечения их в процессы вторичной мобилизации. С собственно мантийными магматическими комплексами базит-гипербазитов КМА выявлены специализация или рудопроявления на никель, медь, хром, платиноиды, титан, ванадий и др. элементы халькофильно-сидерофильного профиля. В то же время конкретная металлоносность и рудогенерация каждого из комплексов подчинена сложно взаимодействующему ряду факторов, включая изменения тепловое состояние и активности мантии, поэтапное истощение литосферы, увеличение мощности коры и ее неоднородностей и т.д. В частности, на начальных этапах протогеосинклинального режима мантийные продукты андезит-спилит-диабазовой формации ассоциируют с пикрит-коматиитами и дунит-гарцбургитами железногорского комплекса с рудопроявлениями хрома, силикатного и сульфидного никеля. Не исключено, что эти продукты мантии в структуре указывают на ее начальный состав и рудоносность. С увеличением мощности коры, прежде всего ее верхнего уровня, здесь все отчетливее проявляются смешанная и коровая специализация на довольно широкий перечень рудных элементов, в том числе перечисленный выше.

В течение последующего развития эвгеосинклинального процесса, вслед за новым этапом накоплением вулканогенных толщ и интродуцирования различными магматитами, в особенности на отрезке формирования лосевской, тимской структур и интрузий стойло-николаевского, усманского, волотовского и других комплексов фиксируются рудопроявления титана, меди, золота, полиметаллов, иногда молибдена, вольфрама, фосфора, платиноидов и др. Более контрастная ассоциация пород и рудных элементов скорее всего является следствием вовлечения в рудно-магматический процесс всех литосферных уровней вплоть до верхней коры и зон ее интенсивной гранитизации.

В "тяжелом" геоблоке (Воронежско-Волгоградском), в пределах Эртиль-Калачского миеосинклинория, характеризующимся относительно спокойной геодинамикой становления, мантийный магматизм представлен габбро-норит-гипербазитами с сульфидно-медно-никелевой минерализацией вплоть до промышленных концентраций, а также проявлениями хрома, кобальта, платиноидов [28-31]. Высокий рудный медно-никелевый потенциал данного комплекса, вплоть до образования сульфидных медно-никелевых руд, вероятно, обязан более длительному и полному извлечению рудных компонентов из среды магмогенерации и концентрации их в ее очагах, с одной стороны, оптимальной разгрузкой в соответствующих структурно-петрофизических обстановках в камерах кри-

сталлизации (в условиях разуплотнения), с другой [15].

В субплатформенной и платформенной геологии ВКМ мантийный магматизм контролируется разрывной тектоникой. Глубинные разломы, как неоднократно подчеркивалось, разграничивают петрофизически неоднородные блоки. При этом наблюдается некоторая корреляция между составами, металлогенией магматитов и их приуроченности к разломам, разделяющим блоки с разной степенью петрофизической контрастности. Например, щелочно-ультрабазиты дубравинского комплекса (специализированные, наряду с апатитом, на щелочные земли и редкие металлы) приурочены к разлому в замке "тяжелой" Волотовской структуры и "легкого" гранито-гнейсового блока архея. Специализированные на титан базальты девона размещаются в разломах или их узлах, разделяющих менее контрастные структуры, с небольшими флексурными разграничениями границы М. В других условиях наблюдаются варьирующие ситуации, они требуют более надежного анализа.

Металлогения гранитоидных комплексов также подчинена множеству взаимопересекающихся причин, не исключая глубинных структурно-вещественных особенностей земной коры и в первую очередь ее гранито-гнейсового слоя. Наиболее ранние гранитоиды ВКМ мигматит-плагиогранитной формации обладают смешанной (коромантийной) специализацией-повышенными концентрациями Cr, Co, Ni, Cu, с одной стороны, и Mo, Li, Sn, La, W, с другой. Компоненты первой группы фиксируются в реликтах первичных (протопродуктов) гранито-гнейсового слоя коры, группа же коровых элементов накапливается в гранитизированном мобилизате. Редкоземельная минералогия павловского комплекса также связана с гранитизируемой средой донской серии.

Для типично магматических гранитоидных комплексов металлогеническая нагрузка подчинена, наряду с составами среды магмогенерации, положению (глубинности) областей последней, полноте выплавки, механизму интродуцирования, особенностям пути магмоподачи, структурно-петрофизическому состоянию вмещающей среды и самих гранитоидов, их тектонической позиции. Перечисленные факторы во многом коррелируются с мощностью гранито-гнейсового слоя, степенью развитости диоритового горизонта, колебаниями глубинности верхнекорового волновда и области дегранитизации, с морфологией границ К и М, многими другими неоднородностями. В частности, граниты усманского комплекса, ассоциирующие с вулканогенными образованиями лосевской серии, специализированы на Zn, Au, Sn, Mo. Несмотря на их приуроченность к вулканогенным образованиям с высокой долей основных пород, вышеотмеченная металлогения в основном является литофильной, она указывает на соответствующий состав магмогенерирующей среды и вовлечения в выплавку составляющих близких

к гранитной эктектике. Есть основание считать, что граниты усманского комплекса интродировали из волноводной области нижнеархейского гранито-гейсового слоя коры, частично унаследовали его минерагению.

Граниты бобровского комплекса, развитые среди песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии с гранодиоритовой основностью и смешанным коро-мантийным перечнем рудных элементов в ее составе, не наследуют мантийных элементов, а специализированы на редкометалльную их группу (Be, Nb, Ta, Sn, La, Li) типоморфную для объектов с коровой дифференциацией вещества гранито-гейсового слоя.

Наблюдаемая тенденция в связях глубинного строения ВКМ и его металлогении является предварительной, она нуждается в пополнении банка данных и целенаправленном анализе.

### Выводы

1. По комплексу петрофизических характеристик в кристаллической коре ВКМ распознаются разноранговые объекты, в том числе формационного и надформационного уровня.

2. Петрофизическая контрастность геоблоков нарастает от нижнеархейских структур к подразделениям постнижнеархейской тектономагматической активизации.

3. В структурно-петрофизическом отношении в докембрии ВКМ фиксируется закономерное чередование “уплотненных” и “разуплотненных” геоблоков, сформированных в обстановках сжатия-растяжения.

4. Конструктивная консолидация земной коры в своих основных чертах (в формировании ее оболочек и первичной структурно-вещественной дифференциации в них) фиксируется раннеархейскими глобальными этапами эволюции Земли (свидетельствуют мощный гранито-гейсовый слой и другие слои в стабильных раннеархейских блоках).

5. В постнижнеархейских структурах, локализованных в деструктивных зонах раннеархейской коры, последняя предельно дифференцирована на всех ее уровнях, насыщена синхронными с супракрустальными толщами и более поздними гетерогенными магматическими образованиями мантийной и коровой природы. Стратифицированные приповерхностные вулканогенно-осадочные отложения метаморфизованы зонально (в фациях зеленые сланцы-амфиболиты) формируются на гранито-гейсовом основании нормальной мощности без дополнительных наслонений и явно выраженных корней.

6. В раннеархейских блоках наблюдается преимущественно рассеянная минерализация коро-мантийной группы рудных элементов, их концентрация и развитие тяготеет к зонам постархейской активизации.

7. Для протогеосинклинальных верхнеархейско-протерозойских структур, наряду с максимально развитой в них дифференциацией вещества базовых оболочек, характерно высокое содержание различных по составу рудно-магматических формаций с разнообразной минерагенией.

8. Наиболее перспективными областями для размещения рудно-магматических и других рудоносных объектов являются зоны разграничения петрофизически контрастных геоблоков, обычно сопряженных с глубинными разломами, их узлами и высокой масс-энергетической проницаемостью.

9. Реализация рудогенерирующих процессов в потенциально рудоносных объектах во многом связана с структурно-петрофизическим состоянием последних. Мобилизация рудных компонентов, в том числе рудоотдача, перенос, локализация руд чаще всего привязаны к петрофизически “разуплотненным” телам.

В заключение заметим, что проблемы, затронутые выше, имеют больше постановочный смысл и требуют дальнейшей разработки и, безусловно, пополнения новыми данными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарков А.П., Чамо С.С. Глубинное строение литосферы в районе Воронежского кристаллического массива // Докл. советских геологов на XXIV сессии МГК. Проблема 8. - М., 1972. - С. 149.
2. Чамо С.С., Ефимкин Н.С., Борисова Т.Г. и др. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Воронежской антеклизы // Бюл. МОИП. Отдел. геол. - 1971. -Т. 46, вып. 5. - С. 27-33.
3. Тарков А.П., Закутский С.Н., Максимов В.М. О соотношении между строением земной коры и верхней мантии по магнитовариационным наблюдениям и другим геофизическим исследованиям // Докл. АН СССР. -1969. - Т. 184, № 3. -С. 121-125
4. Надежка Л.И., Афанасьев Н.С., Дубянский А.И. Гравитационная модель коры и верхней мантии Воронежского кристаллического массива // Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли. -Киев, 1979. -С. 161-168.
5. Надежка Л.И. Применение гравиразведки для изучения глубинного строения Воронежского кристаллического массива: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. -Воронеж, 1980. -19 с.
6. Надежка Л.И., Дубянский А.И., Тарков А.П., Афанасьев Н.С. Некоторые особенности глубинного строения Воронежского кристаллического массива // Литосфера Центральной и Восточной Европы. Восточно-Европейская платформа. - Киев, 1989. - С. 121-135.
7. Тарков А.П. Глубинное строение Воронежского кристаллического массива по геофизическим данным. - М., 1974. -170 с.
8. Tarkov A.P., Afanasiev N.S., Dubjansky A.I. Layering of the Lithosphere in the Voronezh Crystalline Massif from Geophysical, geological and petrophysical data // Anales Geophysica. -1987. - 5B. -P. 267-272.
9. Чернышов Н.М., Ненахов В.М. Современные представления о глубинном строении, геодинамике и металлогении ВКМ // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных тер-

- риторий и сопредельных районов: Матер. междунар. конф. –Воронеж, 2001. –С. 18-21.
10. Чернышов Н.М., Ненахов В.М. Структура, эволюция геодинамических режимов и минерагении ВКМ // Тектоника и геофизика литосферы. Т. 2. Матер. тектонического совещ. - 2002. - С. 301-305.
  11. Афанасьев Н.С. Петрофизика докембрийских образований и геологическое строение Воронежского кристаллического массива: Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. -1984. -45с.
  12. Афанасьев Н.С. Петрофизика гранитоидов Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Физика Земли. –1997. - № 11. -С. 58-68.
  13. Афанасьев Н.С. Петрофизические особенности гранит-мигматит-гнейсовой ассоциации Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1996.-№ 2. - С. 164-177.
  14. Афанасьев Н.С. Геофизика-петрофизика-геология как единая исследовательская система изучения структурно-вещественных неоднородностей литосферы Земли // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тез. докл. междунар. конф. –Воронеж, 1996. - С. 105-106.
  15. Афанасьев Н.С. Петрофизика в системе геолого-геофизических исследований (на примере изучения Воронежского кристаллического массива) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1997. - № 4. -С. 21-27.
  16. Афанасьев Н.С. Петроплотностная характеристика горных пород соподчиненных геоструктур докембрия Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1999. - № 7. - С. 201-208.
  17. Афанасьев Н.С. Закономерности корреляции скорости продольных волн и плотности в различных комплексах кристаллических горных пород (Воронежский кристаллический массив) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1999. -№ 8. -С. 136-143.
  18. Афанасьев Н. С. Корреляция плотности и скорости распространения продольных волн в горных породах ВКМ. // Вопросы геологии и металлогении докембрия Воронежского кристаллического массива. -Воронеж, 1976. - С. 119-122.
  19. Афанасьев Н.С. Методология глубинного изучения земной коры. Сообщение1. Петрофизические аспекты геолого-геофизического картирования докембрия на примере Воронежского кристаллического массива-ВКМ // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. - 2000. -№ 9. - С. 182-197.
  20. Афанасьев Н.С., Египко О.И., Кривцов И.И., Павловский В.М. Тектоническое строение и металлогения юго-восточной части Воронежского кристаллического массива по геолого-геофизическим данным // Вопросы разведочной геофизики. Вып. 12. -Л., 1971. -С. 121 - 130.
  21. Афанасьев Н.С. Принципы построений и краткий анализ геологической информативности петрофизических схем докембрия Воронежского кристаллического массива. -Воронеж, 1981. -18 с. Деп. ВИНТИ. 5868-81.
  22. Дубянский А.И. Глубинное строение Воронежского кристаллического массива по данным взрывной сейсмологии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. - Свердловск, 1984. - 24с.
  23. Афанасьев Н.С. Петрофизическая характеристика структурно-формационных комплексов докембрия Воронежского кристаллического массива. -Воронеж, 1982. -68 с. Деп. ВИНТИ. 1521-82.
  24. Афанасьев Н.С., Скрябина Н.И. Петрофизические исследования габброидных комплексов ВКМ // Петрология и металлогения магматических и метаморфических комплексов КМА и смежных районов. -Воронеж, 1983. -С. 69-82.
  25. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Советская геология. -1986. -№ 12. -С. 42-54.
  26. Афанасьев Н.С. Петрофизическая оценка рудогенерации мафит-ультрамафитовых интрузий (на примере мамонского комплекса Воронежского кристаллического массива- ВКМ) // Вопросы теории и практики интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Тр. междунар. конф.- Воронеж, 1998. - С. 264-279.
  27. Афанасьев Н.С., Генштафт Ю.С. Рудогения как выражение мобильности платформенной литосферы ( на примере Воронежского кристаллического массива) // Докл. РАН. -1998. - Т. 359, № 2. - С. 214-219.
  28. Лаверов Н.П., Барсуков В.Л. Влияние физико-механических свойств горных пород на рудообразование в депрессиях вулканического происхождения // Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. -М., 1973. - С. 86-95.
  29. Чернышов Н.М. Металлогения раннего докембрия Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. - 1996. -№ 1. - С. 5-20
  30. Чернышов Н.М. Новый тип золото-платинометаллального оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ // Вестн.Воронеж.ун-та. Сер. геол. - 1996. -№ 2. -С. 112-132.
  31. Чернышов Н.М. Формационно-генетическая типизация платинометаллального оруденения и перспективы наращивания минерально-сырьевого потенциала платиновых металлов России // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1996. -№ 2. -С. 75-85.
  32. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений. - М., 1974. -192 с.
  33. Щеглов А.Д., Говоров И. Н. Нелинейная металлогения и глубины Земли. - М., 1985. - 325 с.
  34. Соловьев В.В., Щеглов А.Д. Особенности структуры верхней мантии и юго-востока СССР и минерагения // Геодинамика и развитие тектоносферы. - М.,1991. -С. 161-171.
  35. Рудообразование // Под ред. А.А.Оболенского, В.И.Сотникова, В.Н.Шарапова. - Новосибирск,1988.- 344 с.