

550.8
В 544

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Препринт № 8

Л. В. Витте

**МАГНИТНАЯ МОДЕЛЬ
ЗЕМНОЙ КОРЫ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПРОВИНЦИИ
АЛДАНСКОГО ЩИТА**

НОВОСИБИРСК 1989

УДК 550.838(571.5)

Витте Л.В. Магнитная модель земной коры Центральной провинции Алданского щита. Новосибирск, 1989. 38 с. (Препр./Институт геологии и геофизики СО АН СССР; № 8).

Магнитная модель земной коры построена с использованием современных петрологических и тектонических моделей Алданского щита. Установлено существование крупных латеральных магнитных неоднородностей в земной коре, существенный вклад молодых процессов в ее намагничение. Показана высокая эффективность магнитометрии в районировании земной коры.

Для геологов и геофизиков.

СО АН СССР

Институт геологии и геофизики

№ 78376

инала.

78376

З. М. В.

© Институт геологии
геофизики СО АН СССР,
1989

ВВЕДЕНИЕ

Центральная провинция Алданского щита характеризуется исключительно сложным рисунком магнитных аномалий и преобладанием высоких значений напряженности (рис.1). Особенности магнитного поля этой территории объяснялись преимущественно эффектами процессов гранитизации, проявившихся в пестрых по составу толщах в различных физико-химических условиях /8, 12/. Проявление этих эффектов должно быть ограничено по вертикали Р - Т-условиями процессов гранитизации.

З.А.Крутиховская впервые показала, „что структура регионального магнитного поля древних щитов (в том числе Алданского - Л.В.) сформирована главным образом глубинными источниками и, следовательно, земная кора в глубинной части неоднородна по laterали" /15, с.124/. Природа этой неоднородности остается в значительной степени неясной. Было высказано предположение /2/ о возможной связи региональных магнитных аномалий Сибирской платформы с преобразованиями земной коры молодыми (позднепалеозойско-мезозойскими) процессами активизации. Наиболее сильно эти процессы воздействовали именно на нижние части разреза земной коры. Доказательство существования намагничения пород этих уровней разреза в совокупности с региональным характером процессов активизации, могут быть убедительными аргументами в пользу молодой (наложенной) природы региональных магнитных аномалий. В общем плане это положение высказывалось относительно всех древних платформ /13/. Для Сибирской платформы мы хотим провести, начиная с данной работы, детальный геолого-геофизический анализ для обоснования высказанного выше положения.

Молодая перестройка магнитного поля Сибирской платформы должна была изменить характер и интенсивность магнитных аномалий от фундамента. Этот вопрос нуждается в тщательном изучении; в данной работе делается попытка наметить некоторые связи "древней" и "молодой" структур магнитного поля.

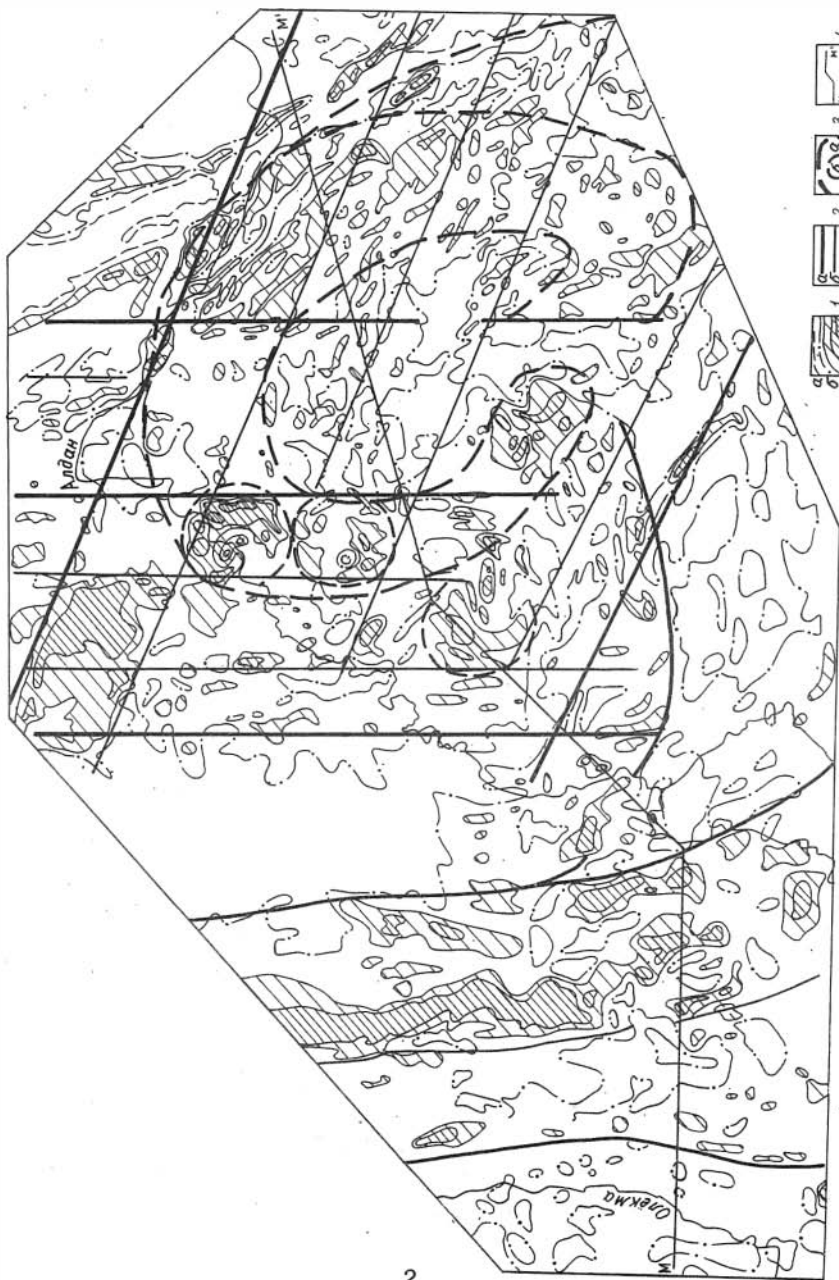


Рис. I. Районирование магнитного поля:

I - изолинии напряженности магнитного поля в мЭ: а - 5, б - нулевая изолиния, в - более 5, г - более 10, д - более 15; 2 - границы зон (а) и подзон (б) магнитного поля; 3 - кольцевые аномалии, границы: а - Нижне-Тимптонского купола по /g/, б - мелких куполовидных структур; 4 - линия профиля.

Работы Э.А. Крутиховской с соавторами /I4/ показали, что магнитное поле является важным источником информации о строении земной коры и на его основе можно выделять основные типы коры и характеризовать их признаки. Алданский щит является хорошим примером, иллюстрирующим эти положения.

Данное исследование в значительной степени базируется на идеях и теоретических положениях, сформулированных Зинаидой Александровной Крутиховской, и посвящается ее памяти.

I. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПРОВИНЦИИ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Основу земной коры Алданского щита составляют древнейшие инфракрустальные образования /I2/. Они имеют в разных частях щита различный состав. В Центральной провинции инфракрустальное основание сложено биотитовыми, амфибол-биотитовыми гранито-гнейсами (γn) и чарнокито-гнейсами ($en + \gamma n$) (рис.2). Эти образования являются продуктами ранней, начальной дифференциации вещества Земли и представляют собой уже высокодифференцированный субстрат. По химическому составу биотитовые и амфибол-биотитовый гранито-гнейсы - аналоги лейкогранитов и гранитов субщелочного, реже нормального ряда. Чарнокито- и эндербито-гнейсы соответствуют тоналит-трондземитовой серии /I2/.^{*} Возраст инфракрустальных образований изменяется от 3,8-3,9 млрд лет (эндербиты Сутамского блока) до 2,02 млрд лет (гранито-гнейсы западной части щита), отражая в значительной степени интенсивность переработки инфраструктуры в позднем архее и раннем протерозое.

На переработанном инфракрустальном основании в центральной части щита лежат фрагменты разновозрастных супракрустальных образований. К нижнему структурно-вещественному комплексу относятся: курумканская, сеймская, амедичинская и чугунская толщи. Древнейшая курумканская толща представлена мощными телами кварцитов с прослоями высокоглиноземистых сланцев, либо преимущественно высокоглиноземистыми сланцами. Эти породы по химическому составу отвечают терригенно-глинистым и глинистым отложениям, сформировавшимся в стабильной тектонической обстановке. Прослои основных сланцев в курумканской толще по химическому составу соответствуют траппам. Курумканская толща налегает на инфракрустальный комплекс и обнажается в наиболее эродированных структурах или в тектонических окнах среди федоровской толщи.

Сеймская толща содержит высокоглиноземистые гнейсы, гранулиты, кварциты, основные плагиогнейсы и сланцы. По петрохимии главные породы толщи отвечают грауваккам и толеитовым базальтам. Развита она преимущественно в восточной части исследуемой области, в Иджеко-Сутамской протофациальной зоне.

^{*} Геологическое описание далее по данным / I2 /

В западной части исследуемой области супракрустальные толщи выделены в амедичинскую и чугинскую толщи. Амедичинская толща обнажается в изолированных выходах среди гранито-гнейсов и имеет тектонические контакты с курумканской толщей. Для нее характерно: широкое распространение высокоглиноземистых гнейсов, железистых кварцитов; присутствие известково-силикатных пород, редко кальцифиоров и особенно гранатосодержащих основных сланцев. Чугинская толща характеризуется устойчивой специфической ассоциацией кварцитов, карбонатных пород, высокоглиноземистых гнейсов и плаггиогнейсов.

К верхнему структурно-вещественному комплексу принадлежат Федоровская и Иджакская толщи. В их составе преобладают основные плаггиогнейсы и кристаллические сланцы; подчиненное развитие имеют известково-силикатные, диопсид-флогопитовые породы и кальцифиры. Эти толщи слагают широкий дугообразный пояс по восточному краю Иенгурского мегаблока* (см. рис. 2). Фрагментарно образования Федоровской толщи развиты довольно широко в Центральной провинции Алданского щита.

В крайней восточной части исследуемой области развиты преимущественно лейкократовые гранат-биотитовые плаггиогнейсы, кварциты, известково-силикатные породы, объединяемые в холболохскую толщу. Область развития этих пород рассматривается как переходная между Центральной и Восточной провинциями Алданского щита (см. рис. 2).

В крайней западной части рассматриваемой области на тоналитовом инфракрустальном основании располагаются поля развития олекминской толщи и более молодые супракрустальные образования тунгурчинской толщи, тектонически заклиненные в субмеридиональных зонах. Олекминская толща (биотитовые и амфиболовые плаггиогнейсы с пластами амфиболитов, гранат- и диопсидсодержащих пород) коррелируется с верхним структурно-вещественным комплексом Центральной провинции щита. Время ее формирования более 2930 млн лет /1/. Тунгурчинская толща сложена метаморфизованными карбонатными и терригенными породами с подчиненным развитием основных сланцев и железистых кварцитов. Время формирования толщи - поздний архей.

* Понятие, аналогичное "центральной провинции".

Рис.2. Геологическая карта территории исследования (по /12/, упрощенно). Врезка - строение Нижне-Тимптонского купола (по /9/): I-4 - инфракрустальные образования: I - биотитовые, биотит-амфиболовые, амфиболовые плагиогнейсы и гнейсы (tn), 2 - биотитовые, амфибол-биотитовые гранито-гнейсы (gn), 3 - чарнокито- и гранито-гнейсы, чарнокитоиды и гранитоиды ($en + gn$), 4 - эндербитогнейсы (en); 5 - схематизированные контуры, показывающие развитие супракрустальных образований: km - курумканский, am - амедичинской, cg - чугинской, sm - сеймской, fd - федоровской толщ; 6 - область развития холболохской толщи (hl); 7 - разновозрастные габброиды (ν_2 - второго; ν_4 - четвертого циклов); 8 - разновозрастные гранитоиды, связанные с деформационными циклами (цифры показывают возраст); 9-10 - нерасчлененные (9) и гнейсовидные (10, gnf) граниты; II - гнейсовидные граносиениты и щелочные граниты); I2 - супракрустальные образования позднего архея - раннего протерозоя, тектонически заклиненные в зонах смятия и бластомилонитизации (I - Субганский грабен; II - Ярогинский грабен в зоне Реутова); I3 - зоны смятия и бластомилонитизации IV деформационного цикла; I4 - структурные элементы в супракрустальных толщах: а - мезозойские разрывы с перекристаллизацией в зеленосланцевой фации, б-в - осевые поверхности складок главного этапа деформаций II цикла; б - синформных и в - антиформных; I5 - Тимптонский надвиг; I6 - приближенные контуры распространения комплексов инфра- и супраструктуры; I7 - осадочный чехол платформы (E-J); I8 - края профилей (M, M^I - магнитного).

Врезка: I - платформенные отложения кембрия и юры; иенгрская серия: 2 - нижняя свита, 3 - средняя свита, 4 - верхняя свита; маркирующие горизонты внутри верхней свиты: 5 - нижний, 6 - средний, 7 - верхний; 8 - преобладающее направление падения пород.

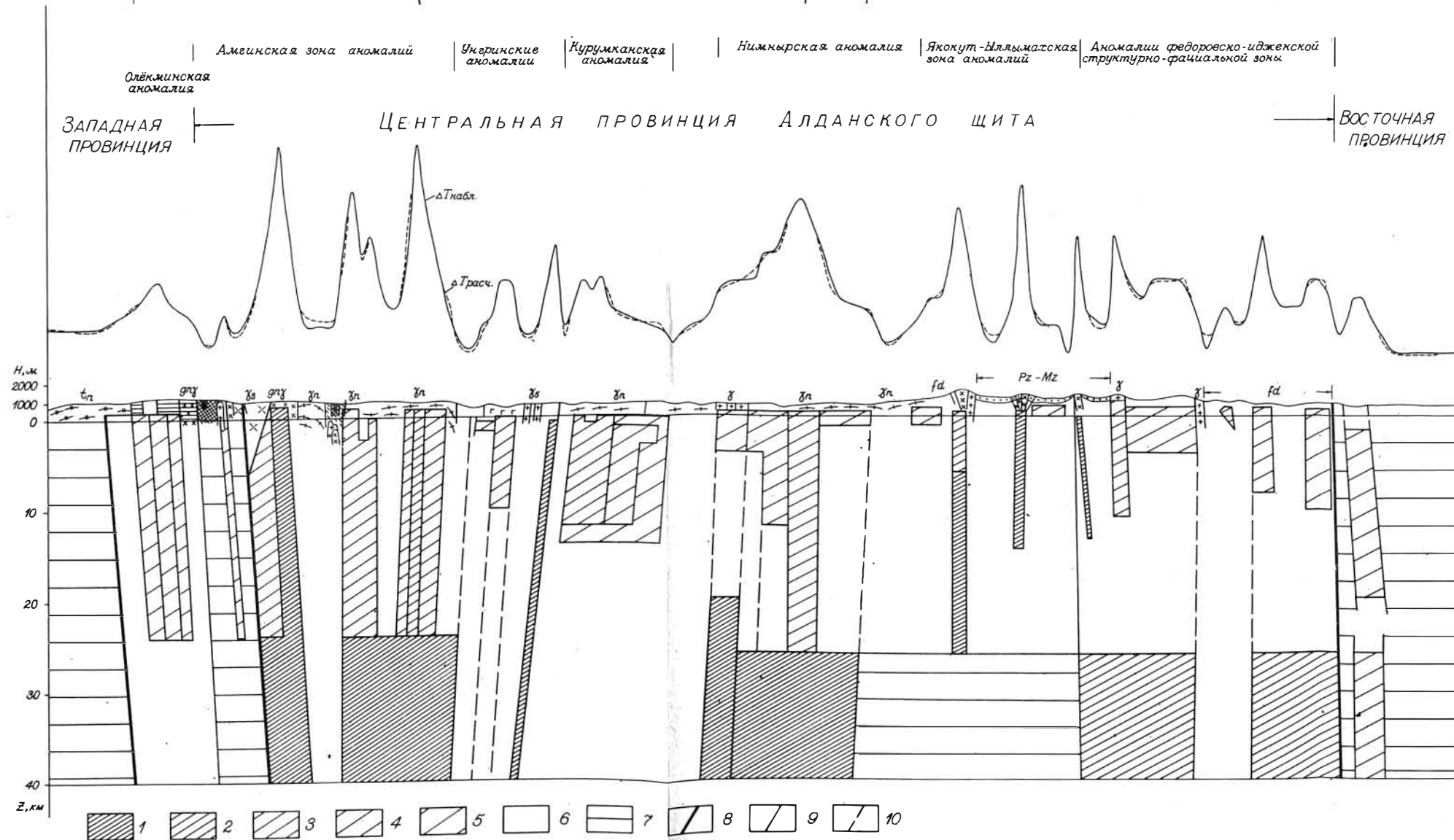
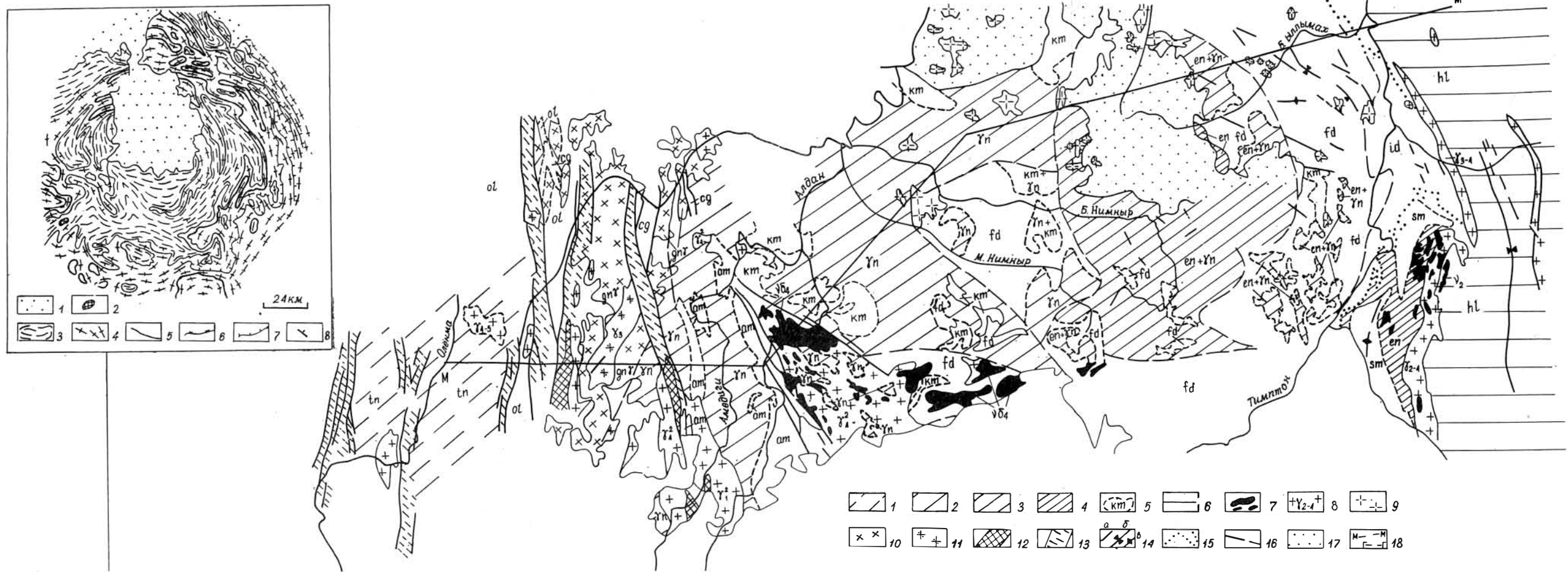


Рис. 4. Магнитная модель Центральной провинции Алданского щита.

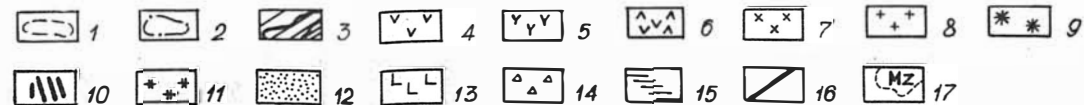
Участки земной коры: 1-2 - сильно намагниченные ($\chi = 10^{-3}$ СИ): 1 - более 6000, 2 - 4000-6000; намагниченные: 3 - 3000-4000, 4 - 2000-3000, 5 - 1000-2000, 6 - не более 1000, 7 - не более 600. Глубинные разломы, ограничивающие: 8 - крупные сегменты (провинции) земной коры, 9 - намагниченные блоки в коре, 10 - те же, предполагаемые по магнитным данным.



Рис. 3. Характеристика в магнитном поле Якокут-Шлымаховского мезозойского магматического узла /20/.

Изолинии напряженности магнитного поля, в мЭх: 1 - отрицательные значения, 2 - нулевая изолиния, 3 - более 5 (а), более 8 (б), более 10 (в). Мезозойские магматические образования: 4 - сиенит-диорит-порфириды, сиенит-порфириды, 5 - щелочные пироксениты, эгириновые щелочные сиениты, 6 - туфы, туфолавы, игнибриды щелочных трахитов, 7 - сиениты, 8 - граниты, 9 - кимберлиты, 10 - дайковые пояса, 11 - щелочные габброиды, 12 - вулканогенно-осадочные линзы, 13 - Инаглинский дунитовый массив, 14 - туфобрекчи. Глубинные разломы: 15 - по геофизическим, 16 - по геологическим данным; 17 - контуры мезозойских прогибов.

* Единицы измерения напряженности, используемые для карт аномального магнитного поля СССР.



Наиболее молодые дорифейские образования в Центральной провинции Адданского щита сохранились в узких грабенообразных структурах, принадлежащих мощным тектоническим зонам смятия и бластомилонитизации (см. рис. 2). Кроме тунгурчинской толщи, упоминавшейся выше, это: булгуняхтахская, балаганахская, субганская и ярогинская серии, в составе которых главную роль играют различные по составу кристаллические сланцы, в том числе ортосланцы – аналоги нормальных, высокожелезистых и субщелочных базальтов (последние особенно характерны для субганской и ярогинской серий). Толщи прорваны диабазами и габбро-диабазами, субщелочными диоритами и щелочными гранитами.

Анализ состава, особенностей метаморфизма и структуры самых ранних (~ 3 млрд. лет) отложений Центральной провинции Адданского щита показывает, что в этот период существуют три протофациальные зоны: стабильная область, характеризующаяся отложением терригенно-глинистых осадков курумканской толщи, и подвижные пояса: Иджеко-Сутамский – на востоке, Олекмо-Кюно-Алданский и Западно-Алданский – на западе.

Особенности вещественного состава и структуры земной коры стабильной области были в основном сформированы в ходе II тектоно-метаморфического цикла; последующие (III и IV циклы) кардинально не изменили сложившийся структурный план. Основной особенностью последнего является развитие гигантских куполовидных структур, таких как Нижне-Тимптонская и Западно-Алданская (см. рис. 2, врезка). В их сложении принимают участие гранито-гнейсы инфраструктуры, облекаемые супракрустальными породами. Образование куполовидных структур связано с всплыванием реоморфических масс, насыщенных перегретым расплавом /2I/. К областям диапиров (куполов) приурочена основная масса реоморфических гранитов.

В ходе реоморфической гранитизации вещество инфраструктуры и супраструктуры вовлекается в сложное перемешивание, в котором, кроме этих субстратов, участвует и жильный материал, преобразующийся в ходе процесса в реоморфические породы. В силу этих обстоятельств верхняя часть земной коры области развития диапиров характеризуется большой неоднородностью. Отмечаются очень сложные взаимоотношения субстрата с мигматит-гранитами и гнейсо-гранитами: наличие будинажа, интенсивные

пластические деформации метаморфических пород, обильные ксенолиты вмещающих пород, турбулентные структуры течения. И даже реоморфические граниты вещественно очень неоднородны и содержат многочисленные включения метаморфических пород /21/.

Иджико-Сутамский пояс отделяет Центральную провинцию Алданского щита от Восточной. В структурном отношении пояс представляет собой зону развития линейной складчатости и покровов. Здесь проходит граница между сериями алданского архея, а также граница метаморфических зон. Западное ограничение зоны линейной складчатости – скрытый Тимптонский разлом – тектоническая граница между верхним и нижним комплексами алданского мегакомплекса; восточное, Иджико-Нуямский разлом, – граница метаморфических зон (см. рис.2). К востоку от Иджико-Нуямского разлома располагается область ареального гранулитового метаморфизма переходного режима от высоко- к низкоградиентному умеренной и повышенной глубинности, характерного для Восточной провинции Алданского щита.

Область развития купольных структур с запада ограничена сложно построенным субмеридиональным поясом, сформированным в ходе III и IV тектоно-метаморфических циклов в результате развития Олекмо-Становой подвижной зоны и Приолекмо-Пристановой зоны активизации. В современной структуре западный пояс представлен сочетанием крупных протяженных зон интенсивного расщелачивания с образованием blastomylonites. Внутри зон тектонически заклинены породы тунгурской, булгуныхтахской серий и балаганхской толщи. В пространствах между зонами смятия обнажаются переработанные комплексы инфраструктуры с фрагментами древних супракrustальных пород, а также протяженные поля интрузивных образований, в составе которых присутствуют разновозрастные и различные по составу (граниты от нормальных до щелочных, рессолоенные и дифференцированные интрузии, metabasites и metabasalts) комплексы.

Таким образом, в пределах Центральной провинции Алданского щита обособляются крупные массивы земной коры, различия в составе и структуре которых были заложены на самых ранних этапах эволюции и в последующих преобразованиях становились все более контрастными. Как будет показано ниже, им свойственны также свои особенности распределения намагниченных объектов.

II. РАЙОНИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД И ПРИРОДА АНОМАЛИЙ

Приведенное выше геологическое описание дает представление о составе верхней части земной коры и возможном характере магнитных объектов. Рассмотрим особенности магнитного поля и вероятную природу магнитоактивных источников, исходя из особенностей состава, строения и развития земной коры Центральной части Алданского щита.

Региональный магнитный профиль пересекает центр Алданского щита — Иенгрский мегаблок, выходя флангами в Западно-Алданскую и Тимптоно-Учурскую провинции (см. рис.2).

Восточнее р.Олекмы магнитное поле характеризуется высокоинтенсивными положительными аномалиями субмеридиональной ориентировки. Это Амгинская аномальная зона, разделяющая Западную и Центральную провинции Алданского щита, резко различны по морфологии и интенсивности аномалий (см. рис.1). Западная провинция отличается от Центральной более низкими значениями регионального фона, меньшей интенсивностью осложняющих его положительных аномалий и спецификой их рисунка. Слабое общее намагничение земной коры Западной провинции Алданского щита обусловлено неоднократной и очень сильной анатектической переработкой древнейшего тоналитового субстрата, завершившейся мощным наращиванием гранитной коры /II/.

Сложную и во многом неясную природу имеют интенсивные положительные аномалии Амгинской зоны (см. рис.1). Пространственно они тяготеют к линейному складчатому поясу, располагавшемуся на самых ранних этапах эволюции на окраине Центрально-Алданского массива (см. рис.2). Уже в это время (II тектоно-метаморфический цикл) обозначилась глубокая специфика этого пояса: развитие в его пределах высокодифференцированных терригенных отложений, вулканитов, железистых кварцитов и карбонатов; глубокие погружения в период кульминации метаморфизма (гранулитовая фация повышенной глубинности переходного режима от высоко- к низкоградиентному) /I2/. В третьем тектоно-метаморфическом цикле в пределах рассматриваемого пояса существуют протофациальные зоны: Олекмо-Становой подвижный пояс — на западе и Приолекмо-Пристановая зона активизации — на востоке. Наиболее сильные возму-

щения магнитного поля фиксируют как раз зону активизации; особенно резко подчеркнута западная граница последней — интенсивной и протяженной положительной аномалией Амгинской зоны (см. рис. I, 2).

К эпохе активизации III—IV циклов относятся супракрустальные отложения (субганская, ярогинская толща и др.), имеющие характерные признаки эвгеосинклинального или рифтового генезиса. В их составе широко развиты ортосланцы, соответствующие по петрохимии высокожелезистым, нормальным и субщелочным базальтам, железистые кварциты и другие характерные породы. Супракрустальные образования прорваны габбро-диабазами, гиперстен-роговообманковыми субщелочными диоритами и рибекитовыми щелочными гранитами. В целом же магматические образования III—IV циклов в рассматриваемой области весьма специфичны. Здесь широко развиты габбро-диабазы, расслоенные и дифференцированные интрузии (пироксениты, горнблендиты, субщелочные габбро, габбро-диориты, диориты, гранодиориты, субщелочные граниты), а также породы габбро-гранитной серии, в составе которой присутствуют лейкогаббро и плагиоклазиты.

В современной структуре область активизации представлена сочетанием линейных тектонических зон расщепления и бластомилонитизации, разделенных полями развития разнообразных гранитоидов, олекминских и инфракрустальных образований. Положительные магнитные аномалии параллельны мощным зонам расщепления и бластомилонитизации. Они как бы сопровождают последние, выраженные участками низких значений напряженности магнитного поля. Вследствие этого Амгинской зоне свойствен близкий к полосовому тип магнитного поля (см. рис. I).

Наличие в зонах расщепления тектонически заклиненных супракрустальных толщ с признаками рифтового происхождения позволяет предположить, что данные зоны представляют собой сжатые, переработанные расщеплением и бластомилонитизацией участки осевых частей бывших рифтов. Разделяющие их массивы сложены инфракрустальными образованиями и породами алданского комплекса, метаморфизованными изначально в гранулитовой фации. В ходе метаморфизма IV цикла они испытали диафорез, который мог привести к обогащению этих пород ферромагнитными минералами. Кроме того, эти участки и в III, и в IV циклах были ареной достаточно интенсив-

ной плутонической деятельности, приведшей к становлению здесь очень сложного и разнообразного комплекса пород, среди которых присутствуют расслоенные дифференцированные интрузии от габбро, габбро-норитов до диоритов, встречаются также плагиоклазиты - возможные аналоги анортозитов и широко развиты различные гранитоиды в том числе субщелочного и щелочного состава /12/. Именно процессы, приведшие к диафторезу вмещающих гранулитовых пород и становлению в них разнообразного комплекса плутонических образований-продуктов плавления нижней коры и верхней мантии, могут быть ответственны за намагничение большого объема пород земной коры Амгинской аномальной зоны.

Амгинская аномальная зона отчетливо распадается на две части - западную и восточную, которые различаются интенсивностью аномалий. Все высокоинтенсивные аномалии характеризуют восточную часть зоны, отвечающую активизированной окраине древнейшего Алданского мегаблока. Западная часть, со значительно менее интенсивными возмущениями поля, отвечает Олекмо-Становому подвижному поясу, заложенному в III цикле между двумя крупными массивами древнейшей коры - Западным и Центральным.

Центральный массив Алданского щита, его ядерная часть, характеризуется исключительно сложным магнитным полем. Довольно отчетливо проступают различия в интенсивности и морфологии аномалий, связанные с изменением состава и структуры дорифейского основания. В западной части рассматриваемого массива, который целесообразно называть по традиции Йенгтрским, развиты наименее глубоко метаморфизованные комплексы, содержащие гиперстен лишь в сравнительно редких случаях. Здесь, в гранито-гнейсовой инфраструктуре (Уп; см. рис.2), наиболее широко распространены и образуют крупные тела гранит-милчатиты и реоморфические граниты. Считается, что основные магнитовозмущающие объекты обусловлены именно развитием гранитизации /8,16/. Действительно, в рисунке аномалий ощущается тенденция к образованию кольцевых форм, которые, возможно, отражают структурные особенности широко развитых здесь полей гранитизации. Судя по имеющимся определениям /16/, намагниченность гранитизированных образований инфраструктуры довольно значительна (см. таблицу), что в общем соответствует интенсивности наблюдаемых аномалий.

Центральная часть Йенгтрского массива выделяется изменением

Магнитные свойства докембрийских образований /15/

№ п/п	Общая характеристика типа вещественных комплексов	Состав	Намагниченность ($\cdot 10^{-3}$)	
			внутригигро-ванных	транзитгиро-ванных
1	Интракрустальные образования тоналитового (<i>tn</i>), грани-тон-гнейсового (<i>gn</i>) и эн-дербитового (<i>el</i>) составов	<p><i>tn</i>: биотитовые, биотит-амфиболитовые, амфиболитовые плагиогнейсы и гнейсы</p> <p><i>el</i>: гиперстенсодержащие плагиогнейсы, реже гнейсы, двупроксеновые сланцы и плагиогнейсы</p> <p><i>gn</i>: биотитовые, амфибол-биотитовые гранито-гнейсы и чарнокито-гнейсы</p>	120 220 840 440 500 700	1650 2300 3350 90 9000-15000 2400 7000
2	Породы Федоровской свиты, интенсивно гранитизированные (Якокун-Ыльмахское поле гранитизации)	Основные кристаллические сланцы и гнейсы, биотитовые гнейсы и кристаллические сланцы, кальцифилы и мраморы, магнетитовые породы и руды		2300 4400 до 100 000 и выше

3	Супракристиаллыне образования курумканской амедичинской сеймской свит	Высокоглиноземистые гнейсы и кварциты (в том числе железистые), высокоглиноземистые гнейсы, сланцы	Слабомагнитны (350) 6450
4	Супракристиаллыне образования холболахской серии	Гранат-биотитовые с силлманитом и кордиритом гнейсы и кристаллические сланцы; основные кристаллические сланцы и гнейсы, карбонатные породы, кварциты	Слабомагнитны
5	Граниты (докембрийские)	Амфиболовые, биотит-амфиболовые, амфибол-биотитовые Гранатовые Биотитовые, лейкократовые, аляситовые	2400 280 300
6	Мезозойские интрузивные породы		Слабомагнитны за исключением авгитовых сиенитов, роговообманковых сиенит-порфиров, монцититов I200

морфологии и интенсивности

зона (Якокут-Ыльмакская) с востока и запада резко очерчена субмеридиональными аномалиями; внутри нее общий фон поля значительно понижен, а рисунок аномалий существенно отличается от такового соседних участков. Изменению магнитного поля в центре Иенгрского массива отвечает изменение состава фундамента (см. рис.2). Здесь развиты чарнокито- и эндербито-гнейсы инфраструктуры, метаморфизованные в гранулитовой фации и гранитизированные. Такие образования имеют высокие значения магнитной восприимчивости (см. табл.), и теоретически им должны соответствовать интенсивные положительные аномалии. Однако в структуре магнитного поля этой области доминируют отрицательные аномалии, природа которых определяется, по-видимому, другими факторами (см. ниже).

Восточный край Иенгрского массива характеризуется повышением фоновых значений магнитного поля и преобладанием линейных интенсивных положительных аномалий преимущественно северо-западной ориентировки (см. рис.1,3). Особенности магнитного поля отражают развитие в этой области супракrustальных образований Федоровской и Иджекской свит. Эти толщи сильно гранитизированы (Якокут-Ыльмакское поле гранитизации) и, как правило, имеют высокие значения магнитной восприимчивости (см. табл.). Границы крупных вещественных неоднородностей, как и основные структурные направления, имеют северо-западное простирание, совпадающее с общим направлением магнитных аномалий (см. рис.2,3).

К востоку от Тимптонского надвига, в области развития эндербитового инфракrustального основания и перекрывающей его сейсмской толщи, общий фон поля слабоотрицательный. Такой же характер имеет магнитное поле и в полосе развития холболохской толщи, что находится в соответствии с низкими значениями намагниченности негранитизированных пород эндербитовой серии и холболохской толщи (см. табл.). Общий отрицательный фон осложнен здесь линейными положительными аномалиями, фиксирующими Иджек-Нуямскую и Тыркандинскую зоны глубинных разломов /19/. Резкое снижение фоновых значений магнитного поля в переходной зоне к Восточной провинции Алданского щита и в самой провинции обусловлено главным образом изменением типа земной коры (резким вырождением дорифейских процессов региональной гранитизации). Это ,

вероятно, не единственная причина, объясняющая данный эффект.

Выше были рассмотрены самые общие особенности магнитного поля Йенгрского блока, и показана их связь с изменением состава и структуры верхней части земной коры. Выявлены были и некоторые несоответствия.

Прежде всего, обратим внимание на существование в магнитном поле Йенгрского массива довольно четко выраженной меридиональной зональности. Можно выделить две зоны преимущественно отрицательных и сильно пониженных значений напряженности поля. Одна из них Чугинская – непосредственно примыкает с востока к Амгинской зоне, а другая – Якукут-Ыльмахская – проходит через одноименный мезозойский прогиб. Между этими меридиональными зонами располагаются области преимущественно высоких значений напряженности магнитного поля (см. рис.1).

Природа Чугинской аномалии не может быть предметом обсуждения, так как это закрытые чехлом территории. Рассмотрим Якукут-Ыльмахскую меридиональную зону. Ее границы хорошо выражены в магнитном поле резким снижением напряженности и изменением морфологии аномалий (см. рис.3). С восточной стороны пучки интенсивных положительных аномалий северо-западной ориентировки, подходя к Якукут-Ыльмахской зоне, расщепляются с появлением меридиональной составляющей и далее, в пределы зоны, не прослеживаются. С западной стороны зона очерчена системой интенсивных положительных аномалий субмеридиональной ориентировки. Специфика Якукут-Ыльмахской зоны, выраженная изменением напряженности магнитного поля и морфологии аномалий, связана отчасти с изменением состава и структуры древнего фундамента, однако не это играло решающую роль. В рассматриваемой зоне (см. рис.3) широко развиты мезозойские щелочные магматические образования [20]. Общее простираение ее подчеркнуто протяженными мезозойскими дайковыми поясами, контролируемыми меридиональными глубинными разломами, явно доминирующими. Они ограничивают область концентрации мезозойских осадочно-вулканогенных и субвулканических образований и являются частью системы трансконтинентальных глубинных разломов, прослеживающихся из Вилюйской синеклизы, Предверхолянского прогиба и Северного Ледовитого океана.

Участки развития мезозойских осадочно-вулканогенных образований характеризуются отрицательными значениями напряженности

магнитного поля. Это справедливо и для больших прогибов (Якут-Ильмаховский), и для маленьких вулканических полей (см.рис. 3). Крупные центральные массивы мезозойских щелочных пород отмечаются изолированными положительными магнитными аномалиями. Учитывая эти данные, можно предполагать, что понижение фона магнитного поля в Якут-Ильмаховской зоне связано с мезозойскими эндогенными процессами, выразившимися становлением в верхней части земной коры разнообразных вулканических и субвулканических образований щелочного состава.

Западное ограничение Якут-Ильмаховской зоны, подчеркнутое интенсивными положительными аномалиями, совпадает с крупным вещественным разделом в инфракрустальном комплексе (см.рис.2). Это раздел между гранито-гнейсовыми образованиями, метаморфизованными в амфиболитовой фации, и чарнокит-гнейсовыми толщами, метаморфизованными в гранулитовой фации. Граница раздела этих древнейших инфракрустальных образований земной коры подчеркнута наиболее глубинными расколами (см. рис.3), контролирующими кимберлитовые тела. Этой же системе расколов принадлежит Инаглинский щелочно-ультраосновной массив, выраженный в магнитном поле близкими к кольцевым положительными аномалиями с интенсивной отрицательной аномалией в ядре, соответствующей собственно Инаглинской ультраосновной интрузии.

Кольцевой характер магнитных аномалий свойствен участкам, расположенным между Чугинской и Якут-Ильмаховской зонами пониженных значений напряженности магнитного поля. Как упоминалось выше, он отражает присущие здесь фундаменту структурные черты - это область интенсивной гранитизации в амфиболитовой фации, формировавшей изометричные купольного типа структуры. В то же время следует обратить внимание на положение области кольцевых структур в непосредственной близости к Якут-Ильмаховской зоне, а также между двумя полосовыми зонами отрицательного поля, одна из которых явно связана с мезозойскими эндогенными преобразованиями. Если предположить, что Чугинская зона отражает результат тех же процессов, промежуточную между этими зонами область можно рассматривать как структуру горстового типа, которая в мезозое могла быть ареной глубинных преобразований, завершившихся становлением щелочных гранитоидов. Молодые процессы щелочного гранитообразования в целом должны были подчинять-

ся древнему структурному рисунку. Увеличение же напряженности магнитного поля в области кольцевых аномалий может быть в значительной степени обусловлено специфической именно щелочного гранитообразования, имеющего следствием формирование скоплений ферримангнитных минералов /3/.

На основании вышесказанного можно предположить, что крупная субмеридиональная зональность (в том числе и Амгинская аномальная зона) в центре Алданского щита усилена молодыми эндогенными преобразованиями, завершившимися становлением в земной коре щелочных магматических комплексов.

В магнитном поле Иенгтрского массива отчетливо проявляется и северо-западная зональность. Этому направлению, наряду с меридиональным, подчиняется распределение магматических комплексов мезозойского этапа развития (см. рис.3). Они контролируют конфигурацию мезозойских прогибов, как в пределах Центральной части Алданского щита, так и далее, к востоку и юго-востоку, где северо-западные тренды становятся доминирующими в части контроля мезозойских прогибов и магматических образований / Геол. карта СССР, 1980, м-б I:2 500 000/.

Особенно четко роль северо-западных структурных направлений в контроле мезозойского магматизма видна на Детальных картах магнитной и геологической (см. рис.3). Здесь выделяется северо-западная полоса преимущественно отрицательных значений напряженности магнитного поля, к которой тяготеют мезозойские осадочно-вулканогенные прогибы и вулканические поля. Эта зона прослеживается далеко к юго-востоку. На ее продолжении отмечается снижение интенсивности аномалий в области развития гранитизированных образований Федоровской толщи. А далее, уже в пределах Тимптоно-Учурского блока, эта зона контролирует основные мезозойские прогибы.

К северу от рассмотренной главной полосы мезозойских прогибов магнитное поле характеризуется интенсивными линейными положительными аномалиями северо-западной ориентировки. Это аномалии Эльконского горста, обусловленные, как упоминалось выше, сильномагнитными гранитизированными породами Федоровской свиты. В мезозойскую эпоху Эльконский горст имел отчетливо выраженную тенденцию к воздыманию, и в его пределах получили широкое развитие мезозойские эгиритовые граниты и граносиениты, а также

мощные дайковые пояса общей северо-западной ориентировки. Дайки по составу отвечают тингуаитам, сельвсбергитам, грорудитам и эгириновым гранитам, обнаруживающим большое сходство по химическому составу с комплексом щелочных вулканогенных пород $T_3 - U_I$ возраста /20/.

вовала, очевидно, и северо-западная зональность, определявшая чередование мезозойских прогибов и горстов, отличающихся спецификой щелочного магматизма и типом магнитного поля. Интенсивные положительные аномалии Эльконского горста могут быть в значительной степени обусловлены проявлением в мезозойскую эпоху гранитоидного магматизма повышенной щелочности. Мезозойская переработка явно подчинялась структурным элементам докембрия (судя по простиранию дайковых поясов), усиливая эффект намагничивания коры,

Судя по тому, что северо-западные направления преобладают в мезозойской структуре юго-восточных районов Алданского щита, логично предполагать распространение в мезозое импульса активизации в пределы Алданского щита из Тихоокеанского региона. Северо-западные направления хорошо ощущаются в магнитном поле Алданского щита вплоть до Амгинской аномальной зоны; далее, в пределах Западной провинции Алданского щита, доминируют, наряду с меридиональными, уже северо-восточные направления. Они ощущаются и в Центральной части щита, но явно подавлены меридиональными и северо-западными структурными направлениями (см. рис. 1,3). Точно так же и меридиональные структурные направления в магнитном поле затухают в южной части щита и в Становом поясе, где доминируют субширотные простирания.

Таким образом, в магнитном поле Алданского щита хорошо выражена крупная зональность, обусловленная молодой эндогенной переработкой земной коры, "приспосабливающейся" к древнему структурному рисунку, но и подчиняющей его элементы основным своим направлениям. Можно выделить два сопряженных типа молодых преобразований, имеющих принципиально отличный эффект в магнитном поле. Первый - преобразования на фоне преимущественно нисходящего тектонического импульса, приводящего к развитию прогибов, сопряженных с вулканической деятельностью. Этот тип преобразований понижает магнитные свойства в пределах затронутых им участков коры. И, напротив, участки, характеризовавшиеся устойчивым

воздыманием и проявлением глубинной гранитизации щелочного профиля, как правило, имеют высокие магнитные свойства и высокие значения напряженности магнитного поля.

Причины этого, по-видимому, следует искать в направленности тектонических процессов и обусловленном ею типе преобразований в нижней половине земной коры. В случае развития горстовых поднятий, сопровождающихся глубинной гранитизацией щелочного профиля, в нижней половине земной коры – верхах мантии может образоваться слой диафорированных пород, содержащих значительные количества ферримангнитных минералов. Причина диафореза глубинных пород типа основных гранулитов, эколлитов и амфиболитов – изменение $P - T$ -условий в результате всплывания слабо подплавленных субстратов (по В.С.Шкодзинскому / 2I //). Обогащение ферримангнитными минералами пород нижней части земной коры создает повышенный фон поля, который может быть избирательно усилен продвижением фронта щелочного гранитообразования в верхние горизонты земной коры.

Нельзя не обратить внимание на приуроченность описанных выше процессов к крупным структурам древнего фундамента. В этой связи интересно отметить кольцевой характер магнитного поля (см. рис.1,2) в области наиболее крупного гранитоидного диапира – Нижне-Тимптонского /9/. Ядерная его часть принадлежит области минимумов магнитного поля, а крылья подчеркнуты интенсивными положительными аномалиями. Именно к ядерной части этой структуры и тяготеет главный ореол мезозойских вулканических и вулканоплутонических образований. Ядерная часть представляет собой, вероятно, наиболее глубоко эродированную часть диапира, здесь, следовательно, по сравнению с флангами, – минимум гранитизированных пород. Кроме того, процесс всплывания диапира мог сопровождаться подъемом на более высокие уровни вещества нижней части земной коры и верхней мантии, в составе которого, по модели В.С.Шкодзинского / 2I /, присутствуют щелочные субстраты, отвечающие сиенитам, щелочным базанитам и нефелинитам. Они могли быть исходными для образования мезозойских магматических пород.

Природа минимумов магнитного поля над участками осадочно – вулканогенных прогибов определяется, вероятно, развитием в коре магматической (в отличие от метасоматической) линии преобразований, приведшей к погружениям локальных участков земной коры.

III. РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Моделирование магнитных аномалий в Центральной провинции Алданского щита имеет свою специфику. Она определяется, во-первых, исключительно сложным характером распределения намагниченности пород, обусловленным неоднократным проявлением гранитизации в различных по составу инфра- и супракрустальных комплексах. Затем, на Алданском щите очень мало данных о намагничении пород, конкретно привязанных к тому сложному вещественному узору, который свойствен верхней части земной коры здесь. В такой ситуации невозможно достоверно оценить вклад в магнитное поле объектов верхней части земной коры, а следовательно, и степень воздействия на поле более глубоких ее горизонтов.

Исходя из этого, в данной работе ставилась задача оценки многих вариантов решений с различным типом распределения магнитоактивных тел в разрезе земной коры. При такой постановке главным ограничением являются геолого-петрологические данные, позволяющие определить реальные черты геометрии разреза. И степень достоверности предлагаемого решения определяется, естественно, достоверностью выбранной геолого-петрологической модели. Учитывая высокий уровень геолого-петрологической изученности Алданского щита (см. гл. I) и значительное отставание петрофизических и геофизических исследований, выбранный путь решения задачи представляется правильным.

Обоснование выбора начальной физико-геологической модели

Основная граница, определяющая распространение на глубину магнитоактивного слоя, проведена на уровне 40 км. Эта глубина отвечает предполагаемому положению поверхности Кюри под щитами и приближенно определяет мощность коры здесь /17/. В первоначальном варианте предполагалось наличие еще одной субгоризонтальной границы внутри земной коры. Смысл, придаваемый этой границе, в том, что выше ее должны располагаться толщи, насыщенные продуктами гранитизации, а ниже — преимущественно глиноземистобазитовые, реститовые образования /10/.

Субвертикальные границы раздела определялись на основании

районирования магнитного поля (см. рис. I). Главнейшими субвертикальными разделами являются Амгинская и Тимптонская зоны глубинных разломов. Они проведены на основании резкой смены фоновых значений магнитного поля и определяют границы Центральной провинции Алданского щита, выраженной исключительно характерными аномалиями.

Амгинская зона разломов располагается непосредственно западнее крупной субмеридиональной положительной магнитной аномалии. В ходе эволюции земной коры Алданского щита глубинные разломы Амгинской зоны очерчивали: западный край древнейшей сиалической глыбы центральной части щита (II цикл); западную границу Приолокмо-Пристановой зоны активизации, охватившей краевую часть Алданской глыбы в раннестановое время (III цикл), и субмеридиональную зону смятия, сформированную в ходе IV цикла и содержащую в своем составе фрагменты раннепротерозойских супракрустальных толщ (субганская серия) эвгеосинклинального либо рифтового генезиса.

К западу от Амгинской зоны разломов располагаются поля развития олекиминской серии, лежащей на тоналитовом интрукрустальном основании Западной провинции Алданского щита. Резкое понижение фоновых значений поля (см. рис. I) в этой части позволяет предполагать общее слабое намагничение земной коры, обусловленное (см. гл. II) интенсивным проявлением гранитизации. Для этого самого западного участка профиля наиболее подходит магнитная характеристика земной коры сиалического типа /I4/, со слабо намагниченной верхней частью ($J = 0,1 \text{ А/м}$) и с возможным возрастанием намагниченности до 1 А/м в нижних горизонтах коры. Линейные положительные аномалии в этой области интенсивностью до 500 нТл коррелируются с субмеридиональными зонами смятия преимущественно в олекиминском субстрате и вдоль границы последнего с тоналитовым основанием. Данные зоны, формировавшиеся в IV цикле (позднестановом), контролировали становление различных по составу магматических комплексов (ультрасосновных, основных и гранитсидных). Предполагаемая форма магнитоактивных тел для подобных геологических образований - крутопадающие пласти.

Тимптонская зона глубинных разломов, выраженная в верхней части земной коры надвигом, отделяет Центральную провинцию Алданского щита от Восточной, точнее от краевой ее части, сложен-

ной холболохской серией. Тимптонский разлом в магнитном поле соответствует резкому изменению фоновых значений (см. рис. I); к востоку от него магнитное поле слабоотрицательное. Выше указы- валось (см. гл. I), что Тимптонский разлом разделяет серии алданского архея, к нему приурочена смена типов метаморфизма и складчатости. В более общем плане Тимптонский разлом — граница принципиально отличных массивов земной коры. Главное отличие — отсутствие интрукристалльных образований в составе коры Восточной провинции, сложенной преимущественно вулканогенными толщами геосинклинального типа. Процессы внутрикоревой эволюции протекали здесь на фоне преобладающих погружений и были связаны с циклами регионального метаморфизма. Процесс разделения вещества по плотности проявился формированием обширных полей чарнокит- и гранит-мигматитов, залегающих согласно с супракристалльными образованиями. То есть, легкий материал в коре находится в смеси с тяжелым, а типичные процессы гранитизации и всплывания легкого материала здесь отсутствуют, за исключением линейных зон проницаемости. В этом, по-видимому, одна из основных причин слабой намагниченности земной коры Восточной провинции. Выделяющиеся здесь интенсивные линейные положительные аномалии соответствуют зонам проницаемости, контролировавшим разновозрастные и разнообразные по составу (габбро, гранитоиды) магматические проявления, в том числе и молодые, мезозойские. Для подобных зон также наиболее вероятной является форма тонкого крутопадающего пласта.

Между Амгинской и Тимптонской зонами глубинных разломов заключен древнейший Центрально-Алданский массив земной коры. В структурно-вещественном отношении и в характеристиках магнитного поля он неоднороден. Резко различаются его центральная и краевые части (западная и восточная).

Западная окраина Центрального массива характеризуется сильными возмущениями магнитного поля. Это собственно Амгинская региональная аномалия, вернее зона линейных интенсивных положительных аномалий (см. рис. I; /I4/). Природа Амгинской аномальной зоны рассматривалась З.А. Крутиховской с соавторами / I4 / . По их мнению, интенсивность аномалий здесь на 50 % обусловлена поверхностными телами, а остальные 50 % обеспечивают глубинные источники. З.А. Крутиховской принадлежат наиболее интересные и глубокие выводы о природе региональных аномалий древних щитов.

В частности, она считает характерным для региональных аномалий приуроченность к шовным зонам, разделяющим мегаблоки сиалитической коры, отмечает явную связь их (аномалий) с чарнокит-гранулитовыми поясами. Это, как раз, основные признаки, определяющие Амгинскую зону.

По нашему мнению (см. гл. II), намагничение блоков земной коры Амгинской зоны связано с переработкой древнего гранулитового субстрата в условиях преимущественного воздымания в системе типа "бассейнов-хребтов". Высокая намагниченность характерна именно для земной коры хребтов (плечей рифтов). Останцы же рифтовых систем, выраженные в современной структуре мощными зонами смятия, характеризуются пониженными значениями напряженности магнитного поля. В такой трактовке структура Амгинской зоны мыслится как чередование линейных крутопадающих глубинных блоков земной коры сильно намагниченных и слабомагнитных (рис. 4).

Восточная окраина Центрального массива также характеризуется сильными возмущениями магнитного поля. Структура поля здесь линейная с преобладанием северо-западных трендов (см. рис. 3). Аналогичные простирания структурных элементов в толщах Федоровской и Иджекской серий дают основания связывать магнитные аномалии с источниками внутри этих образований. Как указывалось выше, намагниченность их определяется выделением ферромагнитных минералов в ходе гранитизации /8, 16/.

По геологическим данным Федоровская и Иджекская свиты лежат на эндербитовом инфракрустальном основании, в котором, можно полагать, и зарождались процессы реоморфического гранитообразования, захватившие и вышележащие супракрустальные толщи. Гранитизированные образования Федоровской и Иджекской толщ сильно магнитны (см. табл.). Поскольку они максимально приближены к поверхности, их вклад в магнитные аномалии значительный. Предположив, что основной аномальный эффект создают гранитизированные образования этих серий, можно попытаться подобрать положение их подошвы. При этом мы считаем, что гранитизированные эндербитовые комплексы создают однородный повышенный фон. Вероятно, правильно было бы полагать существование отдельных зон, где супракрустальные толщи и эндербитовый субстрат существенно намагничены вследствие гранитизирующих эффектов, и определить глубину распространения сильно намагниченных пород, считая, что

это их некоторая смесь (см. рис.4).

Центр рассматриваемой провинции Алданского щита представляет собой область преимущественного развития инфракрустальных комплексов, неоднократно гранитизированных. Для этой части характерны несколько типов аномалий. Наиболее выразительна – интенсивная положительная аномалия сложной формы в низовьях реки Нимнур. Пространственно она совпадает с обширным полем гранитизации /16/. Учитывая это обстоятельство, а также форму аномалии, мы предполагали, что возмущающий объект представлен комбинацией тел, имеющих в сечении четырехугольники, соприкасающиеся друг с другом сторонами. Намагниченность этих тел разная. Наиболее сильно намагничено центральное тело, отвечающее эпицентральной части аномалии, более слабо – краевые тела. Мы предполагали также, что центральное тело может простираться довольно глубоко в кору, в то время как краевые, судя по характеру склонов аномалии, скорее всего, малоглубинные.

Комбинация разнонамагниченных тел, конечно, грубое приближение к ореолу гранитизации, имеющему очень сложное распределение намагничения и причудливые контуры /6/, однако при недостатке геологической и петрофизической информации вполне допустимое.

Слабоинтенсивные аномалии, расположенные к северо-востоку от Унгринского грабена, также, вероятно, связаны с процессами гранитизации в инфракрустальных комплексах. Начальная форма тел для этих аномалий – комбинация различно намагниченных горизонтальных цилиндров с многоугольным сечением (см. рис.4).

Изолированные положительные аномалии в пределах Якут-Нильмаховской зоны пространственно совпадают с центральными интрузиями мезозойских щелочных пород. Эти образования контролируются глубинными разломами и мыслятся как крутопадающие цилиндрической формы тела. Породы, слагающие центральные интрузии, не относятся к сильно магнитным, что в целом не соответствует напряженности магнитного поля над ними.

Методика моделирования

Программы для расчета геологических моделей по магнитным и гравитационным данным разработаны в ИГиГ СО АН СССР А.Н.Василевским /4/.

Моделирование заключалось в подборе геологического разреза (петромагнитного), который бы не противоречил наблюдаемым вдоль профиля аномалиям. Источником информации о магнитном поле служили карты аномального магнитного поля масштаба 1:1 000 000. В каждом разрезе среда считалась двумерной (для ускорения и упрощения процесса моделирования). Чтобы увеличить степень адекватности двумерной модели, линии профиля выбирались так, чтобы зоны больших горизонтальных градиентов поля пересекались под прямым углом и чтобы влияние боковых (по нормали к профилю) тел было минимальным.

По данным приведенного выше разреза (начальное приближение) проводился расчет прямой задачи магниторазведки на ЭВМ. Рассчитанное от моделируемого разреза поле совместно с наблюдаемым высвечивалось на экране дисплея. После визуального анализа расхождения полей начиналась корректировка разреза, имеющая целью минимизировать отклонения. Разрез менялся либо изменением конфигураций границ тел, либо изменением намагниченностей в известных пределах. Корректировка проводилась в ручном (заданием приращений параметров) или в автоматическом (оптимизационной программой) режиме. В тех случаях, когда изменение положений границ подразумевало изменение верхней кромки тела, одновременно с границей могла оптимально подбираться и величина намагниченности.

Для ускорения процесса подбора коррекция разреза проводилась по частям. Это способствовало и тому, что на каждом этапе коррекции решение обратной задачи было единственным и устойчивым (в физико-математическом смысле), а также препятствовало появлению в разрезе геологически нереальных тел (например, тел, у которых внешняя нормаль к границе в некоторых местах поворачивается внутрь тела, что равносильно изменению знака намагниченности).

Региональный фон считался неизвестной величиной, постоянной по профилю, и подлежал определению в процессе подбора разреза. Так как в магнитном разрезе учитывались почти все источники, создающие аномальное магнитное поле, предполагалось, что величины фона не должны превышать 50-100 нТл. В противном случае производилась повторная коррекция в предположении, что константа фона равна нулю, и разрез менялся так, чтобы минимизировать систематическое отклонение рассчитанного и наблюдаемого полей, т.е. фоновую постоянную.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Определение геометрии разреза

Задачей первого этапа расчетов было определение общего характера намагничения земной коры в плане возможного соотношения верхне- и нижнекоровых объектов. Исходным был двухслойный разрез коры со слабо намагниченной верхней и более сильно намагниченной нижней частью (100–800 и 1000–2000 · 10⁻³СИ соответственно)*. Для крайних Западного и Восточного блоков земная кора считалась однородной и сравнительно слабо намагниченной (не более 500).

Глубина нижних кромок всех тел в первом предположении не превышала 5 км. Подбирались: оптимальная форма тел, их намагниченность и положение кровли нижнего намагниченного слоя. В такой постановке удалось добиться лишь удовлетворительного совпадения наблюдаемой и расчетной кривых при следующих условиях.

Верхнекоровые объекты пришлось аппроксимировать многоугольниками довольно сложной формы и предполагать для них высокие значения намагниченности, вряд ли реальные, учитывая геологическую природу тел и петрофизические данные. Пришлось поднимать до уровня 5 км кровлю нижнего сильномагнитного слоя в пределах всей Амгинской зоны, под аномалией, ограничивающей Унгринский клин с северо-востока, под Нимырской аномалией, а также под аномалиями Якокут-Ыльмахской зоны. Под всеми остальными участками Центральной провинции кровля нижнего слоя располагалась достаточно глубоко, а изменение ее положения по вертикали не оказывало существенного влияния на магнитные аномалии.

На основании первой серии расчетов были сделаны выводы о существовании крупной латеральной неоднородности в намагничении земной коры Центральной провинции Алданского щита и о возможных больших глубинах нижних кромок тел в области Амгинской, Нимырской и Якокут-Ыльмахской зон, где не удалось добиться совпадения расчетной и наблюдаемой кривых преимущественно в области минимумов (провисание расчетной кривой, указывающее на недостаточную глубину нижних кромок).

* Далее значения намагниченности в этих же единицах.

Вторая серия расчетов включала подборку формы тел и намагниченности конкретно в каждой характерной зоне Центральной провинции щита. Для этой серии расчетов была принята модель однослойной коры, содержащей в себе крупные глубинные магнитные неоднородности.

Наиболее крупная неоднородность выражена Амгинской аномальной зоной. Начальная модель предполагала существование крупного намагниченного блока земной коры под всей зоной. Верхняя граница блока максимально приближалась к поверхности в области магнитных максимумов и опускалась на значительные глубины в области минимумов. Внутри этого блока предполагалось существование сильно намагниченных тел, отвечающих эпицентральному частям магнитных максимумов. Форма тел выбиралась с максимальным приближением к геологической природе аномалий (см. гл. II) — тонкий крутопадающий пласт. Расчет аномалий Амгинской зоны проводился параллельно с расчетом аномалий, расположенных на ее флангах.

В рамках выбранной модели удалось добиться хорошего совпадения наблюдаемой и расчетной кривых, изменяя несколько форму сильномагнитных тел (ширину, наклон), положение их верхних и нижних кромок, а также контуры всего намагниченного блока: наклон ограничивающих его разломов, положение его кровли в области максимумов и минимумов. Для всех вариантов этой модели наилучшее соответствие получалось при крутом падении западной границы блока на восток и при вертикальном положении или крутом падении на запад восточной границы намагниченного блока (см. рис. 4). Положение кровли Амгинского блока в зонах магнитных максимумов во всех вариантах расчетов было высоким (близповерхностным), а в зонах разделяющих их минимумов (особенно между первой и второй аномалиями) она опускалась довольно низко, вплоть до границы коры.

Нижние кромки внутренних сильномагнитных объектов Амгинской зоны в различных вариантах модели изменялись от 5 до 40 км. Хорошее совпадение наблюдаемой и расчетной кривых отмечалось при глубинах, не превышающих 25 км. Возможно, что сильномагнитные тела Амгинской зоны имеют разные глубины нижних кромок, однако многочисленные варианты расчетов показали, что они все же не поднимаются выше 15–16 км; это несомненно глубинные тела, контролируемые зонами разломов (см. рис. 4). Намагниченность этих

тел существенно выше, чем намагниченность всего Амгинского блока.

Для того, чтобы получить хорошее совпадение расчетной и наблюдаемой кривых в рамках начальной модели Амгинской аномальной зоны приходилось прибегать к усложнению формы верхней границы всего Амгинского намагниченного блока, вследствие чего в верхней части коры конфигурация границы становилась геологически нереальной. Это заставило усложнить модель, предположив, что намагниченность коры Амгинской зоны неоднородна: существуют протяженные вертикальные зоны, связанные с глубинными разломами, где изменение намагниченности можно смоделировать двумя телами: внутренним и внешним, одно из которых (внутреннее) сильно, а другое (внешнее) более слабо намагничены; и существует область в нижней части коры однородно и вероятно сильно намагниченная (см. рис.4). Эта модель была тщательно исследована, проведены расчеты без нижнего намагниченного субстрата, с нижним субстратом для определения его оптимальной намагниченности и соотношения с намагничением вертикальных тел. Эти расчеты показали реальность существования нижнего намагниченного субстрата в земной коре Амгинской зоны. Значения намагниченности этого субстрата несколько выше величин, рассчитанных для центральных вертикальных тел. Мы не располагаем петромагнитными данными, позволившими бы ограничить изменение намагниченности пород в пределах глубинных зон смятия и сопряженных с ними линейных блоках горстового типа, характерных для Амгинской зоны. Поэтому, значения намагниченности этих образований подлежали расчету. В различных моделях намагниченность линейных крутопадающих тел изменялась от 3000 до 5000. Несколько более высокие значения во всех вариантах были получены для крайнего западного тела Амгинской зоны (см. рис.4). Более сильно намагничена и нижняя часть земной коры под этим телом.

Системой крутопадающих различно намагниченных тел объясняется аномалия, располагающаяся на западном фланге Амгинской зоны (см. рис.4). Эта аномалия принадлежит тому же поясу, что и Амгинские аномалии, однако тектонические формы IV цикла, сформировавшего этот складчатый пояс, развивались здесь в олеюминском субстрате, резко отличном по магнитным характеристикам от прилегающих. Олеюминский пояс в тоналитовом субстрате выделяется

общей более высокой намагниченностью (1000–1200) всей или большей части земной коры (см. рис. 4). К центральной части пояса намагниченность возрастает до значений 1800–2000. Общий наклон глубинных разломов, ограничивающих неоднородности Олейминской зоны, совпадает с наклоном глубинных разломов и намагниченных тел западной части Амгинской зоны (см. рис. 4).

На восточном фланге Амгинской зоны располагаются две аномалии, принадлежащие Унгринской структурно-фациальной зоне. Одна из них фиксируется над габброидами, лежащими внутри грабена, другая соответствует разломам, ограничивающим грабен с северо-востока. Эта последняя аномалия является ответвлением Амгинской зоны, и во всех вариантах она лучше всего моделировалась узким глубокопроникающим сильномагнитным 6000–7000 телом, наклон которого к юго-западу совпадал с общим падением глубинных разломов и намагниченных тел восточной части Амгинской аномальной зоны (см. рис. 4).

Аномалия внутри Унгринского грабена имеет сложную форму и моделируется двумя телами: близповерхностным, относительно слабо намагниченным (2500), и более глубоким и более сильномагнитным (3500) объектом, контролируемым глубинными разломами той же Амгинской системы (см. рис. 4).

К северо-востоку от Унгринского клина, в области широкого развития процессов гранитизации (Западно-Алданское поле гранитизации), выделяются две положительные аномалии сложной формы: Курумканская и Нимнырская (см. рис. 1). Начальная модель строилась в предположении, что обе аномалии связаны с процессом гранитообразования /8,16/. Предполагался какой-то ореол намагниченных пород, который в соответствии с характером и интенсивностью аномалий разбивался на многоугольники, имеющие различную намагниченность, возрастающую к эпицентральному частям аномалий. Предполагалось также, что аномалии не имеют глубоких корней и ограничены по вертикали Р – Т-условиями, определявшими возможность существования гранитизированных в условиях амфиболитовой фации инфра- и супракрустальных образований.

Для Курумканской аномалии такая модель оказалась удовлетворительной, и несложный подбор формы многоугольников и их намагничения позволил получить близкую к наблюдаемой форму аномалии (см. рис. 4).

Для Нимнрской аномалии не удалось добиться сколько-нибудь удовлетворительного результата путем ограниченного (до глубины 15 км) варьирования нижних кромок тел и их намагнитченностей (в широком диапазоне). Поскольку ранее было высказано предположение (I серия расчетов) о возможном намагничении нижней части земной коры под Нимнрской аномалией, был введен блок намагнитченных пород, простирающийся от подошвы земной коры до глубины 26 км. Расчет прямой задачи с подбором оптимальных физических параметров сразу же показал удовлетворительное совпадение наблюдаемой и расчетной кривых. Минимизировать отклонения удалось расчетом положения нижней кромки центрального сильно намагнитченного тела. Корректирующий расчет аномалий по всему профилю с подборкой намагничения глубинных объектов земной коры показал для Нимнрской аномалии значения близкие к намагничению глубинных горизонтов земной коры Амгинской зоны (см. рис. 4).

Якут-Ыльмахская зона на профиле представлена двумя аномалиями. Обе пространственно совпадают с дифференцированными мезозойскими интрузиями, контролируемыми пересечениями, по крайней мере, трех систем глубинных разломов (см. рис. 3): меридиональной, северо-западной и субширотной. Начальная форма тел, вызывающих эти аномалии, — крутопадающие цилиндры относительно слабо намагнитченные (так как мезозойские интрузии в целом слабомагнитны) и неглубоко залегающие (по геологическим данным глубина проникновения интрузий не превышает 5 км /20/).

Расчет начальной модели сразу показал абсолютное ее несоответствие наблюдаемому магнитному полю. Потребовалось увеличить глубины нижних кромок тел, значения их намагничения, а также несколько заглубить верхние кромки (см. рис. 4).

Якут-Ыльмахская зона характеризуется довольно резким снижением фоновых значений магнитного поля. Этот эффект может быть обусловлен уменьшением намагнитченности всего разреза земной коры, либо только нижней ее части. Мы выбрали второй вариант, так как эффект снижения фоновых значений обусловлен влиянием мезозойских магматических процессов (см. гл. II). Область их зарождения — нижняя часть земной коры; именно здесь активно преобразовывался древний субстрат. В верхней же части мезозойские магматические тела развиты локально и вряд ли могли оказать существенное влияние на перемагничивание больших объемов дорифейс-

ких пород. Тем не менее, при расчете различных вариантов мы допускали возможность широкого перебора значений намагниченности как для нижних частей разреза, так и для всего блока земной коры Якокут-Нльмахской зоны. При корректирующих пересчетах поля по всему профилю с подбором значений намагничения нижнекоровых блоков под Якокут-Нльмахской зоной стабильно получались низкие значения намагничения (не более 800).

Расчитанные для Якокут-Нльмахской зоны формы тел противоречат идее малоглубинных и слабомагнитных преимущественно сиенитовых интрузий. Необходимо предполагать, что в составе дифференцированных плутонов присутствуют и более магнитные образования, вероятно, щелочно-основного или щелочно-ультрасосновного ряда, становление которых могло обеспечить эффект намагничения земной коры вдоль разломов на значительные глубины (см. рис.4).

Начальная модель распределения магнитных тел в восточной части Иенгурского блока предполагала существование сильномагнитных объектов в верхней части земной коры. Они связывались с комплексом гранитизированных пород федоровской, иджекской серий и подстилающего их эндербитового субстрата. Начальные формы возмущающих тел - многоугольники и крутопадающие цилиндры. Данная модель была взята за основу и проведена серия расчетов, имеющих целью объяснить аномалии только объектами верхней половины разреза. Расчеты их формы, намагниченности, а также намагниченности всего блока показали сравнительно небольшую глубину залегания нижних кромок тел верхней половины коры. Вариации напряженности поля мы старались связать с изменением мощности намагниченных образований. При этом не удалось получить удовлетворительное соответствие формы аномалий и положения регионального фона. Когда ввели магнитные объекты в нижнюю часть разреза (в соответствии с высказанным выше предположением), эти трудности были легко преодолены (см.рис.4).

Положительная аномалия в пределах Восточной провинции шита является северным окончанием Тьркандинской зоны проницаемости. Вопрос о природе намагничения этой зоны рассмотрен в специальных работах /19/. В той части Алданского шита, где проходит профиль, Тьркандинская зона является частью мощной зоны глубинных разломов, отделяющих Центральную провинцию от Восточной (см.рис.2). В нашей модели ей отвечает крутопадающий на северо-восток глубинный намагнитенный объект.

Результаты моделирования

I. Основные черты магнитного поля центральной части Алданского щита определены существованием крупных элементов земной коры, имеющих глубокие отличия состава, структуры и развития. Этот базис в значительной степени корректировал локализацию молодых глубинных процессов, которые подчеркивали его неоднородности, усиливая или ослабляя общий эффект намагничения земной коры за счет изменений преимущественно в нижней ее части.

Результаты моделирования (см. рис.4) и геологические данные показывают, что нижние горизонты земной коры сильно намагничены именно в тех участках, которые были охвачены процессами активизации, формировавшими структуры горстового типа. Наиболее выразительным примером является Амгинская аномальная зона, соответствующая области древней коры, испытавшей неоднократную активизацию в III, IV, V дорифейских циклах и в позднем палеозое-мезозое. Активизация порождалась процессами в верхней мантии - нижней части земной коры, реализуясь в верхней части основными и ультраосновными интрузиями, сопутствующими формированию супраконтинентальных толщ, и гранитоидным магматизмом повышенной щелочности в пределах горстовых поднятий и в бортах прогибов. Щелочность гранитоидных образований, вероятно, увеличивается со временем. В завершающем У цикле в бортах Субганского грабена, в области наиболее интенсивной положительной аномалии, известны тела эгирин-рибекитовых гранитов; щелочный профиль имеет и молодой (мезозойский) магматизм, широко развитый в северной части Амгинской зоны. Прямая связь намагниченности нижней части земной коры и щелочного магматизма эпох активизации вытекает из особенностей щелочного магматизма, с одной стороны /18/, а с другой - из особенностей состава низов земной коры, где происходят основные преобразования вещества. Под Амгинской зоной нижняя кора представлена древнейшими мафическими образованиями (основными гранулитами, эколгитами, амфиболитами), сложенными преимущественно железомagneзиальными силикатами, разложение которых может обеспечить большой объем новообразованного магнетита /16/.

Подобную же природу имеет намагничение нижней части земной коры Илмпырской аномалии и аномалий восточной части Центральной провинции щита (Федоровско-Иджекский пояс). Выше (гл. III) упомянулось, что эти аномалии свойственны участкам горстовых под-

нятий относительно Якокут-Ильмакской области преимущественных опусканий. Для последней характерно уменьшение намагничения нижней части земной коры, которое, по логике вещей, может объясняться развитием преимущественно нисходящих движений, обуславливающих изменение кислородного режима в коре и преобразования вещества в нижней ее части, противоположные тем, которые имеют место в случае поднятия коровых масс.

П. Структура древнего фундамента в магнитном поле по-разному "высвечивается" в зонах, характеризующихся различной направленностью молодых процессов активизации. Свойственная Центральной провинции Адданского щита фрагментарность аномалий и пучков аномалий связана с влиянием разнонаправленных молодых преобразований в земной коре. Согласование геолого-петрологических данных о структуре фундамента с характером наложенных процессов — единственный путь к правильной интерпретации магнитных аномалий.

Под этим углом зрения рассмотрим магнитную структуру земной коры Центральной провинции Адданского щита. Выделяются три массива земной коры, принципиально отличающиеся особенностями распределения намагниченных объектов (см. рис. 4). Массив Центральной провинции щита характеризуется общим повышенным намагничением всего разреза земной коры и сильными латеральными неоднородностями в намагничении нижней ее части. Массивы земной коры Западной и Восточной провинций отличаются слабым намагничением всего разреза, обусловленным принципиально различными причинами (см. гл. II).

Края Центрально-Адданской древнейшей сиалической глыбы подчеркнуты системами интенсивных положительных аномалий, природа которых связывается с процессами активизации, неоднократно воздействовавшими на периферические ее части.

В западной части профиля в земной коре выделяется серия крутопадающих глубинных магнитных и сильномагнитных объектов. Они характеризуются некоторой закономерностью в расположении (см. рис. 4), общностью формы и наклонов. На поверхности, как уже упоминалось, этим объектам соответствуют линейные блоки, располагающиеся между крупными также линейными зонами смятия и бластомилонитизации. В соответствии с моделью земная кора представляет собой сильно нарушенную глубинными разломами, резко неоднородную по магнитным свойствам среду. Формирование этих неод-

нородностей связано изначально с мощными субмеридиональными северо-западными расколами и раздвигами земной коры в ходе IV-U деформационных циклов /12/. Эти расколы захватили западную часть Центрально-Алданской глыбы (зону активизации III цикла) и Олекмо-Становой подвижный пояс, сформировавшийся на восточном крае Западно-Алданской сиалической глыбы. В результате расколов и раздвигов был сформирован обширный пояс. Его центр, где раздвиг был, вероятно, максимальный и существовал прогиб эвгеосинклиналичного типа, можно предполагать в районе Субганского грабена, отмеченного пониженными значениями напряженности магнитного поля. К западу от Субганского грабена, в пределах Олекмо-Станового складчатого пояса, глубинные объекты земной коры намагничены существенно меньше, чем к востоку от него, в пределах Центральной провинции щита. Особенно сильно намагничен блок земной коры, непосредственно примыкающий с востока к Субганскому грабену (см. рис. 4). Это краевая часть Центрально-Алданского "континента", граничная с эвгеосинклиналичным прогибом и претерпевшая наиболее сильные преобразования на стадии сжатия и замыкания прогибов (см. гл. II).

Расположение магнитоактивных тел в пределах рассматриваемого пояса имеет некоторую особенность: они с обеих сторон падают к центру, к оси его симметрии, совпадающей с зоной Реутова /12/. Внутри этой зоны выделяется Ярогинский грабен, выполненный булгуняхтахской и ярогинской сериями, состав которых позволяет отнести этот прогиб к энсиматическому типу. Блок земной коры, примыкающий к зоне Реутова, характеризуется сильной намагниченностью, обусловленной преобразованиями в коре на стадии сжатия и замыкания прогибов (см. гл. II).

Восточная часть рассматриваемого пояса представлена объектами, относящимися к Унгринскому грабену (см. рис. 4). В соответствии с рассчитанной моделью объекты грабена органично вписываются в систему рассматриваемого пояса. Не вызывает сомнения (если данная интерпретация правильна) генетическое единство всех рассматриваемых в данном поясе структур, от западных шовных прогибов, выполненных тунгурчинской серией, до Унгринского грабена, контрролирующего сложный комплекс магматических образований IV цикла /12/.

Магнитная модель позволяет предполагать существование круп -

ного сильномагнитного объекта несколько западнее Унгринского грабена, в области развития сильно переработанных образований инфраструктуры (см. рис. 4). Очень возможно, что этот глубинный объект фиксирует борт еще одного прогиба, выполнение которого уничтожено денудацией; остался лишь субмеридиональный пояс габброидов IV цикла.

В части профиля, относящейся к области развития сильно гранитизированных образований, намагниченные объекты в разрезе земной коры имеют сложную форму (см. рис. 4). Рассчитанные модели в какой-то мере можно отождествить с предполагаемыми здесь "ореолами гранитизации" с их очень сложными границами и неоднородным намагничением /6/. Что касается Нимнурской аномалии, она интерпретируется сочетанием поверхностных и глубинных объектов (см. рис. 4). Поверхностные намагниченные тела несомненно соответствуют ореолу гранитизированных дорифейских пород, установленному геологическими /12/ и геофизическими /16/ данными. В составе этого ореола выделяются довольно обширные поля нерасчлененных, более молодых гранитов, относящихся к наложенной, более молодой гранитизации. Она, вероятно, использовала дорифейский структурно-вещественный "каркас", усилив его контуры в магнитном поле за счет дополнительного намагничения как в нижней, так и в верхней частях разреза земной коры (см. рис. 4).

Переход от гранито-гнейсовых интрукристалльных образований к чарнокито- и эндербито-гнейсовым в магнитном поле выражен резким снижением фоновых значений магнитного поля, моделируемым уменьшением намагничения нижней части разреза земной коры (см. рис. 4). Слабо намагниченный нижний субстрат земной коры свойствен всей Якут-Цыльмаховской зоне. В разрезе этой части Центральной провинции выделяется несколько вертикальных сильномагнитных объектов, тяготеющих к мезозойским дифференцированным центральным интрузиям (см. рис. 3). Они контролируются глубинными разломами, принадлежащими преимущественно меридиональной и северо-западной системам. Большие глубины нижних кромок тел и сильное их намагничение (неоднородное по вертикали) позволяют предполагать присутствие в составе мезозойских магматических продуктов щелочно-основных и щелочно-ультраосновных образований, верхняя кромка которых не вскрыта эрозионным срезом (см. рис. 4). Этот вывод имеет принципиальное значение, поскольку апатитовое

оруденение в Центральной части Алданского щита генетически связано именно со щелочно-ультраосновными интрузиями.

Федоровско-Иджекский блок земной коры принадлежит краевой части Нижне-Тимптонской куполовидной структуры (см. рис. 2). Последняя имеет длительную историю формирования, в основном завершившуюся преобразованиями IV цикла, наследовавшими структурную "канву", созданную во II цикле /12/. Характерным для земной коры данного блока является сильная нарушенность глубинными разломами, которые и во II, и в IV циклах контролировали формирование крутопадающих зон вторичного расщелачивания, бластомилонитизации и диафтореза супракрустальных и инфракрустальных образований. Эти глубинные зоны определили расчлененность земной коры данного блока и различную приподнятость и денудацию отдельных его фрагментов.

Намагнитические тела в пределах рассматриваемого блока контролируются глубинными разломами и имеют преимущественно форму крутопадающих цилиндров (см. рис. 4). Весь Федоровско-Иджекский блок, согласно модели, ограничен глубинными швами и резко отличается от окружающих по характеру намагничения. Эти отличия созданы процессами активизации IV цикла, а также позднего палеозоя - мезозоя. Они развивались на фоне прогрессивного воздымания блока и завершились глубинной гранитизацией щелочного профиля, обусловившей намагничение нижней части разреза земной коры.

Все преобразования в рассматриваемом блоке после II деформационного цикла развивались в соответствии со структурным планом, диктуемым Нижне-Тимптонским куполом (см. рис. 2). Но если активизация IV цикла практически дублировала этот структурный план, то мезозойские процессы, распространяясь вдоль линейных зон, подчеркивали лишь фрагменты рисунка Нижне-Тимптонского купола, усиливая его в блоках унаследованного (по направленности и специфике процессов) развития. Примером может быть Эльконский горст, где и структурный план, и тип преобразований унаследован от II-IV дорифейских циклов. Противоположным примером является ядерная часть Нижне-Тимптонского купола, испытывавшая в мезозое активное погружение и контролирующая основные поля вулканических образований. Эта область подчеркнута минимумами магнитного поля, явно обусловленными спецификой молодого процесса (см. рис.3).

III. Региональные линейные положительные аномалии Алданского щита очерчивают края крупных древнейших сиалических глыб, испытывавших глубинную переработку в связи с заложением и развитием более молодых энсиматических прогибов. Участки самих прогибов, вернее зон смятия и бластомилонитизации, фиксирующих в зонах глубокой денудации их осевые части, характеризуются зонами пониженных значений напряженности магнитного поля. Краевые, сильно "раздробленные" части древнейших глыб являются наиболее проницаемыми, и молодая (мезозойская) переработка, несомненно, усиливала эффекты в магнитном поле, созданные более ранними процессами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бибикова Е.В., Другова Г.М., Дук В.Л. и др. Геохронология Алдано-Витимского щита // Методы изотопной геологии и геохронологическая шкала. М., 1986. С. 135-159.
2. Витте Л.В. Строение и развитие земной коры Сибирской платформы // Геология и перспективы рудоносности фундамента древних платформ. Л., 1987. С. 245-254.
3. Витте Л.В., Василевский А.Н., Шарловская Л.А. Перестройка коры и магнитное поле юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. 1979. № 2. С. 13-28.
4. Витте Л.В., Василевский А.Н. К вопросу о тектонической позиции и формах проявлений в коре щелочно-ультраосновного магматизма Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1988. № 5. С. 55-66.
5. Витте Л.В., Мосиенко Б.А. О природе магнитных аномалий Алданского щита // Геология и геофизика. 1977. № 3. С. 125-129.
6. Витте Л.В., Ремпель Г.Г. О методике геологического моделирования магнитных аномалий на примере Западной части Алданского щита // Геология и геофизика. 1976. № 6. С. 99-103.
7. Витте Л.В., Ремпель Г.Г. Строение земной коры Алданского щита (по результатам геологического моделирования гравитационных аномалий) // Геология и геофизика. 1977. № 6. С. 116-125.
8. Глебовский С.С., Быстрова Г.А., Лейбович А.П. Петрологический анализ магнитного поля Алданского щита // Геофизические методы при тектоническом и прогнозно-металлогенетическом районировании рудных регионов СССР. Вып. 12. Л., 1971. С. 65-76.
9. Грабкин О.В. К вопросу о внутреннем строении и условиях формирования Нижне-Тимптонского купола на Алданском щите // Вест. МГУ. Сер. 4, Геология. 1965. № 1. С. 36-44.
10. Добрецов Н.Л. Введение в глобальную петрологию. Новосибирск: Наука, 1980. 198с.
11. Другова Г.М., Бушмин С.А., Харитонов А.А. Эндогенные процессы раннего докембрия в западной части Алданского щита // Ранний докембрий Алданского массива и его обрамления. Л., 1985. С. 35-52.
12. Дук В.Л., Кицул В.И. и др. Объяснительная записка к "Карте раннего докембрия Южной Якутии". М-б 1:500 000. Якутск, 1984.

13. Колесова В.И., Петрова А.А. Исследование структуры региональных аномалий древних платформ // Исследование региональных магнитных аномалий платформенных областей. Киев, 1984. С. 89 - 96.

14. Крутиховская Э.А., Елисеева С.В., Марковский В.С. и др. Исследование региональных магнитных аномалий древних щитов // Там же. С. 122-132.

15. Крутиховская Э.А. Глубинные магнитные неоднородности - миф или реальность? // Геофиз. сборник. Киев, 1986. № 5. С. 3-23.

16. Малышев Ю.Ф. Геофизические исследования докембрия Алданского щита. М.: Наука, 1977. 127с.

17. Методика и аппаратура для региональных сейсмических исследований в труднодоступной местности и их применение в Сибири // Пузырев Н.Н., Бабаян Г.Л., Бочанов А.И. и др. Новосибирск: Наука, 1978. 203 с.

18. Павлов А.Л., Дымкин А.М. Термодинамика процессов ферритизации в силикатных расплавах и проблемы рудообразования. Новосибирск: Наука, 1987. 250 с.

19. Савицкий А.В., Щеллер Э.Н. Геологическое истолкование Тынрандинской зоны аномального магнитного поля // Геология и петрология докембрия Алданского щита. М., 1966. С. 76-84.

20. Угрюмов А.Н. Тектоника и мезозойский магматизм центральной части Алданского щита: Автореф. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1971. 16с.

21. Шкодинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 231 с.

22. Wasilewski P. The xenolith magnetic record toward a better understanding of the magnetic structure of the lithosphere // Geophys. and Petrology of the Deep Crust and Upper Mantle. U.S. Geolog. Survey circular, 956. P.97

23. Williams M.C., Shive P.N., Fountain D.M., Ronald B. Frost. Magnetic properties of exposed deep crustal rocks from the Province Superior of Manitoba 1985. Earth Plan. Sci. Let. Vol.76. P.176-184.

Утверждено к печати
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Технический редактор Н.Н.Александрова

Подписано к печати 21.04.89. МН II208.
Бумага 60x84/16. Печ.л.2,5+I вкл. Уч.-изд.л.2,4.
Тираж 200. Заказ 200. Бесплатно.

Институт геологии и геофизики СО АН СССР
Новосибирск, 90. Ротапринт.