

УДК 550.84:553.4+552.1:53

МЕТОДОЛОГИЯ ГЛУБИННОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Статья 2. Закономерности отражения петрофизической дифференциации кристаллических образований ВКМ в геофизических полях как основной принцип его геологического изучения

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

Воронежский государственный университет

**ГГП "Воронежгеология"*

Геологическое изучение докембрия ВКМ, крайне неравномерно разбуренного и перекрытого осадочным чехлом фанерозоя переменной мощности и фациального состава, предполагает системное выполнение опережающих геофизических работ и сопряженных с ними по содержанию структурно-вещественных и петрофизических исследований для разнообразных геолого-геофизических ситуаций. Особое место здесь принадлежит выявлению реперных объектов (устойчиво и по особому фиксируемых в геофизических полях) в составе различных геоструктур докембрийского фундамента. В данном сообщении рассматривается каким образом петрофизические образы геологических тел (в первую очередь представительно изученных и достаточно устойчиво разграничивающихся по комплексу признаков-свойств, состава, строения) проявляются в геофизических полях в конкретных обстоятельствах. С этой целью в составе всех структурно-формационных комплексов ВКМ выделены оптимально изученные во всех отношениях площади (эталон). На эталонах установлены граничные условия распознавания петрофизических образов геологических тел в структуре геофизических полей. Закономерности геологической интерпретации геофизики на эталонных объектах использованы при структурно-вещественной интерпретации геофизических съемок для слабо опосредованных, а часто вовсе неразбуренных территорий, но на основе привлечения характеристик соответствующих эталонов.

В предшествующей статье [1] ("Петрофизические аспекты геолого-геофизического картирования докембрия на примере Воронежского кристаллического массива- ВКМ") детальный петрофизический анализ горных пород, в пределах рассмотренных территорий и соподчиненных тел, показал особое сочетание в них широкого набора разновидностей пород, значительные вариации их физических свойств, в том числе для многих одноименных петротипов, что отражается в особенностях структуры потенциальных геофизических полей в областях их распространения. Это привело к конкретизации требования разработки соответствующей методологии картирования приповерхностных и глубинных объектов земной коры, особенно в условиях крайне неравномерной разбуренности территории. Реализация этой задачи осуществлялась на основе использования и рассмотрения всей системы характеристик (геофизических, геологических, петрофизических) на эталонных (полно изученных и представляющих основное разнообразие обстановок) объектах, т.е. установления критериев разграничения последних в петрофизическом пространстве признаков и далее в геофизических полях в тех или иных конкретных обстоятельствах. Основные принципы геологиче-

ской интерпретации геофизических материалов на основе петрофизических разработок показаны на рис.1-4. На этих примерах на данном этапе развития системных исследований кратко остановимся лишь на ключевых моментах принятого подхода картирования кристаллического фундамента в условиях ВКМ. При реализации поставленной цели основное внимание сосредоточено на более тщательном системном решении следующих задач:

1. Сопоставимом для всех геоструктур региона геолого-геофизическом районировании докембрийского фундамента ВКМ.

2. Выборе эталонных площадей (объектов), заполняющих основное разнообразие геолого-геофизических ситуаций (районов).

3. Уточнении непосредственно для эталонов обобщенной петрофизической классификации, выявлении геологической информативности системы признаков для данных условий.

4. Установлении типических закономерностей фиксации в геофизических полях реперных (в петрофизическом отношении) объектов, но пределах различных эталонов.

5. Построении для эталонных участков максимально полных петрофизических карт и схем, с

отражением распространенности разнообразных по системе характеристик магматических формаций, фаций метаморфизма, элементов тектонической делимости.

6. Построении геолого-геофизических схем для эталонов на базе выявленных подходов картирования докембрийских образований.

Впервые методология эталонирования развивалась и положена в основу геолого-геофизического изучения докембрия ВКМ в процессе составления геолого-геофизической схемы докембрия юго-восточной части ВКМ масштабов 1:100 000-1:50 000 и классификации, выявленных интрузий базитов и гипербазитов - 1964-1971 гг. [2-4].

Решение задач 1,2 осуществлялось на базе целевой систематизации имеющихся фондовых и опубликованных материалов многих авторов, а также тематических обобщений непосредственно в рамках исследований по сформулированной выше проблематике [5-13]. При этом все геофизические материалы обработаны в едином ключе с введением всех необходимых поправок и оценок влияния вертикального градиента, неоднородности промежуточного слоя, локальных неровностей поверхности кристаллического фундамента. Влияние осадочного чехла при геофизическом опознавании петрофизических объектов в кристаллическом фундаменте рассматривалось в зависимости от литологии, мощности отдельных фаций, их неоднородности, закарстованности, а также обводненности, солевого состава и его концентрации в пластовых водах. Преимущественно на качественном уровне учитывалось влияние различий в прибортовой обводненности оврагов. В некоторых случаях, особенно в мергельно-меловых разрезах, аномальный прибортовой эффект в обезвоженном борту достигал порядка 0,7-1 мГл. Таким образом, характерные черты системы связей геофизических полей с геологическими образованиями кристаллического фундамента, осадочно-чехла и петрофизической дифференциацией последних положены в основу ведущего условия районирования ВКМ.

В результате геолого-геофизического районирования по комплексным данным выделены области, блоки, зоны, объекты соподчиненной размерности, различающиеся уровнями, морфологией, особенностями взаимосочетаний различной природы аномалий, в первую очередь потенциальных геофизических полей и их вызывающих структурно-вещественных ассоциаций горных пород в приэризонном и на более глубоких уровнях кристаллического фундамента. В определенной мере определены рамки разграничения по геофизическим и предварительным петрофизическим сведениям супракрустальных, магматических образований в пределах различных сегментов (районов) ВКМ.

При выборе эталонов, в пределах выделенных геолого-геофизических районов, выполнялось требование их достаточного количества, в совокупно-

сти охватывающего ведущие ситуации данной области. С другой стороны, привлекались в основном оптимально изученные территории, в геофизических полях которых устойчиво выделяются достаточно мелкие петрофизические ранги объектов. Как особые эталоны рассматривались интенсивные полосовые аномалии, связанные с железорудными и зеленокаменными структурами, базит-гипербазитовые и гранитоидные тела различной формационной принадлежности, многие ультраметаморфиты и метасоматиты. Важность привлечения перечисленных образований объясняется контрастным и особым выделением их в геофизических полях различных районов ВКМ и отсюда использования их в качестве реперных объектов при геолого-геофизическом картировании докембрия, особенно в условиях перекрытия последнего осадочным чехлом фанерозоя. Непосредственно для каждого из эталонов или сближенной по смыслу их группе реперные петрофизические петротипы пород дополнительно детализировались. Примеры развертывания петрофизической классификации для некоторых эталонов (Курско-Бесединского, Смородинского, Шкурлат-Павловского, Ольховского и Ширяевского) из различных структурно-формационных комплексов: раннего архея, тектоно-термальное активизированного позднего архея, раннего протерозоя различных режимов развития рассматриваются в сообщении 1 предыдущего "Вестника" [1].

Петрофизическое ограничение многозначности количественных оценок состава, геометрии объектов по параметрам гравитационного и магнитного полей достаточно наглядно отражено при подборе параметров Больше-Мартыновской интрузии базитов и группы Мамонских тел. В частности, глубины погружения Больше-Мартыновской интрузии, подобранные только на основе геологических предположений, для варианта I оцениваются порядка 6 км., а для варианта II- 2 км - рис.1. Кардинально возрастает надежность выделения геологических объектов с использованием их петрофизических характеристик по разрезам скважин, средним значениям для конкретных пород и объектам в целом (Мамонский участок - рис.2). Например, выделенное здесь на этапе подбора модели, не вскрытое на тот период бурением тело базитов, в последующем подтверждено геолого-разведочными данными [14]. Кроме этого, четко разграничиваются менее намагниченные автометасоматические и предельно высоко намагниченные аллометасоматические серпентиниты.

Для оптимального выбора эталонов по системе интерпретационных профилей исследовались оценки вклада малых объектов, особенно различных продуктов метаморфно-метасоматических преобразований гетерохимических сред (тела гранитизированных пород повышенной основности, метасоматиты и пневматолито-гидротермально измененные продукты). В частности, на рис.3 по ряду интерпретационных профилей отражено отождествление не-

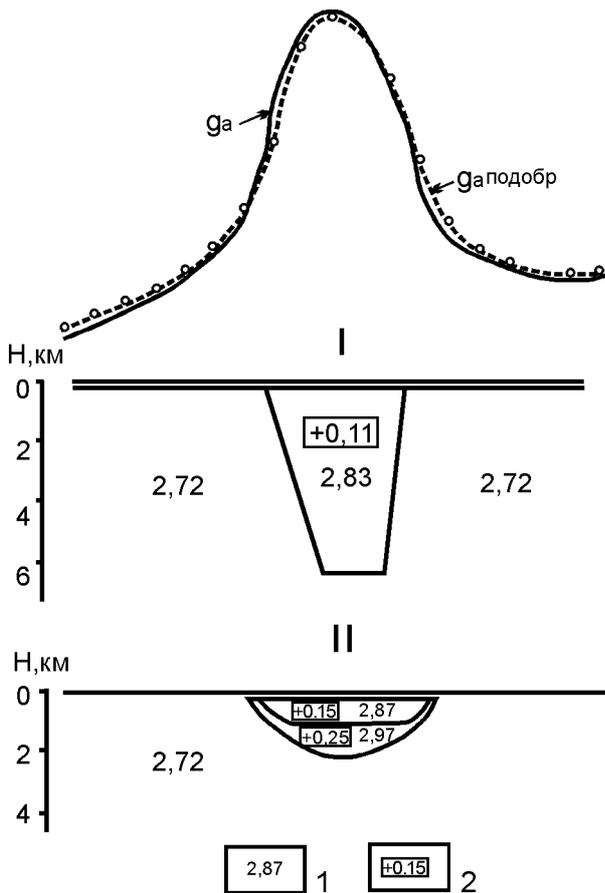


Рис.1. Интерпретация методом подбора Больше-Мартыновской гравитационной аномалии при различных геологических трактовках объекта - I - для однородного тела, II - для глубинно-дифференцированного тела: 1 - плотность геологических объектов; 2 - избыточная плотность.

больших магнитоактивных тел различной природы, в том числе биметасоматического обмена в областях гранитизации более основных протопродуктов коры. Для таких неоднородностей на базе анализа закономерностей их пространственного размещения, корреляция плотность - магнитная восприимчивость оценена плотность, что позволило учесть их при подборе обобщенных плотностных моделей вдоль разрезов. Различные по природе магнитоактивные объекты прослежены и выделены среди гранито-гнейсов Россошанского блока (гранитизированные метабазиты и метасоматиты гранитоидного ряда), палингенно-метасоматические и магматические фазы гранитоидов павловского комплекса, базит-гипербазитовые интрузии и сульфидизированные зоны в области развития воронцовской серии. Сопряженное комплексирование геолого-геофизических и петрофизических данных и их системная обработка в пределах различных обстановок ВКМ позволили подобрать широкий перечень эталонов с достаточно изученными в их пределах конкретными объектами.

Можно констатировать, что эталонирование подвело итог районированию и поставило ряд собственных задач. Во-первых, это требование углуб-

ленного петрофизического разграничения горных пород для конкретных обстановок, во-вторых, внедрению количественных мер при разграничении «минимизированных» петрофизических классов горных пород и их опознавания в геофизических полях, и что самое главное выработать основные принципы геолого-геофизического картирования кристаллического фундамента ВКМ в условиях наличия осадочного чехла, сложных характеристик крайне неравномерно опосредованного бурением фундамента, естественно, его соответствующего петрофизического изучения.

Потенциальные геофизические поля, петрофизическое описание и геологическая трактовка приводится для эталонов из различных структурно-формационных комплексов, для которых в статье [1] рассмотрена, в соответствии с полученными данными, детальная петрофизическая дифференциация горных пород.

Участки Шкурлат, Беседино и Смородино (рис. 4 I,II,III) в геотектоническом отношении соответственно относятся к Павловско-Стрелицкому краевому поднятию, центральной области обращенного антиклинория КМА и юго-восточному флангу Новооскольско-Малоархангельского синклинория по [3,15,16]. При этом, первый из них входит в состав "тяжелого" мегаблока, два других - "легкого" [17]. В их строении преобладают продукты гранит-мигматит-гнейсовой ассоциации, реже представлены базит-гипербазитовые и гранитоидные интрузии различных комплексов. В геофизическом отношении данные участки (примерно в рамках листа м-ба 1: 50 000) фиксируются уверенно различающейся структурой и уровнями потенциальных геофизических полей. Средние уровни и вариации гравитационного и магнитного полей для них соответственно имеют пределы: I- 20 (17-25); II- 3 (-5-+6); III -5 (-5-+1,5) мГл и I- 0,7 (0-1,2); II -1 (-0,2-1,2); III -1,5 (-0,3-3) тыс. нТл.; количество трансформант положительного и отрицательного знака I- (13-4), II-(14-7), III- (6-7) и I- (70-17), II- (16-7), III- (5-5), а соотношение северо-западных и северо-восточных ориентировок локальных элементов полей - I-(15-4), II-(10-11), III-(10-3) и I-(20-0), II-(12-6), III-(5-1). Средневзвешенная плотность участков соответственно составляет 2,69; 2,75; 2,73 г/см³. Анализ причин резкого несоответствия интенсивности полей силы тяжести и средневзвешенной плотности блоков показывает, что оно обязано особенностям эволюции и строения всего разреза земной коры и верхней мантии, развитию зон структурного и вещественного разуплотнения в ее различных областях, что относится к предмету особого анализа и здесь не обсуждается. Что касается отражения в структуре потенциальных геофизических полей закономерностей состава и строения приэрозионного уровня докемрийских образований блоков, то они достаточно уверенно объясняются петрофизикой объектов, выходящих в эрозионный срез фундамента [1,табл. 1]. В частности, вы-

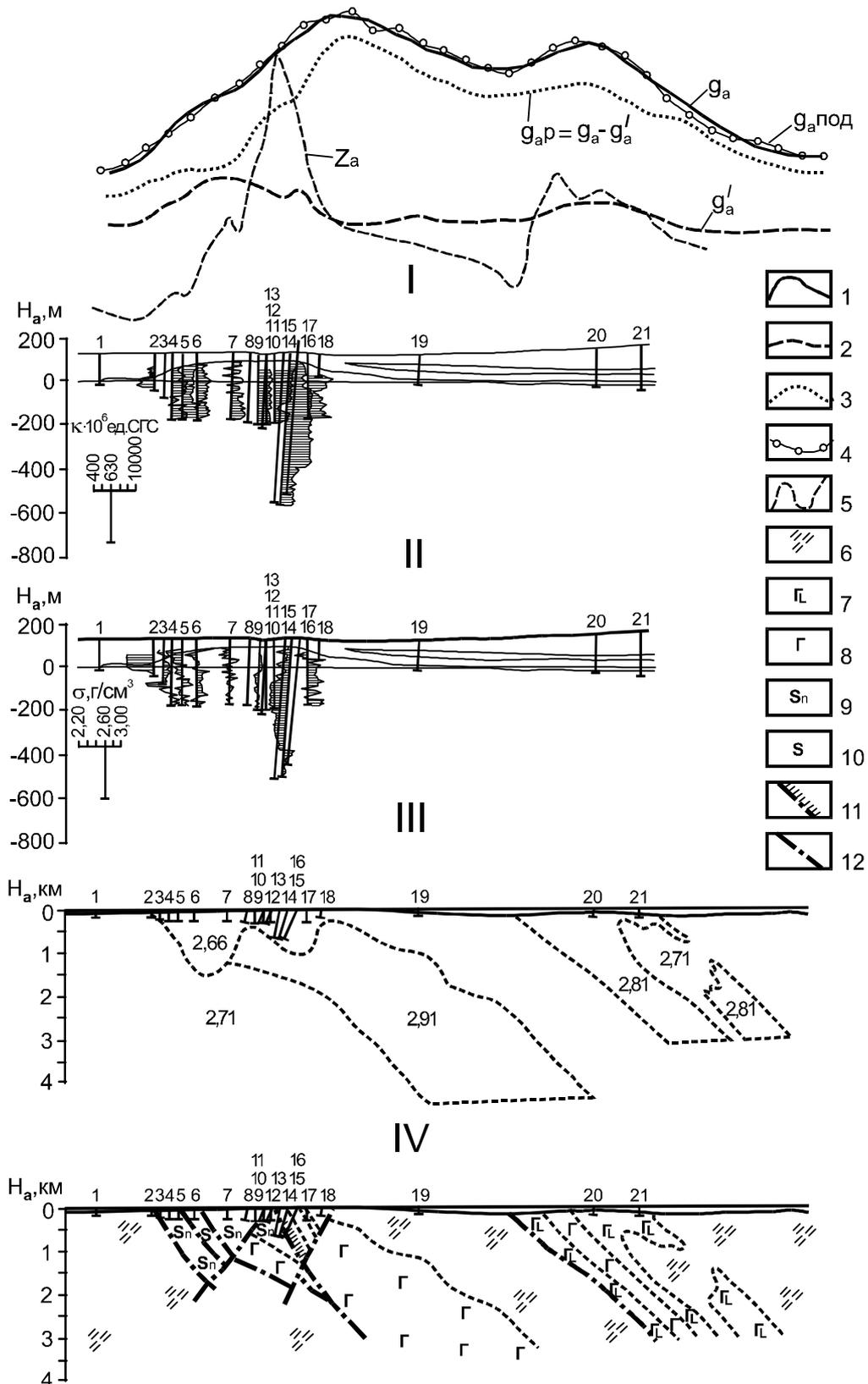


Рис.2. Комплексная петрофизическая и геолого-геофизическая модель объектов Нижне-Мамонского рудного поля. I - графики магнитной восприимчивости по разрезам скважин, II - графики плотности по разрезам скважин, III - интерпретационный плотностной разрез, IV - геологический разрез: 1 - наблюдаемое поле g_a ; 2 - региональное поле g_a ; 3 - разностное поле g_a ; 4 - подобранное поле g_a ; 5 - наблюдаемое магнитное поле Z_a ; 6 - песчаниково-сланцевые образования воронцовской серии (PR_1, vc); 7 - габбро-диориты мамонского комплекса (PR_1, m); 8 - габбро-нориты мамонского комплекса (PR_1, m); 9 - перидотиты серпентинизированные мамонского комплекса (PR_1, m); 10-серпентиниты мамонского комплекса (PR_1, m); 11 - положение рудного тела; 12 - разломы. На разрезах скважинам присвоены условные номера. 1 соответствует скв. №564, 2-436а, 3-437а, 4-429а, 5-420а, 6-422а, 7-426а, 8-525а, 9-528а, 10-523а, 11-430а, 12-524а, 13-431а, 14-522а, 15-194а, 16-200а, 17-419а, 18-616, 19-552, 20-104, 21-103.

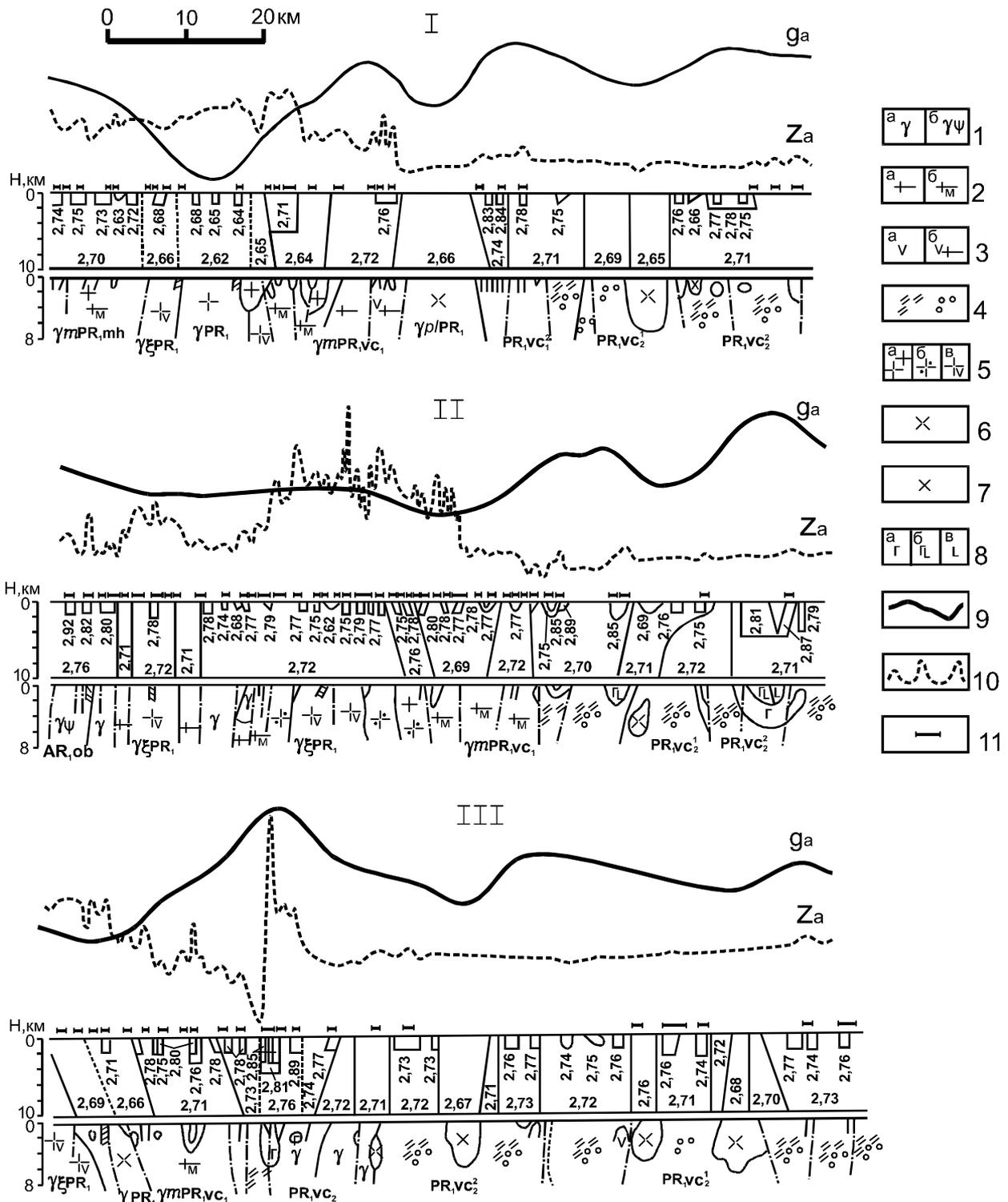


Рис.3. Комплексные интерпретационные геолого-геофизические и петрофизические разрезы докембрия юго-востока ВКМ по профилям Лиски - Березовка (I), Сергеевка - Павловск - Воронцовка (II), Богучар-Калач (III): 1а - гнейсы биотитовые, 1б - гнейсы амфиболовые, амфиболиты и габбро-амфиболиты обоянской серии (AR_{1ob}); 2а - мигматиты биотитовые, 2б - мигматиты амфиболовые ($AR-PR_1$); 3а - вулканогенные породы (метабазиты, габбро-амфиболиты, метаандезито-базиты, метаандезиты (AR_1 - раннего архея, AR_2 - позднего архея, PR_1 - нижнего протерозоя), 3б - мигматизированные метаулканиты 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, адаметеллиты усманского комплекса (PR_{1us}); 7 - граниты субщелочные лискинского и атаманского комплексов (PR_1^{2ls-at}); 8а - габбро, габбро-нориты, габбро-долериты (бесединского - AR_2bs , мамонского- PR_{1ol} , 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 .

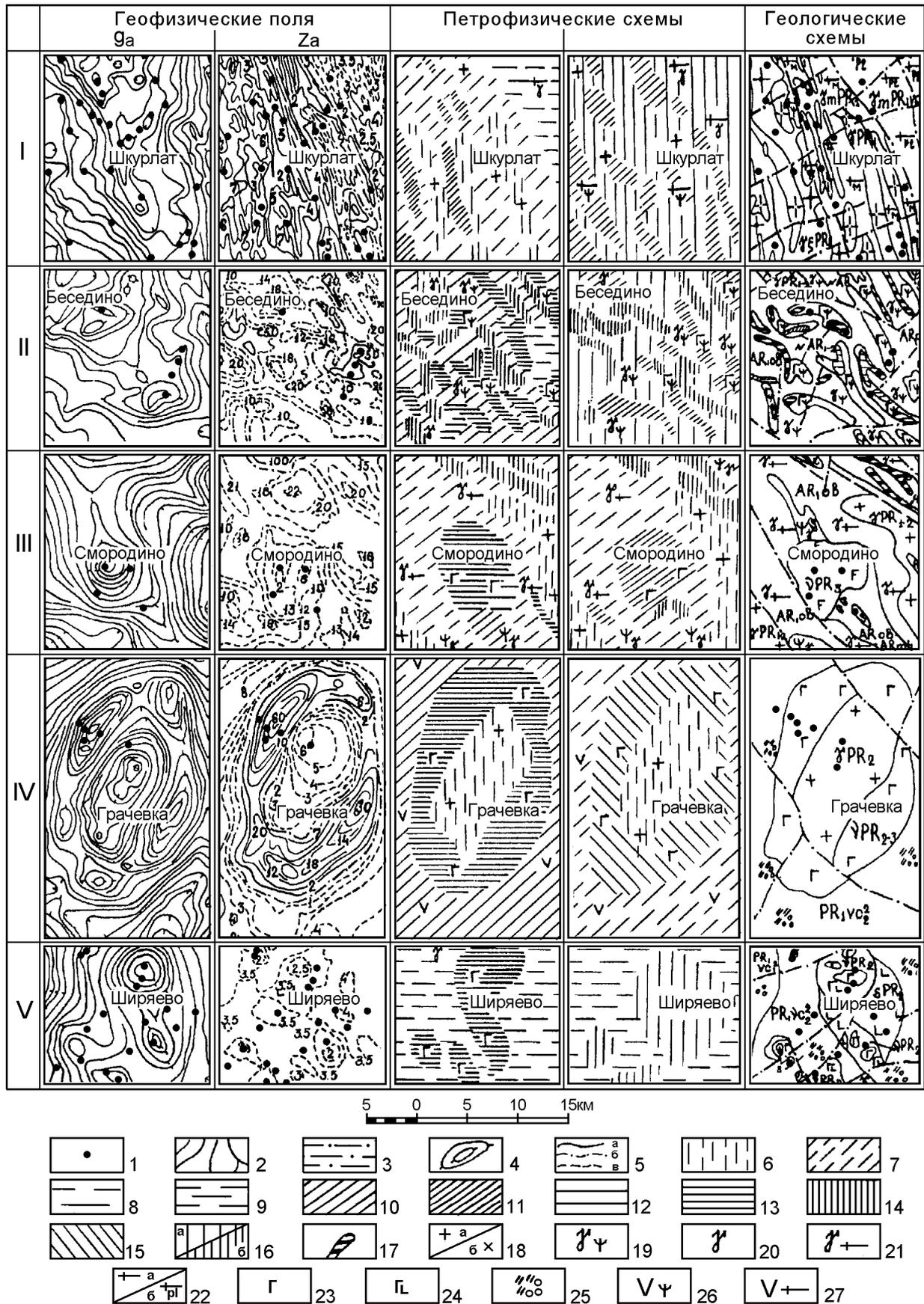


Рис.4. Эталоны корреляции геофизических полей, петрофизических параметров объектов и геологические схемы строения докембрия для участков из различных структурно-формационных комплексов ВКМ [2,4]: I-Шкурлат-Павловского; II-Бесединского; III-Смородинского; IV-Ольховского (Грачевского); V-Ширяевского. Условные обозначения см. на стр. 184.

Условные обозначения к рис. 4: 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) - 2,61-2,63 г/см³, скорость распространения продольных волн (Vp, км/с) - 5,6-6,0 км/с, суммарная намагниченность (J, 10⁶ СГС -In +0.5 li) -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.

сокое региональное магнитное поле на участке Шкурлаты фиксирует преобладающие в его составе магнитоактивные гранитизированные породы донской серии [18] и многочисленные дифференциаты ганитоидов павловского комплекса. Природа их намагниченности связана с накоплением ферромагнетиков в процессе палингено-метасоматической гранитизации исходных протопродуктов верхней коры [19]. Линейно изрезанная морфология геофизических полей северо-западной ориентировки коррелируется с пространственным распределением широкого перечня горных пород и особенностями их взаимопреобразований. Нередко в процессе гранитизации тел ультрабазит-базитов раннего архея отмечается накопление ферромагнитных фаз в экзоконтактах (гранитизированной среде), в результате локальные гравитационные и магнитные аномалии часто смещаются относительно друг друга.

На участках Беседино, Смородино локальные элементы геофизических полей, как следует из материалов рис.4 и [1, табл. 1] связаны в основном с развитием в их составе железорудных тел разной формационной принадлежности [20] и морфологии интрузий бесединского (AR₁, bs), смородинского (Pr₁, sm) комплексов и преобладающих в этих блоках образований гранит-мигматит-гнейсовой ассоциации (мигматит-плагитогранитной формации) с относительно пониженными значениями плотности и магнитной восприимчивости последних. На участке Беседино разноориентированные или сложноорганизованные аномалии (в особенности магнитного поля) определяются участием среди гранито-гнейсов обоянской серии, соскладчатых с ними петрофизически контрастных раннеархейских метабазит-железорудных тел различной ориентировки, а так же базит-гипербазитовых тел, с варьирующими характеристиками размерности и взаимоотношений с гранито-гнейсами, относимых к бесединскому и сергеевскому комплексам, присущих раннеархейским структурам. На Смородинском участке сочетание изометричных и фоновых северо-западной ориентировки линейных аномалий обязаны петрофизике габброидов смородинского комплекса (Pr₁, sm) и метабазитов и частично железистых кварцитов верхнеархейского-нижнепротерозойского этапов тектоногенеза. Следует подчеркнуть, что наиболее информативные признаки для конкретных условий выбираются дифференцированно. Например, при выделении тел железистых кварцитов определяющими являются магнитные параметры пород и полей, фиксирующих последние. При опознавании различных по формационной принадлежности ам-

фиболитов, гнейсов, интрузий магматитов, наряду с особенностями намагниченности пород и структуры магнитного поля, ведущую роль приобретают плотность, скорость распространения продольных волн, гравитационные и сейсмические данные, обычно довольно устойчиво выделяющие плотностные неоднородности геологической среды, а магнитные и электрические характеристики способствуют детализации внутреннего строения плотностных объектов той или иной формационной принадлежности. В ряде случаев (при опознавании метасоматитов, гидротермалитов) основное значение приобретают характеристики электропроводности среды и ее структурно-петрофизическое состояние, обычно эти параметры очень тесно взаимосвязаны, проводящие и вторично намагниченные объекты тяготеют к структурно-разуплотненным зонам.

Ольховский и Ширяевский участки (рис.4) представляют соподчиненные структуры Эртиль-Калачского мегаблока, их строение определяют соответственно метавулканогенные песчаники, хлорит-карбонатсодержащие сланцы, метаандезит-базиты грязинской (воронежской) свиты (Pr₁, vr), метапесчаники различные сланцы, гнейсы воронцовской серии (Pr₁, vc) и породные асоциации преимущественно интрузий базитов ольховского (Pr₁, ol) и мамонского (Pr₁, m) магматических комплексов. Интрузивные тела и вмещающие их образования данных эталонов обладают достаточно индивидуализированными петрофизическими характеристиками [1]. Закономерности выраженности показателей последних коррелируются с морфологией, интенсивностью, взаимосочетанием геофизических полей. В частности, практически полное согласование и совпадение гравитационной и магнитной аномалий в границах Ольховской интрузии является следствием очень высокой остаточной намагниченности плотных габброидов комплекса. Магнитное поле в контурах гравитирующего Ширяевского тела и других интрузий мамонского комплекса обычно мозаичное и по его параметрам можно выделить в составе объектов лишь некоторые петротипы или продукты различной природы постмагматических преобразований с присущими им особенностями намагниченности, в том числе за счет изменения ориентировки ее вектора. Более высокий уровень гравитационного поля Ширяевского участка (15-20 мГл) сравнительно с Ольховским эталоном (5 мГл) при усредненной плотности приэрозийного уровня разреза коры первого 2,725 г/см³ и второго-2,755 г/см³ обязан особенностям строения всей земной коры в данных сегментах ВКМ, но в первую очередь большей

плотности и мощности так называемого "диоритового" слоя для первого эталона [21].

Петрофизическая дифференциация геологических образований в пределах эталонных участков, особенности отражения петротипов горных пород (петрофизических образов [1, табл. 1]), в геофизических полях с учетом качественных и количественных оценок пространственно-временной распространенности последних, положены в основу построения петрофизических схем для многих эталонных объектов региона, некоторые из которых в комплексе с геофизическими полями показаны на рис.4. На данных объектах уверенно прослеживается, устойчивая, хотя и по особому для конкретных условий, корреляция структурно-вещественной неоднородности геологической среды и ее отражение во взаимосочетании, морфологии и других параметрах потенциальных геофизических полей. Например, на Бесединском участке наблюдается практически полное совпадение гравитационных и магнитных аномалий, выделяющих железорудные, базитовые магматические и ультраметаморфические объекты. На Ширяевском эталоне гравитационные и магнитные поля в областях интенсивной гранитизации плотностных объектов часто смещены относительно друг друга, иногда отмечается выравнивание одного из них до фоновых значений или противоположных. При построении петрофизических схем эталонов для данных условий разрабатывались многочисленные целевые разрезы, блок-диаграммы для оценки параметров объектов до глубин их замыкания, т. е. объемного представления.

Результаты системного анализа потенциальных геофизических полей, электроразведочных и сейсмических наблюдений, региональной и локальной петрофизических классификаций всей иерархической цепочки геологических образований, разработанные петрофизические схемы эталонов, многочисленные обобщения геологических материалов многими авторами [22-24] в той или иной мере внедрены практически для всех структурных элементов территории ВКМ, реализованы в составленных для них геолого-геофизических схематических картах (принципы подходы отражены на рис.1-4). Геологическая индексация, выделенных тел непосредственно на схемах-примерах данной статьи (рис.4) приводится в авторской трактовке на момент их составления. Выработанные геологические представления на эталонных участках, особенно с позиций их структурно-вещественного наполнения и более уверенных количественных оценок параметров объектов положены в основу последующих разработок геолого-геофизических, геологических карт, схем региона, его отдельных подразделений. Более полно вопросы вклада петрофизического моделирования применительно развития методологии геолого-геофизического картирования ВКМ предполагается обсудить особо. Здесь только напомним, что до сих пор современного системного пересмотра фактологиче-

ского обоснования (привлечения всей базы данных) структурно-вещественного, минерагенического, тем более металлогенического и других аспектов наполнения геолого-геофизической документации не предпринималось.

Тезисно обсужденные подходы геологической интерпретации геофизических наблюдений на базе петрофизических исследований позволяют обратить внимание на следующие моменты.

Объемное представление тех или иных тел геологической среды в петрофизических показателях для различных элементов ее иерархической делимости позволяет в значительной мере сузить неопределенность разграничения геологических образований по геофизическим данным. Выработанные подходы опознавания геологических тел на эталонных площадях привлечены в качестве основы всех последующих этапов геолого-геофизического картирования ВКМ. Одновременно обозначилось множество вопросов недостаточной информационной освещенности геологической среды, особенно с позиций полного прекращения петрофизических исследований, недостаточного внимания к глубинному изучению земной коры и подкорковых уровней мантии и в этой связи более надежного обоснования пространственно-временных характеристик геологических явлений, решения задач металлогении.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Геология. -2000. -№(3)9. -С.182-197.
2. 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. Вып. 6. -М., 1970. -С.17-29.
3. 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.
4. 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
5. Шмидт Н.Г. Опыт применения геофизических методов для целей геологического картирования фундамента КМА // Сов. геология. -1957. -№58. -С.3-21.
6. Шмидт Н.Г. Краткий обзор геофизических исследований КМА // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральных районов Европейской части СССР. Вып. 2. -Калуга, 1959. -С.187-213.

7. Кобаев В.В. О региональных магнитных аномалиях КМА и прилегающих районов // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центральной районов Европейской части СССР. Вып. 2. -Калуга, 1959. -С.214-221.
8. Кобаев В.В., Павловский В.И. О возможностях использования особенностей рельефа докембрия при изучении геологического строения КМА и поисках полезных ископаемых // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземной области. Тр. межобластного геологического совещ. -Воронеж, 1964. -С.316-320.
9. Жаворонкин И.А. Геологическое строение кристаллического фундамента Белгородского железорудного района в свете геофизических исследований и новейших геологических данных // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземной области. Тр. межобластного геологического совещ. -Воронеж, 1964. -С.325-331.
10. Вассерман И.С., Кривцов И.И. Геологические результаты комплексных геофизических исследований в районе Павловских аномалий Воронежской области // Геология и полезные ископаемые Центрально-Черноземной области. Тр. межобластного геологического совещ. -Воронеж, 1964. -С.321-325.
11. Кобаев 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.305-311.
12. Павловский В.И. Серебряков Е.Б. Некоторые дополнительные возможности использования номограмм для интерпретации кривых U_{xz} // Разведочная геофизика. -№17. -М., 1966. -С.47-51.
13. Серебряков Е.Б. О геологических результатах геофизических работ в Михайловском железорудном районе ЕКМА // Тр. третьего. совещ. по проблемам изучения Воронежской антеклизы. -Воронеж, 1966. -С.365-370.
14. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива. -Воронеж, 1971. -312с.
15. Полищук В.Д. Основные черты строения и истории геологического формирования докембрия КМА // Тр. межобластного геологического совещ. по минеральным ресурсам ЦЧО. -Воронеж, 1964. -С.14-19.
16. Чайкин С.И. Новые данные по геологии и структуре кристаллического фундамента Белгородского железорудного района // Материалы по геологии Европейской части СССР. Вып. 2. -Калуга, 1959. -С.53-65.
17. Афанасьев Н.С., Дубянский А.И., Закутский С.Н., Надежка Л.И. О соотношении геолого-структурных особенностей докембрийского фундамента ВКМ с глубинным строением земной коры // Вопросы геологии и металлогении докембрия ВКМ. -Воронеж, 1977. -С.31-41.
18. Елифанов Б.П. Вопросы стратиграфии докембрия Курско-Воронежской антеклизы // Труды геологического управления Центральных районов. Вып. 2. -Калуга, 1959. -С.28-52.
19. Афанасьев Н.С., Павловский В.И. Физические свойства пород фундамента ВКМ // Петрография докембрия Русской платформы. -Киев, 1970. -С.421-427.
20. Щеголев И.Н. Железорудные месторождения докембрия и методы их изучения. -М., 1985. -196 с.
21. 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.
22. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т.1. -М., 1970. -440с.
23. Доброхотов М.Н. Геология докембрия территории КМА // Сов. геол. -1961. -№11. -С.37-54.
24. Русинович И.А. Геологическое строение докембрия железорудного бассейна КМА // Сов. геол. -1958. -№5. -С.57-63.