



ГЕОФИЗИКА

УДК 550.84:553.4+552.1.53

МЕТОДОЛОГИЯ ГЛУБИННОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ **Статья 3. Анализ основных этапов и результатов геолого-геофизического картирования кристаллических образований докембрия и перспективы его совершенствования** **(на примере Воронежского кристаллического массива)**

Н.С. Афанасьев, И.А. Жаворонкин*, И.И. Кривцов*

*Воронежский государственный университет
ФГУП "Воронежгеология"

Основным условием повышения результативности исследований геологического строения кристаллической коры территорий подобных ВКМ является совершенствование методик и в целом методологии системного анализа широкой гаммы информации. Многолетний опыт геокартирования ВКМ показал, что положительный результат достигается лишь на основе поэтапного и сопряженного развития всей группы необходимых и взаимодостаточных методов в рамках геофизики, геологии и петрофизики. Более того, поскольку приоритет в изучении регионов подобных ВКМ принадлежит геофизике, только через создание петрофизических образов соподчиненной иерархии геологических объектов и явлений представляется возможным обеспечить непротиворечивую геологическую интерпретацию геофизических полей в различных приложениях и аспектах. Поставленная проблема очень многоплановая и в данной статье рассматривается достигнутый результат и сохраняющиеся ограничения в области структурно-вещественного картирования стратифицированного уровня кристаллической коры. Как итог формулируются методологические рекомендации дальнейшего развития геолого-геофизических и петрофизических исследований в регионе с позиции оптимальной фрагментации консолидированной коры региона.

Постановка и обсуждение проблемы диктуется следующими обстоятельствами: в 1998 г. [1] принят современный вариант геологической карты докембрия ВКМ и на основе ее подготовлены различные специализированные приложения, включая схемы металлогенического прогноза. Разработанные документы, многочисленные достаточно противоречивые публикации по данной проблематике, приводят к выводу о необходимости конкретизации целого ряда слабо или вовсе неаргументированных в них положений, или не получивших развития относительно более ранних наработок (см. таблицу). Прежде всего, сопоставление схем 1998 и 1972 гг. указывает на недоучет, вернее потерю преимущества, в использовании выработанных временем основных методологических принципов выделения структурно-вещественных подразделений в процессе картирования фундамента в условиях ВКМ. Остановимся лишь на нескольких примерах. Все metabazites во всех соподчиненных объектах геоблока КМА, да и в целом ВКМ при их явной гетерогенности и петрофизической дифференциации, отнесены только к михайловской серии верхнего архея, реально же они ассоциируют с различными стратиграфическими и геоструктурными таксонами. Немалая их часть, складчатая и синхронно преобразо-

ванная с гнейсами раннего архея (обоянской серии-AR₁, ob), является протопродуктами первичного раннеархейского конструктивного этапа короформирования. Амфиболиты, ассоциирующие с различными по составу сланцами, микрогнейсами, железистыми кварцитами, судя по их геологической позиции-неразрывному сонахождению и структуроформированию с образованиями курской серии, особенностям проявления в геофизических полях, неоднозначной возрастной привязке, скорее всего представляют вулканогенные образования нижепротерозойских образований (по существу той же курской серии), но уже деструктивного тектогенеза. В общем случае приписывание телам амфиболитов, обладающих высокой плотностью, знакопеременной намагниченностью (низкая намагниченность амфиболитов, развитых в протогеосинклинальных зонах совместно с образованиями курской серии и достаточно повышенная - для амфиболитов, ассоциирующих с мигматит-гнейсовым комплексом архея), индекса александровской свиты (AR₂, mh₁¹) и довольно больших мощностей противоречит слабой их выраженности или ее отсутствию в гравитационном и магнитном полях. Во всяком случае, вопрос о существовании михайловской серии вплоть до ее наличия в большинстве мест ее «рисовки» пока остается дале-

леко не решенным. Недостаточно аргументировано стратиграфическое положение, объем, ранг, в целом геолого-тектоническая позиция ряда других подразделений: лосевской серии, которая с момента ее выделения в качестве нижней свиты воронцовской серии время от времени, на основе выдвигаемых, но слабо обоснованных представлений, рассматривается то в составе раннего протерозоя, то архея; воронежской PR₁vr (первоначально грязинской, далее байгоровской, сейчас воронежской); черносланцевой толщи тимской свиты (ее положение в основании вулканогенной части разреза - PR₁tm₁¹ противоречит совместной сочетаемости черных сланцев и метаэффузивов [1,2,3]).

Еще к более сложной, системно незавершенной, а часто просто декларированной относится проблема выделения, пространственно-временной идентификации магматических комплексов и всех вытекающих отсюда следствий (геотектонических, металлогенических и др.). Во-первых, многие комплексы выделены на основе бытующих на данный момент, но скоротечно меняющихся общегеологических и геотектонических предположений, слабо или вовсе не подтверждены фактическими материалами, представлены одним, редко двумя телами (Шебекинский-ξ PR₁², Артюшкинский ξπPR₁², Лискинский γ Pr₁¹ ls, Смородинский PR₁¹sm, Шукавский PR₁¹ sh, Золотухинский, ν PR₁¹ z, Остатовский γ, γ ξ γπ PR₁¹ ost, Ольховский PR₁¹ ol, Малиновский γ PR₁¹ ml, Рождественский λ, ν PR₁¹ r, Белогорьевский νAR₂ b). Кроме этого, не исключено, что Бесединский ν, λ AR₂ b, и Сергиевский комплексы ν, λ AR₂ s, одно и то же (только в разных блоках вскрыты или преобладают иные фазовые эквиваленты этих объектов). Во-вторых, для всех перечисленных и других комплексов почти нет разработанных критериев петрофизического геохимического и как следствие геофизического опознавания или разграничения в пределах различных структур. Именно по этой причине последние так и остаются представленными только своими прототипами или просто неопределенными петрографическими разновидностями (Золотухинский, Малиновский и др. комплексы, см. таблицу, [1]).

На геологических картах 1998-1999 для многих геоблоков из их структурно-вещественной характеристики практически исключена структуроформирующая вещественная составляющая - раннеархейская метабазитовая (Брянский, Россошанский, Ливненско-Ефремовский, Центральный КМА и другие преимущественно раннеархейские сегменты ВКМ).

Как не парадоксально, но в очередной раз следует подчеркнуть, что для получения обоснованных и надежных геолого-геофизических материалов, отражающих основные стороны стратиграфии, тектоники и геодинамики, магматизма, метаморфизма, металлогении, глубинного строения кристаллической коры требуется комплексная систематизация и по сути адекватное пополнение геолого-

геофизической и петрофизической информации, ее содержательное осовременивание, смысловое углубление и развитая методология системного анализа. Подобная посылка вытекает из практики изучения кристаллической коры ВКМ на различных ее отрезках и зафиксированной в результативных документах (геолого-геофизических, геологических схемах и картах, моделях строения земной коры). Именно в содержании этих и других материалов отражены основные принципы структурно-вещественного картирования докембрийских образований. По итогам каждого из этапов исследований до определенного периода (примерно до середины 80-х гг.) всеми исследователями ставились задачи для последующего пополнения эмпирических данных и корректировки методических подходов для устойчивого структурно-вещественного разграничения соподчиненных объектов земной коры и верхов мантии, для заданных масштабов и целей исследований.

Одним из ведущих факторов в повышении результативности геолого-геофизического картирования докембрийских образований ВКМ, было требование значительного углубления исследований физических свойств объектов кристаллической коры в комплексе геолого-геофизических методов. Структурно-вещественная изученность кристаллической коры ВКМ строго коррелируется с одновременным развитием и внедрением геолого-геофизических и петрофизических исследований, созданием петрофизических образов объектов, установлением критериев распознавания последних в соответствующих спектрах геофизических полей предварительно на эталонных площадях и далее на слабо опосредованных или вовсе неопосредованных бурением территориях. Ведущие аспекты методологии глубинного изучения земной коры в обобщенном виде рассматриваются в статьях [4,5,6], а некоторые частные вопросы в публикациях, затрагивающих вопросы применения петрофизики при истолковании особенностей строения кристаллических образований земной коры для конкретных обстановок [7-10].

Остановимся более подробно на основополагающих моментах разработки методологии изучения кристаллических образований ВКМ в процессе пополнения информационной базы и знаний об особенностях состава и строения докембрия. Известно, что до установления природы магнитных аномалий КМА докембрийский фундамент всего массива представлялся гранитоидными ассоциациями, аналогичными группе Павловских обнажений, описанных в работах многих авторов, вклад которых подробно рассмотрен О.И. Египко [11].

По материалам работ ОККМА, А.Д. Архангельским и соавторами [12-14.], В.И. Лучицким [15] и другими авторами, с учетом характеристик физических свойств горных пород, полученных в соответствующий период, предложены определенные подходы геологической интерпретации гравиметрических и магнитометрических материалов (оси магнитных аномалий увязываются со складчатыми

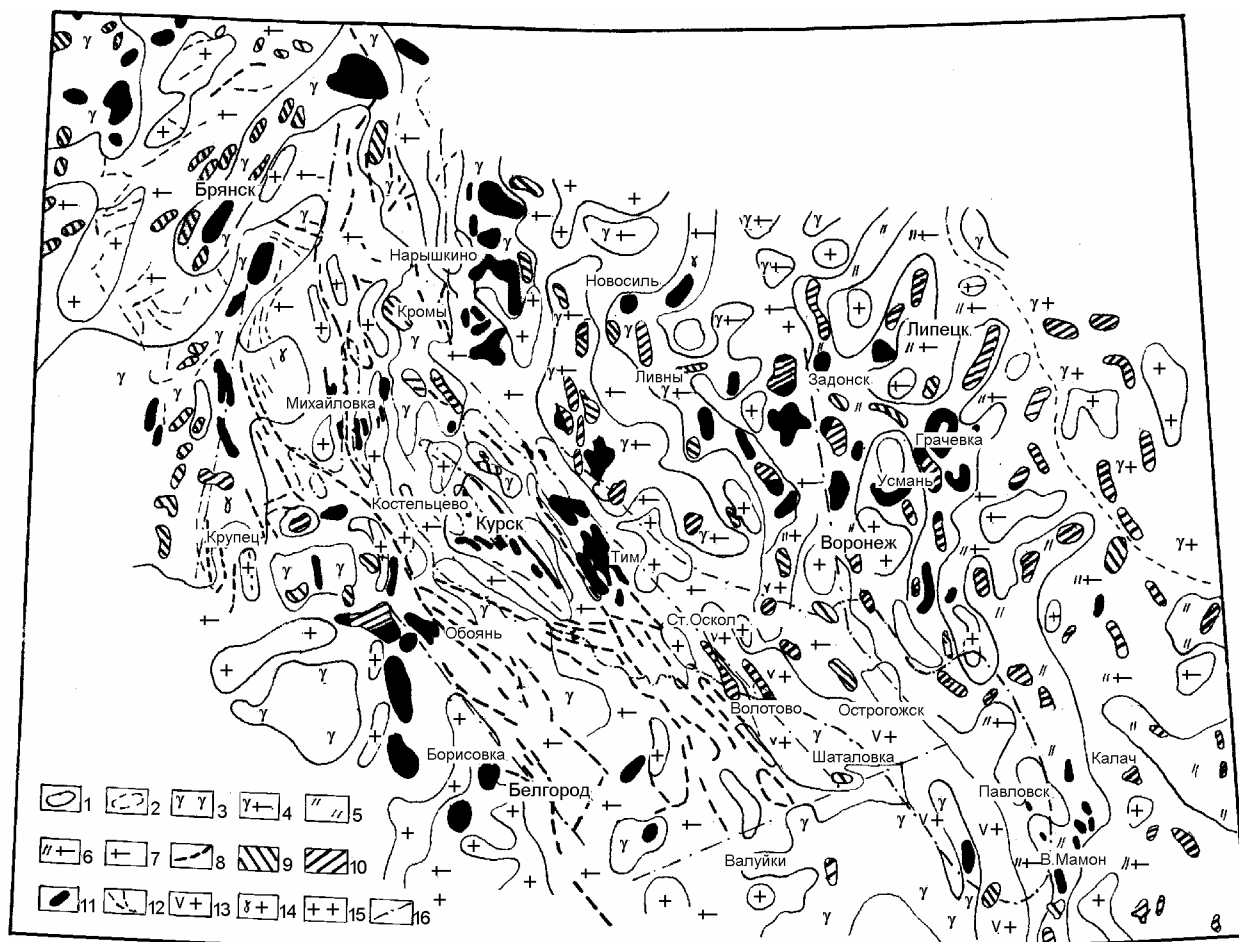


Рис. 1. Схема петрофизического расчленения верхней части кристаллического фундамента Воронежской антеклизы [28]: 1 - границы, контуров распространения пород; 2 - границы контуров распространения пород неуверенные; 3 - зоны плотных, иногда слабомагнитных пород; 4 - зоны пониженной плотности, местами слабо и среднемагнитных пород - мигматизированные гнейсы; 5 - зоны средней плотности немагнитных пород - сланцы биотитовые; 6 - зоны повышенной плотности немагнитных пород - мигматизированные сланцы или сланцы разного состава низкой плотности; 7 - зоны пород пониженной и низкой плотности, местами слабо и среднемагнитных-мигматиты; 8 - зоны очень плотных и высокомагнитных пород-сланцы, железистые кварциты, амфиболиты и другие породы курской и михайловской метаморфических серий (вне масштаба); 9 - зоны средне- и высокомагнитных пород - петрографически нерасчлененные породы основного и ультраосновного состава; 10 - зоны очень плотных немагнитных пород - петрографически нерасчлененные породы основного и ультраосновного состава; 11 - зоны очень плотных и магнитных пород - петрографически нерасчлененные породы основного и ультраосновного состава; 12 - зоны магнитных петрографически неотжестеленных пород; 13 - зоны магнитных пород средней и низкой плотности - гибридные породы кислого и среднего состава; 14 - зоны пород низкой и средней плотности, иногда слабомагнитных - гранито-гнейсы; 15 - зоны немагнитных пород низкой плотности-граниты; 16 - зоны предполагаемых основных разрывных нарушений - границы главных блоков в фундаменте; 17 - изогипсы кровли фундамента.

комплексами фундамента, включающими железорудные линейные структуры, а области с мозаичным строением полей- с древними архейскими блоками массива). В стратиграфии докембрия Старооскольского района, относительно железорудных образований, выделяются верхний, средний и нижний отделы. Отмечается общность рудоносных кварцитов КМА с криворожской серией УКЩ. Однако на официально изданных картах докембрий ВКМ все еще представляется гранитоидными составами [16].

Результаты исследований ОККМА послужили генератором и основой к постановке и широкого развертывания в 30-40 гг. геолого-геофизических съемок, а так же измерений физических свойств, установленных бурением горных пород - на первых порах магнитной восприимчивости, плотности, не-

сколько позже других физических характеристик. Регулярные измерения физических свойств горных пород с интерпретационными целями стали осуществляться на ВКМ с 1949 г. силами региональной геолого-геофизической экспедиции Центргеологии. В начале 60-х гг. на достаточно полной базе геофизических, геологических съемок и некоторого объема измерений физических свойств горных пород чехла и докембрия построены карта петрографического состава фундамента центральной части Восточно-Европейской платформы (рис. 1) и геологическая карта территории КМА (рис. 2).

Приведенные материалы показывают, что при достигнутом уровне исследований, геологические объекты в геофизических полях фиксируются очень неоднозначно. В частности, на рис. 1, сгруппирован-

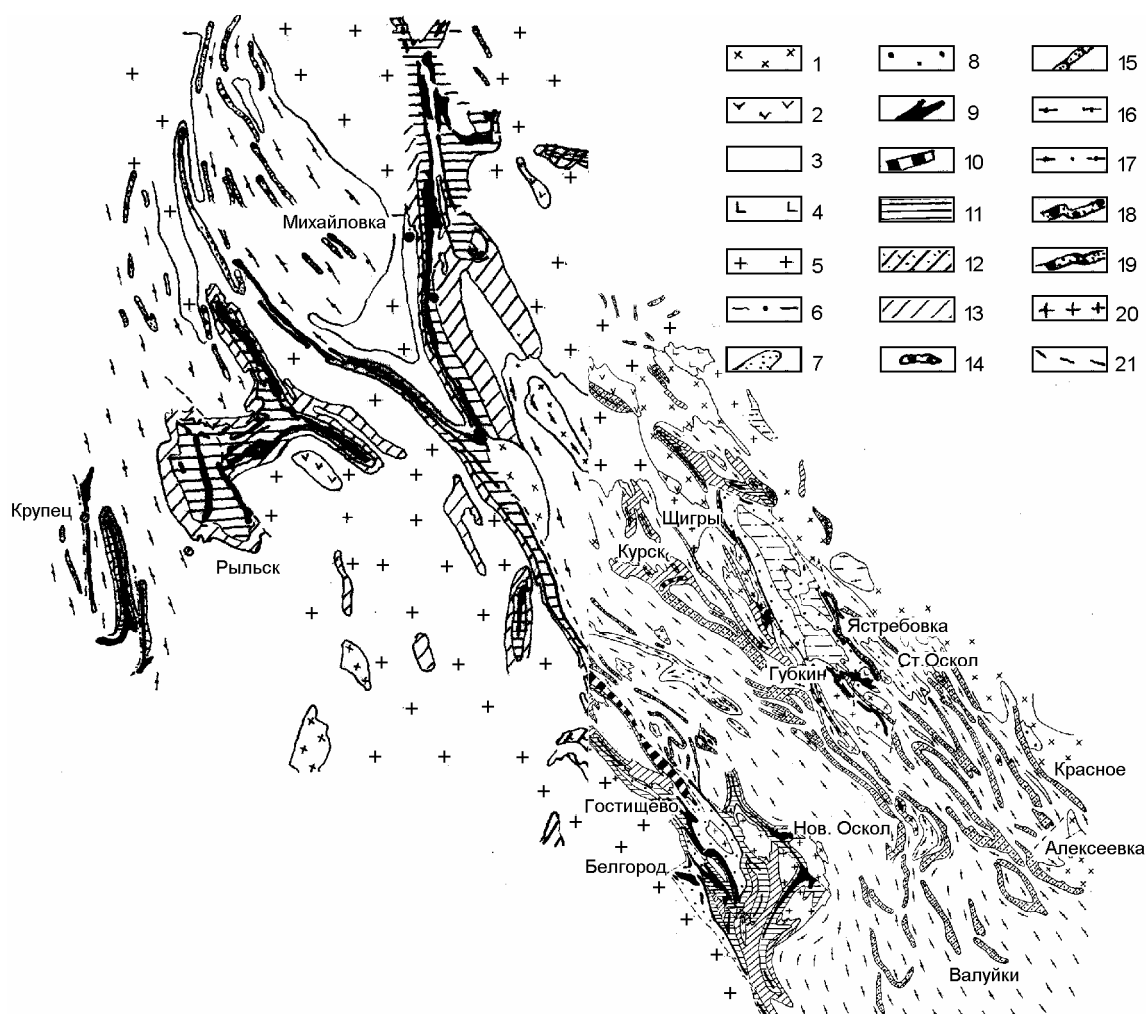


Рис. 2. Геологическая карта докембрийских образований Курской магнитной аномалии (составили: В.Д. Полищук, Н.И. Голивкин, Ю.С. Зайцев, дополнения Н.А. Плаксенко). Верхний протерозой: 1 - нерасчлененные проблематично нижнепротерозойские и верхнепротерозойские розовые граниты; 2 - габбро, габбро-нориты, габбро-диабазы, диабазы, диабазовые порфиристы. Нижний протерозой: Стойло-Николаевский комплекс: 3 - сиениты, граносиениты; 4 - эпидиабазы, диабазовые порфиристы, диорит-порфиристы, габбро, габбро-диабазы, габбро-амфиболиты, габбро-диориты, диориты, метаультрабазиты (горнблендиты и тальк-амфиболовые ортосланцы); 5 - плагиограниты и их мигматиты (осколецкий тип). Курская метаморфическая серия: 6 - тимская свита - амфиболиты, микродиабазовые порфиристы, кварц-актинолитовые сланцы, углистые сланцы, иногда шунгиты; 7 - курбакинская свита-метаморфизованные кварцевые порфиры и их туфы, туффиты, седиментационные брекчи и др.; 8 - нерасчлененная свита (верхняя) - конгломераты, метапесчаники, алевролиты, железистые кварциты, филлитовидные и гранат-биотитовые сланцы, известняки и доломиты; 9 - средняя свита (K_2) - железистые кварциты, иногда с прослоями филлитовидных сланцев; 10 - нерасчлененные нижняя и средняя свиты (K_1+K_2); 11 - нижняя свита - конгломераты, метапесчаники, слюдяные и филлитовидные сланцы. Михайловская серия (метабазитовая): 12 - михайловская и курская серии нерасчлененные; 13 - амфиболиты эпидот-роговообманковые, альбит-эпидот-хлоритовые, кварц-хлорит-биотитовые сланцы, кератофиры, альбитовые порфиристы и их туфы, роговики и метапесчаники; 14 - железистые кварциты. Архей: 15 - железистые кварциты предположительно архейского возраста, обоянская серия - AR,ob; 16 - гнейсы преимущественно биотит-плагиоклазовые, реже амфиболовые; 17 - амфиболиты, амфибол-биотитовые плагиогнейсы, плагиограниты и другие породы; 18 - железистые кварциты; 19 - железистые кварциты проблематично обоянской серии; 20 - нерасчлененный комплекс плагиогранитов и их мигматитов; 21 - линии тектонического контакта.

ные с учетом полученных значений физических свойств, объекты описываются как: зоны петрографически нерасчлененных средне и высокомагнитных пород основного и ультраосновного состава, зоны магнитных пород средней и низкой плотности (гибридные породы кислого и среднего состава, другие подразделения). На рис.2 в единую ассоциацию объединены амфиболиты, амфибол-биотитовые плагиогнейсы, плагиограниты и другие породы или нерасчлененный комплекс плагиогранитов и их мигматитов. По достигнутым результатам авторы

вышеупомянутых работ и другие ведущие исследователи региона, подводя итог в целом всем предшествующим методологическим разработкам геолого-геофизического картирования ВКМ, ставят задачи разработки иных подходов и принципов для изучения его геологии. Такие требования особенно наглядно определились в связи с осуществлением геолого-геофизических съемок в юго-восточных районах ВКМ с малоамплитудными, сложной морфологии полями.

Авторы данных материалов отмечают, что результативность геолого-геофизических работ в подобных условиях, помимо совершенствования и дополнения традиционных геолого-геофизических методов их новыми модификациями, напрямую зависит от степени изученности физических свойств пород на петрофизическом уровне, т.е. на основе параллельного (системного) получения физических свойств, минерального состава (в шлифах и аншлифах), силикатного химического и спектрального составов, некоторых более тонких параметров минералов на одних и тех же образцах с учетом генетической, геоструктурной позиции объектов. Подобный подход определяет сущность петрофизики, особенно (как это установлено в последующих работах) ее применений в качестве основы геологической интерпретации геофизических материалов, тем более в условиях, где фундамент перекрыт достаточно мощным осадочным чехлом и где только петрофизическая группировка (классификация) горных пород фундамента и чехла способны обеспечить необходимую достаточность интерпретации материалов геофизики - прямое и опосредованное (через установление особенностей отражения геологических процессов в системе петрофизических показателей). Отметим некоторые итоги целевого обобщения и анализа петрофизических данных в аспекте их развития в регионе применительно к геокартированию. Параллельная интенсификация геолого-геофизических и петрофизических исследований к концу 60-х гг. позволили наметить пути совершенствования принципов картирования кристаллических образований в условиях ВКМ. При этом особая роль принадлежит выявлению региональных закономерностей изменения петрофизических характеристик в связи с конкретными геопроцессами, включая метаморфно-метасоматические преобразования, направленность дифференциации магматических пород, их формационной и стратиграфо-тектонической принадлежности. Для наиболее распространенных представителей типов пород из соподчиненных геоблоков кристаллической коры (Эр-тиль-Калачского геоблока ВКМ, подвижных структур КМА или нижнеархейских срединных массивов) на фоне обобщенных характеристик, раскрыты некоторые причины их вариаций. В частности, установлено изменение плотности и скорости распространения продольных волн (падение) и магнитных свойств (увеличение) в зависимости от интенсивности серпентинизации перидотитов, или амфиболизации пироксенитов, разноориентированное смещение диапазонов физических свойств для метабазитов из различных блоков и возрастной принадлежности, предельно высокие колебания остаточной намагниченности не только для базитов отдельных магматических комплексов, но и некоторых гнейсов, гранитоидов, железистых кварцитов [17-21]. Для генетически различных петротипов гранитоидов или метасоматически преобразованных их разновидностей, некоторых формаций железистых

кварцитов установлено рассеяние магнитных характеристик ведущих магнитных фаз (в данном случае генетически различного магнетита) [7,20]. Закономерности петрофизического группирования горных пород, создание их образов для различных обстановок позволили выделить среди них оптимально информативные петротипы с позиции результативного их геологического опознавания в геофизических полях, определяющих морфологию последних, естественно, внутренние особенности и структурирование геологического пространства. Такими образованиями, помимо максимально контрастных железорудных тел, явились разнообразные метабазитовые ассоциации, интрузивные комплексы базит-гипербазитов и гранитоидов, нередко мигматит-гнейсовые ассоциации, претерпевшие неоднократную тектоно-термальную активизацию. Созданные петрофизические образы геологических тел и особенности их выраженности в геофизических полях для различных обстановок определили требования к соответствующей методологии картирования приповерхностных и глубинных объектов земной коры ВКМ. Реализация этой задачи осуществлялась на основе рассмотрения всей системы характеристик (геофизических, геологических, петрофизических) на эталонных (полно изученных и представляющих основное разнообразие обстановок) территориях. Предварительно при установлении критериев разграничения объектов в петрофизическом пространстве признаков и далее в геофизических полях, особенно с целью выбора эталонных площадок, рассматривались следующие вопросы:

- сопоставимое геолого-геофизическое районирование дорифейского фундамента ВКМ, выбор эталонных площадей (объектов), заполняющих основное разнообразие геолого-геофизических ситуаций (районов);

- уточнение непосредственно для эталонов обобщенной петрофизической классификации, выявления геологической информативности системы ее признаков для данных условий;

- установление типических закономерностей фиксации в геофизических полях реперных (в петрофизическом отношении) и одноименных объектов, но для в различных эталонов из различных геоструктур;

- построение для эталонных участков максимально полных петрофизических карт и схем, с отражением распространенности разнообразных по системе характеристик магматических комплексов, фаций метаморфизма супракрустальных образований, элементов тектонической делимости;

- построение геолого-геофизических схем для эталонов на базе выявленных для них подходов картирования докембрийских образований.

При формировании эталонов учитывалось требование наиболее детального, по возможности сопоставимого с геолого-геофизической их изученностью, выделения как можно более мелких петро-

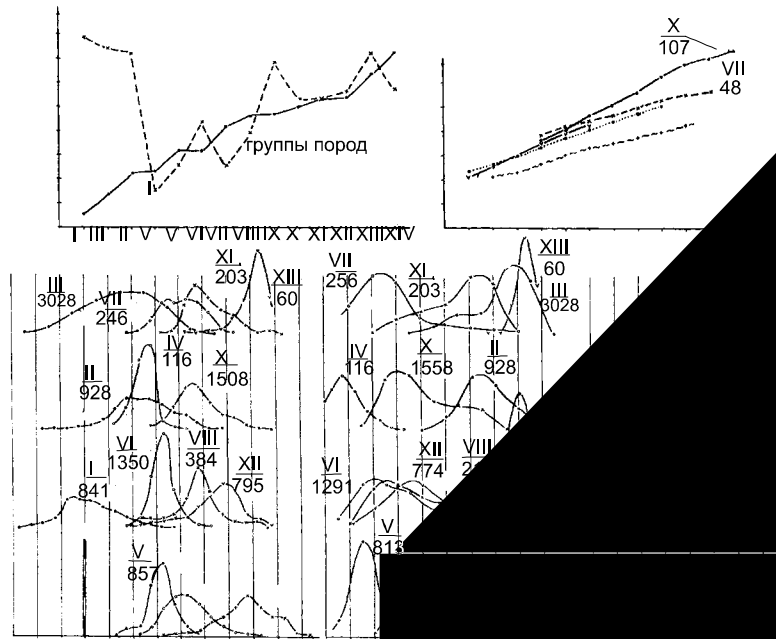


Рис. 3. Петрофизическая характеристика

а) вариационные кривые распределения магнитной восприимчивости горных пород; б) зависимость плотности пород (биотита в сланцах и гнейсах, манки и пироксена в габброидах); в) кривые зависимости плотности от содержания окислов железа. I - серпентиниты аллометасоматические; IV - граниты; V - сланцы; VI - диориты; VII - габбро-диориты; VIII - габбро-диориты серпентинизированные; X - габброиды; XI - габбро-роговообманково-пироксеновые; XII - габбро-роговообманково-пироксеновые; XIII - габбро-роговообманково-пироксеновые; XIV - габбро-роговообманково-пироксеновые. σ - плотность пород; ρ - плотность пород.

физических рангов объектов. С учетом полученных по материалам обобщенных петрофизических группировок (рис. 3), региональные петротипы пород дополняют в пределах конкретных объектов. Из групп пород выделяется множество петротипов в соответствии с составом и строением объектов формирования крупных уровней.

По ряду интерпретаций (рис. 5) раскрыты возможности магнитного поля небольших магнитных объектов различной природы, в том числе магнитных объектов, связанных с соматическим обменом в областях формирования топродуктов повышенной основной коры. Для таких неоднородных объектов анализа закономерностей их пространственного распределения, исследования особенностей магнитной восприимчивости, плотности, что позволило (по данным исследования объектов) учесть полученные результаты при подборе обобщенных плотностей магнитных объектов вдоль разрезов. Различные по пространственному распределению объекты прослежены и выявлены в неархейских гранито-гнейсах, в архейском блоке (гранитизированные

объекты). В архейском блоке (гранитизированные объекты) выявлены магнитные объекты, связанные с соматическим обменом в областях формирования топродуктов повышенной основной коры. Для таких неоднородных объектов анализа закономерностей их пространственного распределения, исследования особенностей магнитной восприимчивости, плотности, что позволило (по данным исследования объектов) учесть полученные результаты при подборе обобщенных плотностей магнитных объектов вдоль разрезов. Различные по пространственному распределению объекты прослежены и выявлены в неархейских гранито-гнейсах, в архейском блоке (гранитизированные объекты). В архейском блоке (гранитизированные объекты) выявлены магнитные объекты, связанные с соматическим обменом в областях формирования топродуктов повышенной основной коры. Для таких неоднородных объектов анализа закономерностей их пространственного распределения, исследования особенностей магнитной восприимчивости, плотности, что позволило (по данным исследования объектов) учесть полученные результаты при подборе обобщенных плотностей магнитных объектов вдоль разрезов. Различные по пространственному распределению объекты прослежены и выявлены в неархейских гранито-гнейсах, в архейском блоке (гранитизированные объекты).

В архейском блоке (гранитизированные объекты) выявлены магнитные объекты, связанные с соматическим обменом в областях формирования топродуктов повышенной основной коры. Для таких неоднородных объектов анализа закономерностей их пространственного распределения, исследования особенностей магнитной восприимчивости, плотности, что позволило (по данным исследования объектов) учесть полученные результаты при подборе обобщенных плотностей магнитных объектов вдоль разрезов. Различные по пространственному распределению объекты прослежены и выявлены в неархейских гранито-гнейсах, в архейском блоке (гранитизированные объекты). В архейском блоке (гранитизированные объекты) выявлены магнитные объекты, связанные с соматическим обменом в областях формирования топродуктов повышенной основной коры. Для таких неоднородных объектов анализа закономерностей их пространственного распределения, исследования особенностей магнитной восприимчивости, плотности, что позволило (по данным исследования объектов) учесть полученные результаты при подборе обобщенных плотностей магнитных объектов вдоль разрезов. Различные по пространственному распределению объекты прослежены и выявлены в неархейских гранито-гнейсах, в архейском блоке (гранитизированные объекты).

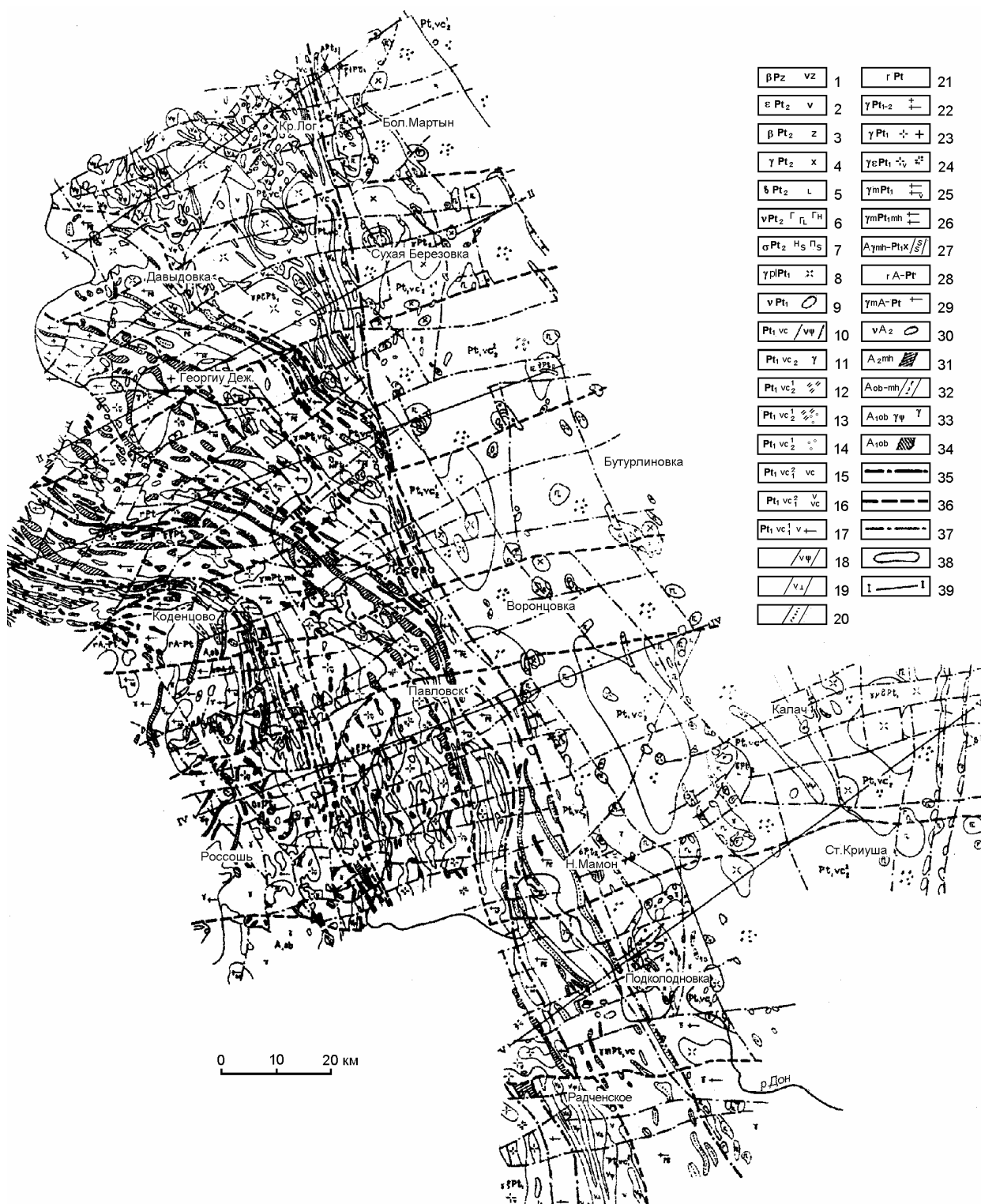


Рис. 4. Схематическая геологическая карта юго-восточной части Воронежского кристаллического массива: 1 - базальты, диабазы, кластолавы, эруптивные брекчии, нижний палеозой; 2 - сиенит-порфиры, монзониты, протерозой; 3 - метаэффузивы, метабазаы, метатифы и туффиты, протерозой; 4 - граниты биотитовые и двуслюдяные, адамелиты, аплиты, пегматоидные граниты, протерозой; 5 - диориты, кварцевые диориты, мамонский комплекс; 6 - габбро, габбро-нориты, габбро-пироксениты, габбро-диориты, мамонский комплекс; 7 - перидотиты, серпентиниты, пироксениты, амфиболиты; 8 - плагиограниты, адамелиты, гранодиориты, усманский комплекс; 9 - габбро-амфиболиты, габбропироксениты, нерасчлененные; 10 - амфиболиты метаэффузивы воронцовской серии, нерасчлененные; 11 - гнейсы биотитовые иногда с гранатом кордиеритом, мигматиты песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии; 12 - сланцы биотитовые, алевросланцы, углеродистые сланцы, метапесчаники, песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии; 13 - сланцы биотитовые и метапесчаники ритмично-слоистые песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии; 14 - метапесчаники, алевросланцы с подчиненными прослоями филлитовидных и углеродистых сланцев, песчаниково-сланцевой толщи воронцовской серии; 15 - метапесчаники, вулканомиктовые метапесчаники и сланцы, прослои метаэффузивов кислого и среднего состава, вулканогенная посевская толща воронцов-

ской серии; 16 - метазффузивы основного и среднего состава, порфирииды, лептиты, амфиболовые сланцы и амфиболиты, вулканогенная посевская толща воронцовской серии; 17 - метавулканы мигматизированные, вулканогенная посевская толща воронцовской серии; 18 - амфиболиты, амфиболовые сланцы, вулканогенная посевская толща воронцовской серии; 19 - метазффузивы среднего и кислого состава магнетитсодержащие (метапорфириды, метацитациты, метабазальты), вулканогенная посевская толща воронцовской серии; 20 - амфиболиты мигматизированные нерасчлененные; 21 - граниты нерасчлененные нижнепротерозойские; 22 - мелкозернистые аплитовидные граниты, пегматиты, павловский комплекс; 23 - граниты биотитовые среднезернистые, павловский комплекс; 24 - граниты биотитовые и роговообманково-биотитовые порфирбластические, павловский комплекс; 25 - мигматиты биотитовые, биотит-роговообманковые, микроклин-плагиоклазовые в ассоциации с гранитами павловского комплекса; 26 - мигматиты биотит-роговообманковые предположительно по породам михайловской серии; 27 - амфиболиты, гнейсы, сланцы, железистые кварциты нерасчлененные (архей-протерозой); 28 - гранитоиды нерасчлененные, архей-протерозой; 29 - мигматиты теневые в ассоциации с гнейсами обоянской серии; 30 - габбро-амфиболиты, горнблендиты, пироксениты амфиболитизированные, сергеевский комплекс; 31 - амфиболиты, гнейсы биотит-амфиболовые мигматизированные, михайловская серия; 32 - амфиболиты, гнейсы биотит-амфиболовые мигматизированные обоян-михайловские, нерасчлененные; 33 - гнейсы биотитовые, гранат-биотитовые, биотит-амфиболовые, плагиогнейсы, плагиомигматиты, обоянская серия; 34 - меланократовые гнейсы и мигматиты, амфиболиты, обоянская серия; 35 - глубинные разломы, разделяющие крупные структурно-тектонические зоны; 36 - региональные разломы, разделяющие блоки в составе докембрия; 37 - разрывные нарушения более высоких порядков; 38 - скважины, вскрывшие породы докембрия; 39 - линии интерпретационных разрезов.

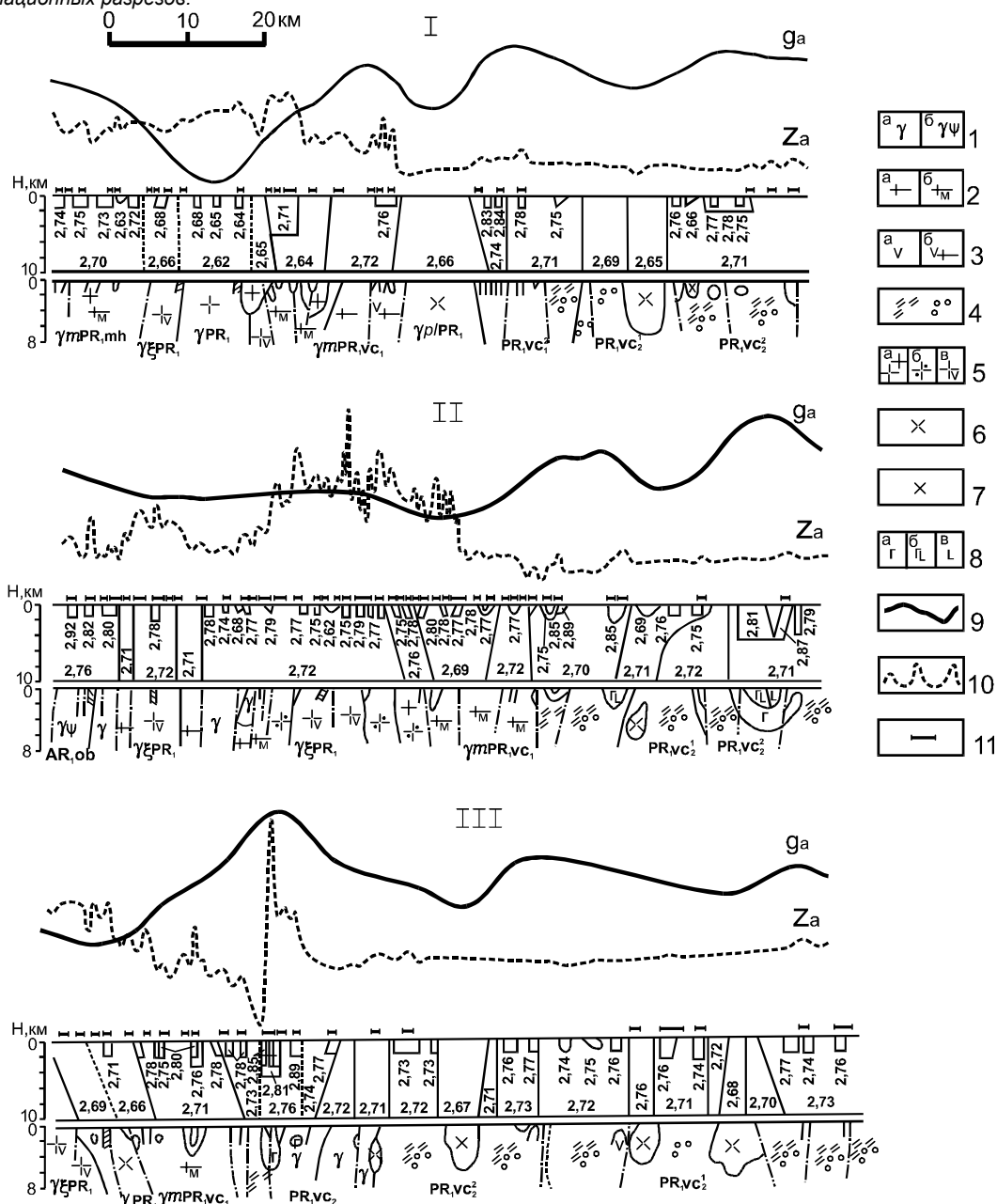


Рис. 5. Пример комплексной геолого-геофизической и петрофизической интерпретации по профилям Лиски - Березовка (I), Сергеевка - Павловск - Воронцовка (II), Богучар-Калач (III): 1а - гнейсы биотитовые, 1б - гнейсы амфиболовые, амфиболиты и габбро-амфиболиты обоянской серии (AR,ob); 2а - мигматиты биотитовые, 2б - мигматиты амфиболовые (AR-PR₁); 3а - вулканогенные породы (метабазиты, габбро-амфиболиты, метаан-

дезито-базиты, метаандезиты (AR_1 - раннего архея, AR_2 - позднего архея, PR_1 - нижнего протерозоя), 3б - мигматизированные метаульканы преимущественно в раннем архее; 4 - сланцы, метапесчаники воронцовской серии (PR_{1vc}); 5а - граниты биотитовые, 5б - граниты биотит-амфиболовые, 5в-граносиениты павловского комплекса (PR_{1pv}) и мигматит гранитной формации архей-протерозоя; 6 - граниты, адамеллиты усманского комплекса (PR_{1us}); 7 - граниты субщелочные лискинского и атаманского комплексов (PR_{1ls-at}); 8а - габбро, габбро-нориты, габбро-долериты (бесединского - AR_{2bs} , мамонского - PR_{1m} , ольховского - PR_{1ol} , смородинского - PR_{1sm} комплексов), 8б - габбро-диориты тех же комплексов, 8в - диориты в составе мамонского комплекса; 9 - графики поля силы тяжести (g_a); 10 - графики магнитного поля (Z_a); 11 - минимальные мощности аномальных объектов по результатам интерпретации Z_a .

стью). Последние из-за небольших объемов, даже при достаточно высокой или низкой плотности практически не отражаются в гравитационном поле вплоть до съемок детальных масштабов. Выделение таких объектов важно как с позиции установления структурно-морфологических особенностей сопредельных сегментов ВКМ так более точного определения, как уже отмечено, средневзвешенных плотностных характеристик геологической среды. В результате подобные тела, наряду с перечисленными выше, использованы в качестве реперных объектов при геолого-геофизическом картировании докембрия. Петрофизическое ограничение многозначности количественных оценок геометрии объектов по параметрам гравитационного и магнитного полей привлечено при подборе параметров многочисленных объектов [25,26].

Выявленные закономерности отождествления и разграничения сопряженных разноранговых геологических тел в геофизических полях на базе комплексной петрофизической характеристики объектов позволили ограничить предельные рамки устойчивого картирования докембрийского фундамента. В итоге значительно расширены возможности не только в картировании локальных тел, но и в раскрытии разнообразных геологических процессов в докембрии, направленности его эволюции, тектогенеза и рудогенеза [27-32].

Методика структурно-вещественного картирования кристаллических образований, принятая для юго-востока ВКМ, дополненная критериями разграничения «минимизированных» петрофизических классов горных пород для конкретных эталонных обстановок всего массива (см рис. 7, примеры Беседино, Смородино), публикации геолого-геофизического содержания [33-45 и др.] и применения количественных мер разграничения гетерогенных образований в геофизических полях [46,47], в полном объеме реализована в процессе геолого-геофизического картирования кристаллического фундамента ВКМ в целом (рис. 8). Естественно, степень фрагментации кристаллических образований различных блоков массива далеко не сопоставимая. Она определяется масштабами изученности, применением взаимодостаточного комплекса методов, развитостью аналитического аппарата геологической интерпретации различных редукций геофизических полей. Максимальная структурно-вещественная насыщенность разноранговыми объектами фиксируется для территорий, где выполнены геофизические съемки масштаба 1: 50 000, размещено достаточное количество пробуренных различного

назначения скважин, оптимально изучены геологические тела в петрофизическом отношении.

Данный вариант геолого-геофизической карты практически без существенных изменений с позиции ее структурно-вещественного наполнения использован в многочисленных последующих геологических картах и схемах вплоть до карт 1998-1999 (см. карты 1:500 000 масштаба, исходную - 1972 и под редакциями: И.Н. Леоненко, В.Д. Полищука, В.П. Дмитриева, Б.М. Петрова- Н.М. Чернышова). Эти материалы, несмотря на определенный прогресс, а часто неоднозначные уточнения стратиграфического положения или выделения новых объектов, как и вышерассмотренные данные предшествующего этапа региональных обобщений, свидетельствуют о сохраняющихся ограничениях методологического уровня исследований. В частности, так и не получено убедительных характеристик для разделения гетерогенных метабазитовых ассоциаций. В итоге все они отнесены к михайловской серии [49]. Не получено критериев разделения сближенных по возрасту ряда магматических комплексов [48? 50-53]. Приписывание огромных размеров - 400 и более км² так называемому новогольскому комплексу системно не обосновано (отсутствуют петрофизические данные). К разряду дискуссионных проблем из-за недостаточности их фактического обоснования относятся: стратификация, распространенность отдельных элементов фациального состава лосевской, воронцовской, грязинской и тимской толщ, разграничение гнейсов раннего архея по типам разреза. Некоторые причины недостаточного обоснования выделения, описания особенностей внутреннего строения или оценок стратиграфического положения объектов супракrustальных и магматических парагенезисов кристаллической коры ВКМ отражены в таблице.

Что же, на наш взгляд, можно отнести к основным, столь длительно сдерживающим факторам результативного развития методологии изучения кристаллических образований региона, казалось бы при высокой интенсификации геолого-геофизических работ.

-Неравномерность геофизической изученности территории, когда для составления результативного геолого-геофизического документа заданного масштаба его геофизическая основа должна быть равнозначной и минимум на два порядка крупнее, а на эталонах площадях вплоть до детальных съемок высокого разрешения.

-Сосредоточение основного объема бурения, как следствие аналитического материала, (более

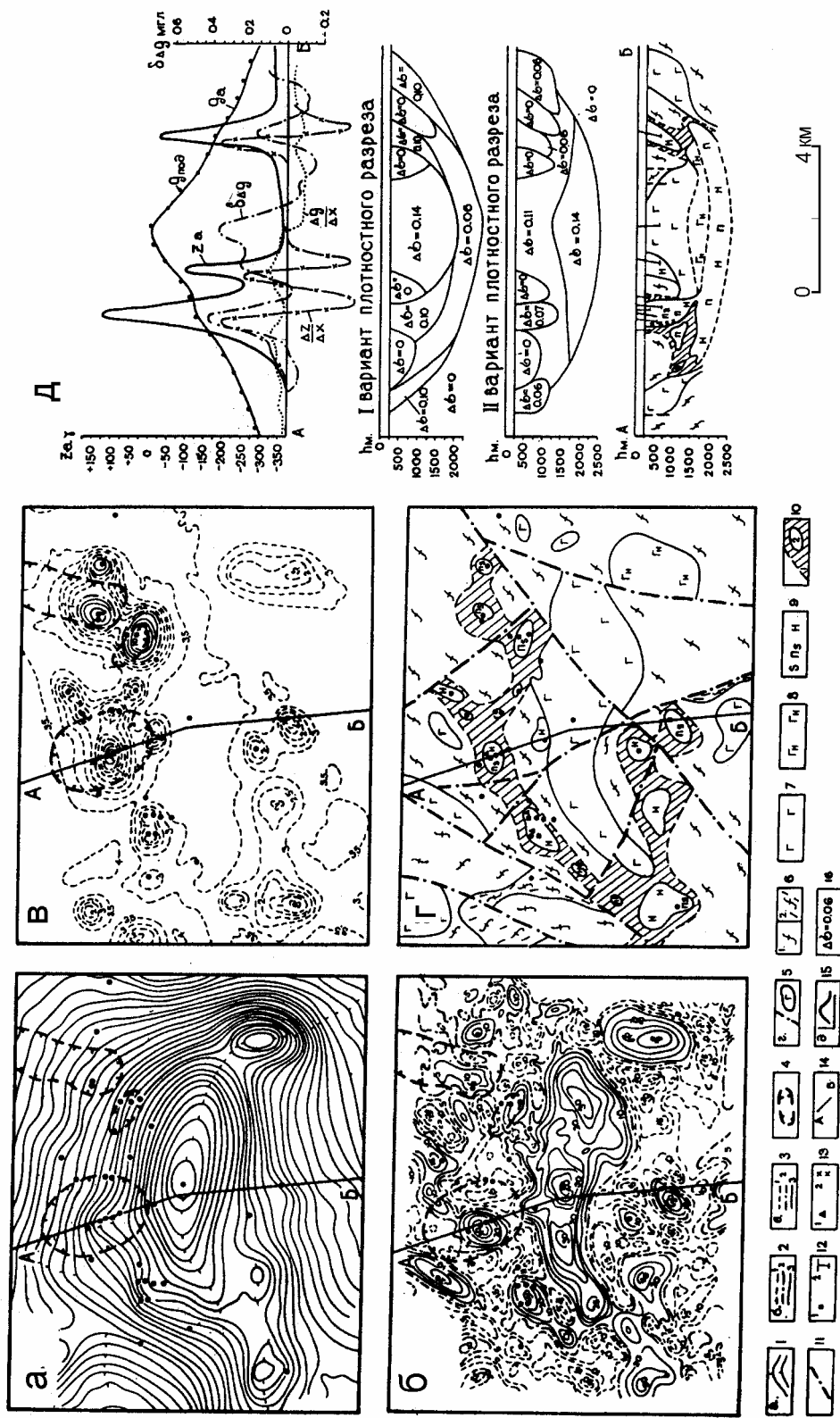


Рис. 6. Схема геолого-геофизической интерпретации Анненского участка: а) схема локальных элементов поля силы тяжести в $1 \cdot 10^{-2}$ мГал, б) схема магнитного поля Z_a в мТл; в) схема геологического строения; г) геолого-геофизический разрез по линии А-Б: 1 - изолинии поля силы тяжести (1 - отрицательные, 2 - нулевые, 3 - положительные); 3 - зоны аномалий поля силы тяжести; 4 - геологические объекты; 5 - образования воронцевой серии; 6 - аббро, габбро-нориты, габбро-диориты; 7 - оливиновые габбро, габбро-пироксениты; 8 - серпентиниты, серпентинизированные перидотиты, амфиболитизированные пироксениты; 9 - (1 - зоны развития ультрабазитов мамонского комплекса, 2 - тела гипербазитов, выходящие в эрозийный срез докембрия); 10 - линии предполагаемых тектонических нарушений; 11 - пробуренные скважины (1 - в плане, 2 - в разрезе); 12 - выявленные рудопроявления (1 - в плане, 2 - в разрезе); 13 - линия геологического разреза; 14 - геолого-геофизический разрез; 15 - избыточная плотность объектов (в г/см³).

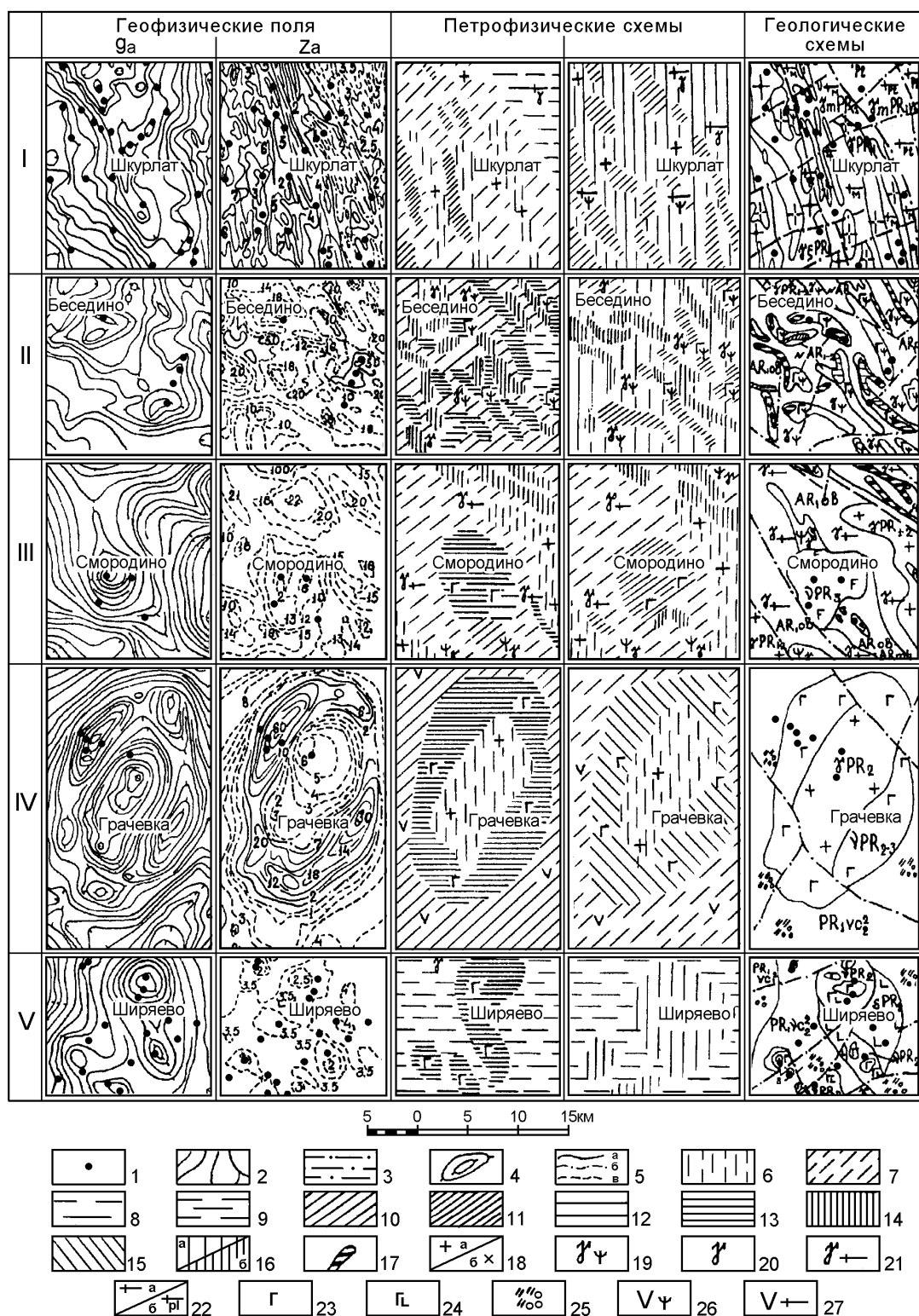


Рис.7. Геофизические поля, петрофизические параметры объектов и геологические схемы строения докембрия для эталонных участков из различных структурно-формационных комплексов ВКМ [2,4]:
I - Шкурлат-Павловского; II - Бесединского; III - Смородинского; IV - Ольховского (Грacheвского); V - Ширяевского. 1 - пробуренные скважины; 2 - границы геологических тел; 3 - разломы; 4 - изолинии аномалий поля силы тяжести; 5 - изолинии магнитного поля (Za); 6 - плотность (σ , г/см³) - 2,61-263 г/см³, скорость распространения продольных волн (Vp, км/с) - 5,6-6,0 км/с, суммарная намагниченность (J, 10⁶ СГС -I_n +0.5 I) -5-30 10⁶ СГС; 7 - σ -2,64-2,68 г/см³, Vp-5,2-6,4 км/с, J-(50-100) 10⁶ СГС; 8 - σ -2,70-2,73 г/см³, Vp-5,3-6,5 км/с; 9 - σ -2,71-2,75 г/см³, Vp-5,5-6,5 км/с; 10 - σ -2,75-2,80 г/см³, Vp-5,4-6,4 км/с, J-(100-500) 10⁶ СГС; 11 - σ -2,80-2,90 г/см³, Vp-5,8-6,5 км/с, J-(1000-5000) 10⁶ СГС; 12 - σ -2,85-2,90 г/см³, Vp-5,80-6,55 км/с; 13 - σ -2,90-2,95 г/см³, Vp-6,20-6,70 км/с, J-(500-1000) 10⁶ СГС; 14 - σ -3,30 г/см³, Vp-5,20-6,20 км/с, J- 50000 10⁶ СГС; 15 - J- 10000 10⁶ СГС; 16a - J- 1000 10⁶ СГС; 16b - J- (2000-3000) 10⁶ СГС. Индексы временной шкалы и состава пород см. рис.3.

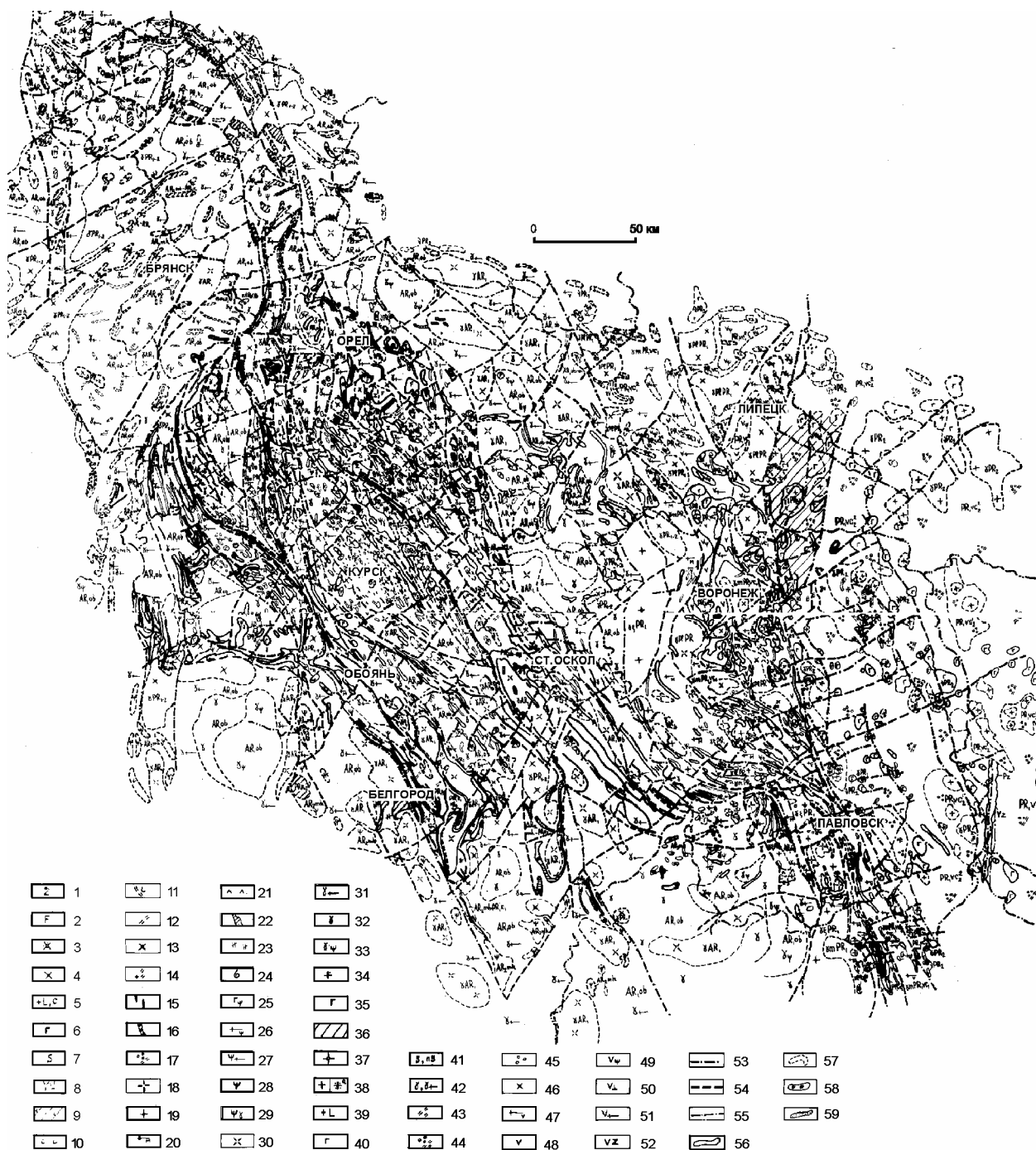


Рис. 8. Схематическая геолого-геофизическая карта докембрия Воронежского кристаллического массива (составлена Н.С.Афанасьевым, О.И. Египко, И.А. Жаворонкиным, Р.С. Красовицкой, И.И.Кривцовым, Я.Ш. Ландо, В.И. Павловским, М.Е. Сопко по материалам геологических, геофизических и петрофизических исследований, выполненным в разные годы на ВКМ, 1972 г).

Воронежский кристаллический массив в целом. Верхний протерозой - PR_3 (верхний карелий - PR_1^2): 1 - νPR_3 - андезитовые и базальтовые порфириты - глазуновская толща PR_3 gl [46], (PR_1^2 , gl); 2 - $\nu PR_3, sm$, (PR_1^2 , sm) - габбро-диориты пегматоидные такситовые габбро смородинский комплекс [62]). Средний протерозой - PR_2 (нижний протерозой - PR_1^2): 3 - γPR_2 (γPR_1) - граниты плагиомикроклиновые биотитовые атаманский комплекс, PR_2 at [34] (PR_1^2 , at). Нижний-средний протерозой нерасчлененные - PR_{1-2} (нижний протерозой нерасчлененный PR_1 - PR_1^2): 4 - γPR_{1-2} (PR_1^2) - граниты биотитовые плагиоклазовые и плагиомикроклиновые нерасчлененные - стойло-никодаевский, осколецкий и атаманский комплексы [54,55]; 5 - δPR_{1-2} , (δPR_1^2) - кварцевые диориты, гранодиориты и сиениты; 6 - γPR_{1-2} , (γPR_1) - габбро, габбро-нориты; 7 - σPR_{1-2} (σPR_1) - перидотиты, пироксениты в различной степени серпентинизированные и амфиболитизированные, серпентиниты. Нижний протерозой - PR_1 : 8 - PR_1, kr (PR_1, kv) - кварцевые порфиры и их туфы, курбакинская свита, 9 - PR_1, tm - сланцы углистые и слюдяные, местами обогащенные сульфидами, тимская свита; 10 - PR_1, tm , метаэффузивы основного состава с подчиненными прослоями сланцев, метаэффузивов дацит-андезитового состава, тимская свита; 11 - $PR_1, ch-os$ (PR_1, rg) - флишвидные карбонатные сланцы с прослоями актинолититов и других зеленых сланцев, щигрово-осколецкая (роговская) свита; 12 - $PR_1, ch-os$, флишвидные карбонатные карбонатные породы, филлитовидные сланцы, метапесчаники, метаалевролиты - щигрово-осколецкая (роговская) свита [32, 36]; 13 -

yPR_1 , гранитоиды существенно биотит-плагиоклазовые, плагиограниты, монзониты, кварцевые диориты (осколецкий комплекс - [32]); 14 - PR_1 , k_3 - курская серия, верхняя свита (PR_1 , k_3 bl, вс, белгородская, висловская свиты) - сланцы преимущественно кварц-биотитовые, иногда прослои карбонатных пород [36]; 15 - PR_1 , k_2 (PR_1 , kr) железистые кварциты, кварц-пироксен-магнетитовые и амфибол-магнетитовые породы - курская серия средняя (коробковская) свита; 16 - PR_1 , k_2 железистые кварциты, кварц-пироксен-магнетитовые и амфибол-магнетитовые породы с прослоями сланцев, микроамфиболитов - курская серия, средняя (коробковская) свита; 17 - PR_1 , k_1 , сланцы филлитовидные слюдяные и гранат-слюдяные, метапесчаники (курская серия, нижняя (стойленская PR_1 , st) свита); 18 - γPR_1 , лейкократовые биотитовые гнейсограниты, аплитовидные граниты, пегматиты (малые и жильные тела павловского комплекса - PR_1 , pv); 19 - γPR_1 , реоморфические автохтонные и частично интрузивные гнейсограниты, гибридные граносиениты и гранодиориты (павловский комплекс - PR_1 , pv); 20 - $\lambda t PR_1$, метасоматические автохтонные плагиомикроклиновые граниты и мигматиты преимущественно по породам донской серии (павловский комплекс - PR_1 , pv); Архей и протерозой нерасчлененные - AR-PR: 21 - AR- PR_1 , нерасчлененные мигматиты, амфиболиты, гнейсы; 22 - AR_2 , th - PR_1 k_1 , амфиболиты, другие метазффузивы, прослои железистых кварцитов - нижняя курская и михайловская серии нерасчлененные; 23 - AR_2 , th - PR_1 k_1 , то же без железистых кварцитов. Верхний архей - AR_2 : 24 - $N AR_2$, серпентиниты, серпентинизированные перидотиты, железногорский комплекс - AR_2 , g [63]; 25 - $N AR_2$, пироксениты, серпентинизированные перидотиты, габбро-амфиболиты, прослои кварц-пироксен-магнетит-амфиболовых пород в ассоциации с гнейс-мигматитами; 26 - AR_2 , th , мигматиты в ассоциации с породами михайловской серии; 27 - AR_2 , th , мигматизированные метадиабазы, амфиболиты, амфиболовые и другие зеленокаменные сланцы, актинолититы, метазффузивы кислого состава, михайловская серия; 28 - AR_2 , th , мигматизированные метадиабазы, амфиболиты, амфиболовые и другие зеленокаменные сланцы, актинолититы; Верхний и нижний архей нерасчлененные - AR_1 , AR_2 : 29 - AR_1 , ob- AR_2 , th , переслаивание гнейсов различного состава с ортоамфиболитами - обоянская и михайловская серии. Нижний архей AR_1 : 30 - γAR_1 , плагиограниты и плагиомигматиты салтыковского типа; 31 - AR_1 , ob, плагиогнейсы биотитовые сильно мигматизированные и мигматиты; 32 - AR_1 , ob, плагиогнейсы биотитовые слабо мигматизированные; 33 - AR_1 , ob, плагиогнейсы амфибол-биотитовые иногда с гранатом, зонально мигматизированные.

Юго-восточная часть ВКМ. Верхний и средний протерозой нерасчлененные PR_{2-3} (нижний протерозой PR_1): 34 - γPR_{2-3} , ol, плагиограниты, адаметиты ольховский комплекс [62] (PR_1 , ol); 35 - νPR_{2-3} , габбро-нориты ольховский комплекс (PR_1 , ol [62]); 36 - PR_{2-3} , gr, вулканико-магматические и полимагматические метапесчаники, метаалевролиты, сланцы, метадиабазы, метаандезитовые порфириды и порфиры их туфы и туффиты, грядинская толща [7], (PR_1 , ν -воронежская свита). Средний протерозой PR_2 (нижний протерозой PR_1): 37 - γPR_2 , ls биотитовые субщелочные граниты, лискинский комплекс (PR_1 , ls); 38 - граниты биотитовые и двуслюдяные, бобровский комплекс - γPR_2 , bb (γPR_2 , b); 39 - δPR_2 , t, диориты, кварцевые диориты, мамонский комплекс; 40 - νPR_2 , t, габбро, габбро-нориты, габбро-пироксениты, габбро-диориты; 41 - σPR_2 , t, пироксениты, перидотиты, серпентиниты. Нижний протерозой PR_1 : 42 - PR_1 , νc_2 , гнейсы биотит-плагиоклазовые нередко с коордиеритом, гранатом, нередко с высоким содержанием сульфидов, графита мигматизированные - (PR_1 , νc), воронцовская серия; 43 - PR_1 , νc_2 , сланцы биотитовые, алевросланцы, филлитовидные углистые сланцы, метапесчаники, воронцовская серия, верхняя пачка (PR_1 , νc); 44 - PR_1 , νc_2 , биотитовые сланцы, метапесчаники ритмично-слоистые, воронцовская серия, средняя пачка (PR_1 , νc); 45 - PR_1 , νc_2 , метапесчаники, алевросланцы с прослоями углистых сланцев, гранат-биотитовых, ставролит-биотитовых сланцев, воронцовская серия, нижняя пачка (PR_1 , νc); 46 - $y pl PR_1$, us, плагиограниты, адаметиты, гранодиориты, кварцевые диориты, мигматиты, усманский комплекс; 47 - $y t PR_1$, νc_1 , мигматиты по породам посевской толщи; 48 - PR_1 , νc_1 , метавулканики основного, среднего, реже кислого состава, метапесчаники, сланцы, посевская толща, верхняя пачка (PR_1 , ls₂); 49 - преимущественно микроамфиболиты, амфиболовые сланцы той же пачки; 50 - магнетитсодержащие метадициты, лептиты, порфириды той же пачки; 51 - PR_1 , νc_1 , метавулканики мигматизированные, посевская толща, нижняя пачка (PR_1 , ls₁); 52 - палеобазальты девона - D_3 . Тектонические нарушения: 53 - 1^{го} порядка, разделяющие докембрийские образования на крупные зоны различного петрографического состава; 54 - 2^{го} порядка, разделяющие крупные зоны на соподчиненные блоки; 55 - 3^{го} порядка и прочие; 56 - уверенные границы; 57 - предполагаемые границы; 58 - участки развития сульфидной минерализации в песчаниково-сланцевой толще воронцовской серии; 59 - участки различных пород, обогащенных магнетитом.

90%) в пределах аномальных объектов. Несопоставимость в изученности геологических, геофизических и петрофизических компонентов тесно взаимосвязанной исследовательской системы.

- Неоправданное прекращение петрофизических исследований (конец 70-х-начало 80-х гг.), в момент максимального развития буровых работ при осуществлении ГГК, ГМК, геофизических съемок масштаба 1:50 000 на ранее слабо опосредованных территориях.

- Минимальные объемы геофизических исследований методами ГСЗ, МТЗ, МВИ, изучения физических свойств при высоких термодинамических параметрах, отсюда недостаточность глубинной изученности земной коры и верхов мантии, как следствие очень ограниченное обоснование многочисленных геодинамических выводов.

- Частая смена возрастных рубежей одних и тех же объектов на основе очередных, но иных цифр единичных радиологических определений.

- Сомнительность разграничения геологических, петрохимических, геофизических, петрофизи-

ческих объектов методами математической статистики на малых (иногда 5-10 определений) и нерепрезентативных аналитических выборках.

- Частая смена далеко не аргументированных общегеологических, в особенности геотектонических представлений, получающих реализацию в очередном геолого-геофизическом документе (карте), то как коллизионная или шовная зона, то астенотолза, то поддвиг или надвиг, то рассеянный спрединг, то рифтоген и т.д.

Можно назвать более обширный список недоработок и упущений, имевших место на разных этапах изучения региона, но уже любой из вышеприведенных факторов вполне способен объяснить "достигнутую" перманентную ограниченность получения устойчивых геологических материалов.

Раскрыть и понять недостаточность примененной технологии в сфере достижения реалистического научного и практического геолого-геофизического результата, естественно, не самоцель исследований, а своеобразная основа для выработки подхода сохранения конструктивного предшест-

вующего опыта и его развития в будущем, тем более в условиях временного свертывания геолого-геофизических работ в регионе и потребности их ускоренного возрождения уже сейчас.

Какие первоочередные шаги необходимо предпринять для восстановления и совершенствования методологии геолого-геофизических исследований в регионе?

- Систематизировать в едином ключе имеющиеся геофизические материалы по модификациям отдельных геофизических методов и их комплексу, по ее результатам дополнить новыми модификациями.

- Выполнить для всего региона и сопредельных структур аэромагнитные съемки высокого разрешения с целью более устойчивого разделения магнитоактивных тел, определения их геологической природы, выделения и разделения аномалий от различных источников в фундаменте и чехле.

- Выполнить по возможности более детальное геофизическое районирование территории ВКМ по типам полей и их комплексу не только по интенсивности но, что не менее важно, по особенностям морфологии, пространственных ориентировок, сочетаемости, совмещения или смещения, количественных оценок в пределах отдельных геоструктурных обстановок.

- Продолжить работы по созданию петрофизического банка данных и на его базе- многомерной статистически выверенной петрофизической классификации, способных обеспечить на базе создания петрофизических образов необходимой иерархии геологических объектов, менее противоречивую, базирующуюся на априорных часто меняющихся представлениях, геологическую интерпретацию геофизических данных.

- Выделить систему эталонов для разнообразных геолого-геофизических ситуаций в пределах отдельных структурно-формационных комплексов, с целью устойчивого распознавания в геофизических полях конкретных петрофизически разграничивающихся объектов.

- Разработать комплексные параметры определения геологической природы аномалий потенциальных и волновых полей, связанных с разнообразными объектами, включая рудогенные обстановки.

- Разработать, частично использовать имеющиеся программные пакеты для компьютерной интерпретации, как отдельных геофизических методов, так и их комплекса, а так же получить характеристики для отождествления конкретных соподчиненных геологических образований, позволяющих принять менее противоречивую идеологию идентификации объектов в геофизических полях

- Дополнить информационную базу с целью обновления структурно-вещественной и петрофизической фрагментации кристаллических образований ВКМ, рассчитать для выделенных фрагментов средневзвешенные целевые характеристики.

- Оценить структурно-петрофизическое состояние, анизотропию разноранговых объектов кристаллической коры.

- Совершенствовать методические приемы разработки грависейсмических глубинных моделей земной коры и верхов мантии на основе использования результатов работ по вышеобозначенным пунктам, в особенности поправок сейсмических скоростей за счет влияния анизотропии, структурно-петрофизического состояния среды.

Сформулированные направления совершенствования исследований в процессе реализации могут и должны конкретизироваться, дополняться целевым информационным содержанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корреляционная схема стратиграфии и магматизма раннего докембрия Воронежского кристаллического массива (ВКМ) / Редакторы Б.М. Петров, Н.М.Чернышов, 1998.
2. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. -М., 1970. -Т. 1.- 440с.
3. Афанасьев Н.С., Египко О.И., Кривцов И.И., Павловский В.И. К вопросу о геологическом строении юго-восточной части ВКМ (по данным геологических и геофизических исследований) // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральных районов Европейской части СССР. -М., 1970. -Вып. 6. - С. 17-29.
4. 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.
5. Афанасьев Н.С. Методология глубинного изучения земной коры. Статья 1. Петрофизические аспекты геолого-геофизического картирования докембрия на примере Воронежского кристаллического массива- ВКМ // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол.- 2000. -№ 9. -С. 182-1974.
6. Афанасьев Н.С., Жаворонкин И.А., Кривцов И.И. Методология глубинного изучения земной коры. Статья 2. Закономерности отражения петрофизической дифференциации кристаллических образований ВКМ в геофизических полях как основной принцип его геологического изучения // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. - 2001. - № 11. -С. 167-176.
7. Афанасьев Н.С. Петрофизика докембрийских образований и геологическое строение Воронежского кристаллического массива: Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. -Л., 1984. - 45 с.
8. Афанасьев Н.С. Петрофизика и геологическое строение докембрия Воронежского кристаллического массива // Петрофизические исследования на щитах и платформах. -Апатиты, - 1985. -С. 34-42.
9. Петрофизическая характеристика пород докембрия Воронежского кристаллического массива и использование при составлении геолого-геофизических схем / И.А.Жаворонкин, Р.С.Красовицкая, И.И.Кривцов, Г.И.Филаретов, Н.С.Афанасьев, В.И.Павловский // Петрофизическая характеристика Советской части Балтийского щита. -Апатиты. - 1976. - С. 28-29.
10. Расчленение и корреляция дорифейских образований фундамента Восточно-Европейской платформы по петрофизическим данным / Н.С.Афанасьев, С.В.Богда-

- нова, Р.С.Красовицкая, Т.А.Лапинская, А.С.Петренко, В.А.Пуура // Геология, петрология и металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. -Т.1. - М., 1976. - С. 159-169.
11. Египко О.И. Некоторые минералого-петрографические и геохимические особенности докембрийских гранитоидов юго-восточной части Воронежского кристаллического массива: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. - Воронеж. - 1971. - 28 с.
12. Архангельский А.Д. Курская магнитная аномалия. - М., 1923. -341 с.
13. Архангельский А.Д., Розе Н.В., Колюбякин В.В. и др. Тектоника докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы по данным общей магнитной съемки СССР// Изв. АН СССР. Сер. географ. и геоф.-1937.- № 4. -С. 27-39.
14. Архангельский А.Д., Михайлов А.А., Федынский В.В., Люстих Е.Н. Геологическое значение аномалий силы тяжести в СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1937. - № 4. -С. 3-17
15. Архангельский А.Д. О строении Русской платформы // Бюл. МОИП. Отд. геол. -1940. Вып. 3-4. -С.3-17.
16. Лучицкий В.Н. Воронежский кристаллический массив и район КМА // Стратиграфия СССР. Докембрий. -Т.1. -М., 1939. - С. 140-152.
17. Варданянц Л.А. Докембрийский кристаллический фундамент Русской платформы // Международный геологический конгресс XXI сессия. Проблема 9. -М., 1960.-С. 89-93.
18. Афанасьев Н.С., Египко О.И., Кривцов И.И., Павловский В.И. Тектоническое строение и металлогения юго-восточной части Воронежского кристаллического массива по геолого-геофизическим данным // Вопросы разведочной геофизики. -Л., 1971. -С. 121-130.
19. Афанасьев Н.С. Петрофизические особенности гранит-мигматит-гнейсовой ассоциации Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1996. -№ 2.- С. 164-177.
20. 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. конфер. -Воронеж, 1996. - С. 105-106.
21. Афанасьев Н.С. Петрофизика гранитоидов Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Физика земли. -1997. -№ 11. -С. 58-68.
22. Копаев В.В., Мартынова Т.А. Опыт использования результатов лабораторных измерений железистых кварцитов при истолковании магнитных аномалий КМА // Изв. АН СССР. Сер. геоф. -1961. -№ 4. -С. 553-556.
23. Афанасьев Н. С.,Павловский В. И. Физические свойства основных и ультраосновных пород кристаллического фундамента юго-восточной части Воронежской антеклизы // Труды третьего совещания по проблемам изучения Воронежской антеклизы. -Воронеж, 1966. - С. 337-345.
24. Афанасьев Н.С., Чернышов Н.М. О взаимосвязи петрохимических и петрофизических особенностей ультраосновных пород Воронежского кристаллического массива // Вопросы петрохимии: Матер. к совещ. -Л., 1969. -С. 202-203.
25. Афанасьев Н.С., Жаворонкин И.А., Кривцов И.И., Филаретов Г.И. Разделение базит-гипербазитовых интрузий юго-востока ВКМ на основе их петрофизической характеристики и данным геофизических методов разведки // Вопросы петрологии, рудоносности основного и ультраосновного магматизма Воронежского кристаллического массива. -Воронеж. - 1974. - С.58-68.
26. Вассерман И.С., Кривцов И.И. Геологические результаты комплексных геофизических исследований в районе Павловских аномалий Воронежской области // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземных областей: Тр. межобластного совещ. - Воронеж, 1964. -С. 321-325.
27. Кривцов И.И., Павловский В.И. Геологическое строение докембрия района Павловских аномалий по результатам комплексных среднемасштабных геофизических исследований // Труды третьего совещания по проблемам изучения Воронежской антеклизы. - Воронеж, 1966.- С. 370-376.
28. Копаев В.В., Павловский В.И. Некоторые данные о строении верхней части докембрийского фундамента Воронежской антеклизы // Труды третьего совещания по проблемам изучения Воронежской антеклизы. - Воронеж, 1966. - С. 332-337.
29. Жаворонкин И.А., Красовицкая Р.С., Кривцов И.И. и др. О возможности выделения интрузий различного состава в пределах ВКМ геофизическими методами // Вопросы петрологии и рудоносности основного и ультраосновного магматизма Воронежского кристаллического массива. -Воронеж, 1974. - С. 49-58.
30. Зайцев Ю.С., Иванов А.В., Лебедев И.П. Метаморфические комплексы раннего докембрия юго-восточной части Воронежского кристаллического массива // Метаморфические комплексы фундамента Русской плиты. Л., 1978. -С.115-130.
31. Копаев В.В., Красовицкая Р.С. Материалы к тектонике Воронежского кристаллического массива // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземной области: Тр. межобластного геологического совещ. - Воронеж, 1964.- С.31-32.
32. Лебедев И.П. Реконструкция первичной природы условий прогрессивного регионального метаморфизма раннепротерозойских образований воронцовской серии (юго-восток Воронежского кристаллического массива): Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. - Воронеж, 1977. -21 с.
33. Египко О.И., Голикин Н.И., Полищук В.И., Бердников М.Д. Гранитоиды Воронежского кристаллического массива // Геология, петрология и металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. -М., 1976. -Т. 2. - С.47-54.
34. Доброхотов М.Н. Геология докембрия территории КМА // Сов. геол. -1961. -№ 11. - С. 37-54.
35. Доброхотов М.Н. К вопросу о стратиграфии докембрия КМА // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральных районов Европейской части СССР. - Вып 1. -1958. -С. 80-93.
36. Доброхотов М.Н, Полищук В.Д, Зайцев Ю.С. К вопросу о стратиграфии курской метаморфической серии // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральных районов Европейской части СССР. - Вып. 2. -Калуга. - 1959. -С. 17-27.
37. Леоненко И.Н., Голикин Н.И., Зайцев Ю.С. и др. Строение и формационное расчленение докембрия Воронежского кристаллического массива // Геология, петрология и металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. Т.1 -М., 1976. -С.83-91.

38. Плаксенко Н.А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии. –Воронеж, 1966. -276 с.
39. Полищук В.Д., Полищук В.И. Метаморфические комплексы фундамента бассейна Курской магнитной аномалии // Метаморфические комплексы фундамента Русской плиты. -Л., 1978. -С.131-155.
40. Голивкин Н.И. Петрография и петрохимия пород стойло-николаевского габбро-диоритового комплекса КМА // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральных районов Европейской части. -М., 1962. -С. 25-33.
41. Голивкин Н.И. О тектоническом строении докембрийского фундамента Курской магнитной аномалии // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1972. - № 7. -С. 35-42.
42. Крестин Е.М., Афонин В.В. Основные черты петрографии и геохимии гранитоидных образований Курской магнитной аномалии // Бюл. МОИП. Отд. геол. - 1976. - № 1. - С. 89-99.
43. Крестин Е.М. Докембрий КМА и основные закономерности его развития // Изв. вузов. Геол. и разведка. - 1980. -№ 3. -С.3-18.
44. Скрыбин В.Ю. Природа структурно-вещественной неоднородности гипабиссальных гранитных интрузий (на примере Лискинского массива): Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. –М., 1989. -19с.
45. Савко К.А., Лебедев И.П. Петрология архейских флогопит-диопсидовых мраморов Брянского блока Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол.- 1996. - №2. - С. 32-42.
46. Шмидт Н.Г. Опыт применения геофизических методов для целей геологического картирования фундамента КМА // Сов. геология. -1957. -№ 58. -С.3-21.
47. Любимов А.А. Исследование докембрийского фундамента железорудных районов гравиметрическим и магнитным методами (на примере КМА): Автореф. дис. докт. геол.-минерал. наук. –М., 1975. -56 с.
48. Копаяв В.В., Любимов А.А. Геологическое строение кристаллического фундамента Центральных районов КМА (Истобнянско-Медвенский, Курско-Бесединский участки) по геофизическим данным // Труды третьего совещания по проблемам изучения Воронежской антеклизы. –Воронеж, 1966. - С. 359-365.
49. Чернышов Н.М. Докембрийские интрузивные комплексы основных и ультраосновных пород Воронежского кристаллического массива и общие черты их рудоносности // Изв. АН СССР. Сер.геол. - 1972. - № 4. - С. 35-47.
50. Чернышов Н.М., Бочаров В.Л., Фролов С.М. К петрологии амфиболитов раннего докембрия КМА // Сов. геология. -1979. -№ 4. -С. 109-114.
51. Чернышов Н.М., Бочаров В.Л., Молотков С.П. Магматические формации и рудоносность раннего докембрия ВКМ // Петрология и металлогения магматических и метаморфических комплексов ВКМ и смежных районов. –Воронеж, 1983. -С.30-42.
52. Чернышов Н.М., Чесноков В.С. Траппы Курской магнитной аномалии. –Воронеж, 1983. -276 с.
53. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. -1986. - № 12.- С. 42-54.
54. Фролов С.М. Генетические типы базит-гипербазитовых интрузий мамонского комплекса и их взаимоотношения // Вопросы геологии и металлогении докембрия Воронежского кристаллического массива. – Воронеж, 1976. -С. 61-65.

Таблица

Сопоставление корреляционных стратиграфических схем докембрийских супракристаллических и магматических образований Воронежского кристаллического массива (ВКМ) 1998 года и 1972 года, дополненную в 1977-1982 годах

Хроностратиграфические подразделения	Схема 1998 года		Схема 1972 года		Примечания Уточнения в схеме 1999 и их критерии в отличие от схемы 1972
	Супракристаллические толщи	Магматические. ультраметаморфические комплексы	Супракристаллические толщи	Магматические. ультраметаморфические комплексы	
П		Дубравинский комплекс, в PR_1^2 d-метасоматиты (апатитсодержащие) по щелочным (чаще эгиринизированным) пироксенитам		Дубравинский- в PR_1^2 d метасоматиты (апатитсодержащие) по щелочным (чаще эгиринизированным) пироксенитам- щелочноамфиболовые, микролинизированные; карбонатиты, фениты	Объекты дубравинского комплекса характеризуются высокими петромагнитными параметрами, при преобладании остаточной компоненты. При достаточной точности магнитных съемок и учете положения объектов в связи с особенностями фрагментации фундамента могут уверенно фиксироваться в магнитных полях.
Р		Шебекинский комплекс- ξPR_1^2 ξ Сиениты, габбро-пироксениты, иногда эгиринизированные габбро		Шебекинский комплекс- ξPR_1^2 ξ Сиениты, габбро-пироксениты, иногда эгиринизированные габбро	Не получено дополнительных данных для создания петрофизических образов объектов шебекинского комплекса, его выделение по геофизическим данным остается не эффективным
О	Панинская толща- $\tau\phi PR_1^2$ рп. Метатрахибазальты, метатрахиандезиты.	Артошкинский комплекс- $\xi\tau PR_1^2$ Сиениты пироксен-рибекитовые с ксенолитами субщелочных пироксенитов	Панинская толща- $\tau\phi PR_1^2$ Метатрахибазальты, метатрахиандезиты.	Артошкинский комплекс- $\xi\tau PR_1^2$ Сиениты пироксен-рибекитовые с ксенолитами субщелочных пироксенитов	Панинская толща и артошкинский комплекс выявлены случайно, изучены фрагментарно, новые объекты не могут быть установлены по данной фактуре.
З	Глазуновская свита PR_1 gl	Малиновский комплекс - $\varepsilon\gamma PR_1^2$ ml Граниты существенно калиевые, субщелочные, порфировидные, пегматоидные, петматиты, гранит-аплиты		Атаманский комплекс-у PR_1 at-Граниты субщелочные биотитовые, pPR_1^2 at граниты пегматоидные существенно калиевые второй фазы комплекса 1740 $\pm$ 40 млн	Малиновский комплекс по петрофизическим и геологическим данным абсолютно не опознован, в геофизических полях не распознается. В выделении комплекса нет смысла.
О					
Й					

Продолжение таблицы

					Бобровский комплекс- у PR ₁ b ₁ Граниты биотитовые иногда с мусковитом-первая фаза: гранит-аплиты, пегматиты, грейзенизированные граниты второй фазы- ур PR ₁ b ₂			
Н и ж н и й				Сморodinский комплекс-у,ур PR ₁ sm-Габбро-долериты оливиновые, долерит-пегматиты	Глазуновская свита PR ₁ gl Метабазиты и истаандезиты метатуфопесчаники разнозернистые, туфы, туффиты и др.	Сморodinский комплекс-у,ур PR ₁ sm-Габбро-долериты оливиновые и безоливиновые, долерит-пегматиты	Глазуновская свита PR ₁ gl представлена метамофитами,ее петрофизика и все другие характеристики определяются не магматическими, а метаморфическими процессами	
				Новотольский комплекс у PR ₁ n Габродолериты оливиновые и безоливиновые, долерит-пегматиты 1980±15 млн. лет				
к а р е л и й				Ольховский комплекс- у PR ₁ ol Габбро, габбро-нориты, габбро-монциты, гранодиориты, граниты 2050 ± 8 млн лет		Ольховский комплекс- у PR ₁ ol Габбро, габбро-нориты, габбро-монциты, гранодиориты, граниты 2050 ± 8 млн лет	Отнесение гранитов ко второй фазе комплекса не согласуется с их активным воздеиствием на габброиды интрузии, а так же петрофизическими, геофизическими, геохимическими данными	
				Шукавский комплекс-у PR ₁ sh-Оливиниты, перидотиты, серпентиниты, пироксениты, габбро, габбро-диабазы				
				Бобровский комплекс- у PR ₁ b ₁ Граниты биотитовые иногда с мусковитом-первая фаза: гранит-аплиты, пегматиты, грейзенизированные граниты второй фазы- ур PR ₁ b ₂ 2022-2553 млн лет				

Продолжение таблицы

				Остатовский комплекс γ_2/ξ PR ₁ от. Граниты, граносиениты, мигматиты порфиробластические биотитовые и биотит-рогообманковые, Субвулканические тела гранитов и гранит-порфиров. 2059 млн.			Петрофизические данные по оставовскому комплексу не получены, критерии выделения в геофизических полях не разработаны,
				Шелковская Pr ₁ sc-металесчаниковая и сланцевая пачки.			
				Тимская. Pr ₁ tm: 2 подсветиты-нижняя улеродисто-сланцевая, верхняя- вулканогенная			
				Курбакинская Pr ₁ kb. 2 подсветиты: нижняя вулканогенно-осадочная, ветрхняя-сланцево-карбонатная			
				Белгородская Pr ₁ bl 4 подсветиты железорудные и сланцевые			
				Роговская Pr ₁ rg –2 подсветиты терригенная и карбонатная.			
				Висловская Pr ₁ vs. 2 пачки-терригенная и карбонатно-сланцевая.			
				Яколевская Pr ₁ ja .3 пачки, кварциты, металесчанники, разнообразные сланцы			
				Воронцовская Pr ₁ vs. Сланцы, металесчанники, метаалевролиты, улеродистые сланцы, гнейсы, порды переменного состава преимущественно биотитовые, отмеаются гранат- ставролит-кордиеритовые типы			
			Оскольская серия		Золотухинский комплекс- γ PR ₁ z. Перидотиты, серпентиниты, пироксениты, габро	Воронцовская серия –Pr ₁ vs. Сланцы, металесчанники, метаалевролиты, улеродистые сланцы, гнейсы, порды переменного состава преимущественно биотитовые, отмеаются гранат- ставролит-кордиеритовые типы	
				Стойло-Николаевский комплекс- γ PR ₁ sp –Габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты и преобладающие гранодиориты и гранит 2088± 193 млн.	Оскольская серия PR ₁ os сланцы в том числе улеродистые, металесчанники, сланцы карбонатные, известняки и мраморизованные доломиты, метаандезит-базальты, ортосланцы , туфопесчанники и др. метавулканииты.	Стойло-Николаевский комплекс- γ PR ₁ sp Габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты и преобладающие гранодиориты, плагиограниты и граниты	Значительно детализированы стратиграфия и породные ассоциции, выделенных подразделений оскольской серии, в схеме 1972 рассматривалась практически без разделения на свиты, толщи. Объем, геологическое положение, фациональный состав стойло-ниолаевского комплекса не претерпел существенных изменений.
			Воронцовская серия				Как прототип отсутствует, т.е. не выделяется. Не привляется так же в других обстановах

Продолжение таблицы

			Курская серия- P ₁ к. Железистые кварциты, сланцы 4 пачки, нередко сланцы превращены в гнейсы.	Осклещий комплекс- р ₁ P ₁ о Плагиограниты микроклинизированные, мигматиты, гранит-порфиры, кварцевые порфиры	Курская серия- P ₁ к. Железистые кварциты, сланцы, метапесчаники, три толщи или свиты: толченская, коробковская и верхнекурская.	Осклещий комплекс- р ₁ P ₁ о Плагиограниты микроклинизированные, мигматиты, гранит-порфиры, кварцевые порфиры	Статиграфия курской серии дополнена новыми данными, ее верхняя толща почти в полном объеме отнесена к оскольской серии.
	Курская серия		Стойленская P ₁ st Сланцы, метапесчаники, кварциты, микрогнейсы иногда с графитом	Уманский комплекс- р ₁ P ₁ u Плагиограниты, гранодиориты, мигматиты биотитовые и биотит-роговообманковые	Стой ленская P ₁ st Сланцы, метапесчаники, кварциты, микрогнейсы иногда с графитом	Уманский комплекс- р ₁ P ₁ u Плагиограниты, гранодиориты, мигматиты биотитовые и биотит-роговообманковые	
			Лосевская AR ₂ -P ₁ , ls. Метадиабазы и метаандезиты, метатуфопесчаники, амфиболиты, сланцы, ортосланцы среднего до кислого состава	Рождественский комплекс- λ ₂ u P ₁ г. Габбро роговообманковые, габбро-амфиболиты, габбро-нориты, пироксениты с оливинном	Лосевская P ₁ ls Метадиабазы и метаандезиты, метатуфопесчаники, метатуффиты, сланцы. ортосланцы среднего до кислого состава		В петрофизическом отношении рождественский комплекс не изучен. В геофизических полях выделяется условно и чаще всего это объекты различной природы.
		С в и т а	Игнатьевская FR ₂ -P ₁ ig Метаконгломераты, метагравелиты, метапесчаники полимиктовые, доломиты и известняки мраморизованные.				Игнатьевская свита петрофизического наполнения не имеет.
				Атаманский комплекс, у P ₁ at. Граниты субщелочные биотитовые рP ₁ ² - at. Граниты пегматитовые существенно калиевые второй фазы комплекса 2322-2615 млн. лет.			Возрастной рубеж атаманского комплекса в силу его активного воздействия на вмещающие образования курской и оскольской серий показан здесь случайно. Геофизические, геофизические и петрофизические параметры противоречат показанному его положению.

Продолжение таблицы

[illegible]