

*Уважаемому
Владимиру Васильевичу
от авторов
Шутишев
Чистова*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
АРХАНГЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА

Ю. Г. Кутинов, З. Б. Чистова

**ИЕРАРХИЧЕСКИЙ РЯД ПРОЯВЛЕНИЙ
ШЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО
МАГМАТИЗМА АРХАНГЕЛЬСКОЙ
АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.
ИХ ОТРАЖЕНИЕ
В ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛАХ**

Архангельск
2004

Предисловие

Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2004.

ISBN 5-85879-166-2

На основе оригинальных данных по геологии, геофизике, минералогии выявлены закономерности пространственного размещения разноранговых таксонов щелочно-ультраосновного магматизма палеозойского возраста на территории Архангельской алмазоносной провинции и их отражение в геолого-геофизических материалах. Выделены рудоконтролирующие структуры и даны формы их проявления в геофизических полях.

Предлагаемая читателю книга имеет целью хотя бы частично восполнить пробел в анализе поисковых критериев и признаков кимберлитовых таксонов Архангельской алмазоносной провинции.

Для научных работников — геологов и геофизиков, занимающихся поисками месторождений алмазов и других полезных ископаемых, а также для специалистов, интересующихся исследованиями в области глубинной геологии.

Рецензенты:

член-корр. РАН **Ф. Н. Юдахин**,
докт. геол.-минерал. наук **Ю. Б. Баранов**

Предлагаемая Вашему вниманию монография возникла из потребности аккумулировать опыт многолетних исследований (1978—1994 гг.) авторов, посвященных прогнозу и поискам кимберлитовых тел на территории Архангельской алмазоносной провинции геофизическими методами.

Открытие в начале 80-х годов прошлого столетия коренных источников алмазов на севере Русской плиты вывело Европейский Север РФ в один из самых перспективных районов, где в настоящий момент формируется база алмазной индустрии XXI века.

80—90-е годы XX века ознаменовались резким увеличением объемов и детальности геофизических исследований региона, опробованием различных поисковых методов и их модификаций, разработкой методов и приемов прогнозирования коренных источников алмазов. В результате получен огромный объем разнородных и зачастую разноречивых данных, нуждающихся в обобщении и системном анализе. В связи с распадом СССР и последовавшей реструктуризацией геологоразведочной отрасли возник вынужденный период затишья, длившийся более 10 лет. Открытие трубки им. В. П. Гриба и изменившаяся экономическая ситуация в стране вновь пробудили интерес к поискам алмазов (правда пока еще робкий) и переосмыслению потенциала Архангельской алмазоносной провинции. Последнее невозможно без критического осмысления и анализа предшествующих работ, результаты которых пока недостаточно востребованы, т. к. именно тогда (конец 80-х — начало 90-х годов) уже наметился спад эффективности проводимых исследований. Попытка решить проблему за счет внедрения более высокоточной аппаратуры вряд ли сможет кардинальным образом изменить ситуацию. Необходимы новые подходы, которые и предлагаются авторами в монографии. Основной упор нами сделан на результаты работ 80—90-х годов, т. к. последующие исследования носили локальный характер и пока не могут служить основой для корректного анализа.

Данная монография является первым крупным научным обобщением по геолого-геофизическим признакам таксонов кимберлитового магматизма, базирующимся на оригинальных авторских

данных и имеющихся литературных и фондовых материалах. Нам кажется, что таким образом будет восстановлена некая справедливость, отражающая временную закономерность поисков алмазов, т. е. сначала поиски - затем изучение вещественного состава. К сожалению, с обобщением собственного опыта нам следует брать пример у «вещественников», которые уже сделали обобщение по своим работами (Архангельская алмазоносная..., 1999).

Авторы не считают свой труд ни совершенным, ни завершенным, но надеются, что он принесет определенную пользу в будущем. Каждый из нас в течение многих лет работал в больших коллективах Новодвинской геофизической экспедиции ПГО «Архангельскгеология», занятых поисками алмазов, и в процессе этих исследований неоднократно обсуждал поднятые в книге вопросы с коллегами из других организаций (ЦНИГРИ, ПГО «Севзапгеология», ВСЕГЕИ, НПО «Рудгеофизика», НПО «Аэрогеофизика»), и без их вклада эта монография была бы невозможна, за что мы им искренне признательны.

За помощь в решении поставленных задач, постоянное внимание и поддержку авторы благодарят д.г.-м.н. В. В. Бродового (МГГРУ), д.г.-м.н. И. Ф. Романовича (МГГРУ), к.г.-м.н. А. А. Фельдмана (ЦНИГРИ). В технической части подготовки рукописи большая помощь была оказана начальником отдела компьютерных технологий М. А. Мариевым, которому авторы приносят благодарность.

Введение

Открытие кимберлитового магматизма на севере Русской плиты вызвало повышенный интерес к региону, что нашло свое отражение в возросших объемах работ, посвященных вопросам прогнозирования, разработке рационального комплекса геолого-геофизических методов и поисковых критериев для трубок взрыва. Полученные данные по кимберлитам фрагментарны, рассеяны в большом числе публикаций и за редким исключением не сопоставлялись и не увязывались между собой.

Закономерности пространственного размещения и факторы локализации кимберлитов до последнего времени рассматривались, как правило, безотносительно к таксономическим единицам кимберлитового магматизма лишь с географической привязкой площадей распространения этих пород. Не является исключением и рассматриваемая территория. Такое положение нашло свое непосредственное отражение в практике геологопоисковых и геологоразведочных работ, где в качестве основной принималась схема, при которой практически на всех стадиях исследований объектами поисков были кимберлитовые тела. Геологическая эффективность работ достигалась за счет увеличения объемов и детальности высокоточных крупномасштабных аэромагниторазведочных работ.

Результаты такого экстенсивного подхода не замедлили сказаться, и с конца девяностых годов наметилась отчетливая тенденция прогрессирующего резкого снижения числа открываемых объектов, и в первую очередь промышленно значимых. С другой стороны, значительно возрос фонд локальных магнитных аномалий, обладающих характеристиками, аналогичными аномалиям над трубками взрыва, что неизбежно повлекло возрастание объемов детализационных и заверочных работ.

Для повышения надежности прогнозно-поисковых комплексов **необходим** переход от сокращенной поисковой схемы к развернутой выделением для каждой стадии исследований своих конкретных промежуточных объектов. Под ними авторы понимают условно-**гетерогенные** геологические образования, перспективные на обнаружение кимберлитов и выделяемые в соответствии с масштабом исследований. В связи со сложившимся положением, характерным

не только для Русской провинции, все более актуальной становится задача научного обоснования выбора перспективных участков для проведения работ, т. е. выявление критериев локализации разномасштабных проявлений кимберлитового магматизма. Уменьшить неоднозначность прогнозных построений можно только на основе системного подхода, осуществляя переход от ранга к рангу через закономерное группирование так называемых элементарных ячеек.

До сих пор такие минерагенические таксоны, как кимберлитовые провинции, субпровинции, пояса, районы (области), поля, кусты, не приобрели структурных очертаний. Между тем образование и локализация разномасштабных кимберлитовых таксонов обусловлены принципиально разными по масштабу природными процессами (Милашев, 1990). Образование кимберлитов — это сложный многоактный процесс, для понимания которого необходимо реконструировать факторы структурно-тектонического контроля стадия за стадией, начиная с коровой тектонической обстановки и до литосферных процессов, ведущих к образованию кимберлитов.

Следует отметить, что задача, связанная с изучением разноранговых кимберлитовых таксонов, чрезвычайно сложна. Более того, в решении этой проблемы до сих пор сделано мало, и не только для новой Русской провинции, но и для других алмазоносных регионов мира. Прогнозирование таксонов кимберлитового магматизма на территориях с известным его проявлением является не менее неопределенной задачей, чем при его отсутствии на новых перспективных площадях. Прозвучавшее в одной из работ (Ваганов и др., 1990) утверждение, что принципиальные вопросы прогноза кимберлитовых таксонов на сегодняшний день могут считаться в основном решенными, на наш взгляд, несколько преждевременное. Признавая исключительную приуроченность кимберлитового магматизма к древним платформам, исследователи значительно расходятся в определении главнейших факторов локализации кимберлитов. Вопрос о границах кимберлитовых таксонов, имеющий большое научное и практическое значение, является наименее изученной и почти не освещенной в печати частью общей проблемы природных границ минерагенических таксонов. Он неизбежно встает при каждом новом открытии проявлений щелочно-ультраосновного магматизма и не утрачивает своей остроты для давно известных площадей распространения кимберлитов.

Для использования данных различных исследователей в рамках формально-логического подхода к интерпретации необходимо иметь многофакторную и многоуровневую прогнозно-поисковую модель и описывающие ее уравнения и обобщенную многофакторную модель природного алмазообразования, которые на настоящий момент отсутствуют. Наличие вышеуказанных моделей позволило бы с единых методических позиций подойти к решению проблемы прогнозирования разноранговых проявлений кимберлитового магматизма.

Большинство исследователей, занимающихся проблемой прогноза и поиска кимберлитов, исключая крайне ортодоксальные точки зрения, прямо или косвенно признают ведущую роль тектонических структур в размещении эксплозивного магматизма, как путей подъема магматического материала. Эти представления о делимости земной коры являются относительно инвариантными по отношению к многочисленным концепциям генезиса кимберлитов и наиболее полно и фактографически могут быть использованы в **минерагенических** построениях и оценке потенциальной алмазности морфологически и вещественно разнородных древних блоковых структур. При этом необходимо не только определение конкретных кимберлитоконтролирующих структур, но и выделение **признаков** этих структур в геолого-геофизических материалах.

Исходя из вышеизложенного, основной упор в предлагаемой работе сделан на комплексный анализ разломно-блоковой тектоники, ее эволюции и роли в контроле пространственного размещения разноранговых кимберлитовых таксонов. Противоречие, сложившееся между необходимостью расширения круга поисковых объектов и возможностями стандартных подходов, выдвигает в качестве Доминанты комплексный подход к интерпретации данных, а также совершенствование и поиск новых методических приемов с целью выявления количественных закономерностей в строении регионов **и** размещении щелочно-ультраосновного магматизма. Авторами была предпринята попытка на основе существенного уточнения структурно-тектонического строения региона, как активного способа геолого-структурного анализа, создать логическую внутренне непротиворечивую схему иерархического соподчинения структур региона, уточнить их пространственное положение, воссоздать историю их развития и на этой основе выделить критерии прогнозирования и поисковые признаки разноранговых таксонов проявлений кимберлитового магматизма

не только для Русской провинции, все более актуальной становится задача научного обоснования выбора перспективных участков для проведения работ, т. е. выявление критериев локализации разномасштабных проявлений кимберлитового магматизма. Уменьшить неоднозначность прогнозных построений можно только на основе системного подхода, осуществляя переход от ранга к рангу через закономерное группирование так называемых элементарных ячеек.

До сих пор такие минерагенические таксоны, как кимберлитовые провинции, субпровинции, пояса, районы (области), поля, кусты, не приобрели структурных очертаний. Между тем образование и локализация разномасштабных кимберлитовых таксонов обусловлены принципиально разными по масштабу природными процессами (Милашев, 1990). Образование кимберлитов — это сложный многоактный процесс, для понимания которого необходимо реконструировать факторы структурно-тектонического контроля стадии за стадией, начиная с коровой тектонической обстановки и до литосферных процессов, ведущих к образованию кимберлитов.

Следует отметить, что задача, связанная с изучением **разноранговых** кимберлитовых таксонов, чрезвычайно сложна. Более того, в решении этой проблемы до сих пор сделано мало, и не только для новой Русской провинции, но и для других алмазоносных регионов мира. Прогнозирование таксонов кимберлитового магматизма на территориях с известным его проявлением является не менее неопределенной задачей, чем при его отсутствии на новых перспективных площадях. Прозвучавшее в одной из работ (Ваганов и др., 1990) утверждение, что принципиальные вопросы прогноза кимберлитовых таксонов на сегодняшний день могут считаться в основном решенными, на наш взгляд, несколько преждевременное. Признавая исключительную приуроченность кимберлитового магматизма к древним платформам, исследователи значительно расходятся в определении главнейших факторов локализации кимберлитов. Вопрос о границах кимберлитовых таксонов, имеющий большое научное и практическое значение, является наименее изученной и почти не освященной в печати частью общей проблемы природных границ минерагенических таксонов. Он неизбежно встает при каждом новом открытии проявлений щелочно-ультраосновного магматизма и не утрачивает своей остроты для давно известных площадей распространения кимберлитов.

Для использования данных различных исследователей в рамках формально-логического подхода к интерпретации необходимо иметь многофакторную и многоуровневую прогнозно-поисковую модель и описывающие ее уравнения и обобщенную **многофакторную** модель природного алмазообразования, которые на настоящий момент отсутствуют. Наличие вышеуказанных моделей позволило бы с единых методических позиций подойти к решению проблемы прогнозирования разноранговых проявлений кимберлитового магматизма.

Большинство исследователей, занимающихся проблемой прогноза и поиска кимберлитов, исключая крайне ортодоксальные точки зрения, прямо или косвенно признают ведущую роль тектонических структур в размещении эксплозивного магматизма, как путей подъема магматического материала. Эти представления о делимости земной коры являются относительно инвариантными по отношению к многочисленным концепциям генезиса кимберлитов и наиболее полно и фактографически могут быть использованы в минерагенических построениях и оценке потенциальной алмазности морфологически и вещественно разнородных древних блоковых структур. При этом необходимо не только определение конкретных кимберлитоконтролирующих структур, но и выделение признаков этих структур в геолого-геофизических материалах.

Исходя из вышеизложенного, основной упор в предлагаемой работе сделан на комплексный анализ разломно-блоковой тектоники, ее эволюции и роли в контроле пространственного размещения разноранговых кимберлитовых таксонов. Противоречие, сложившееся между необходимостью расширения круга поисковых объектов и возможностями стандартных подходов, выдвигает в качестве Доминанты комплексный подход к интерпретации данных, а также совершенствование и поиск новых методических приемов с целью выявления количественных закономерностей в строении регионов **и** размещении щелочно-ультраосновного магматизма. Авторами была предпринята попытка на основе существенного уточнения структурно-тектонического строения региона, как активного способа геолого-структурного анализа, создать логическую внутренне **непротиворечивую** схему иерархического соподчинения структур Региона, уточнить их пространственное положение, воссоздать **историю** их развития и на этой основе выделить критерии **прогнозирования** и поисковые признаки разноранговых таксонов **проявлений** кимберлитового магматизма.

Глава 1

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Зимнебережный кимберлитовый район расположен на юго-восточном побережье Белого моря между Двинской и Мезенской губами (рис.1) и входит в состав выделяемой архангельскими геологами площади юго-восточного Беломорья (Геология и полезные ископаемые..., 1987; Станковский, 1997; Очерки по геологии..., 2000). Юго-восточное Беломорье охватывает территорию, ограниченную на севере и западе побережьем Белого моря примерно от мыса Воронов на северо-западе Мезенской губы до губы Нименьга на Поморском берегу Онежской губы Белого моря (Губайдуллин, 2002). Восточная граница территории достаточно условна и проводится

по 150-метровой глубине залегания кровли вендских отложений.

Территория представляет собой плоскую равнину, расчлененную долинами многочисленных рек и впадинами озер. Реки интенсивно меандрируют, их поймы заболочены. Преобладающие формы рельефа — ледниковые и водноледниковые. Большая часть территории относится к зоне распространения бореальных лесов, переходящей в лесотундру и тундру.

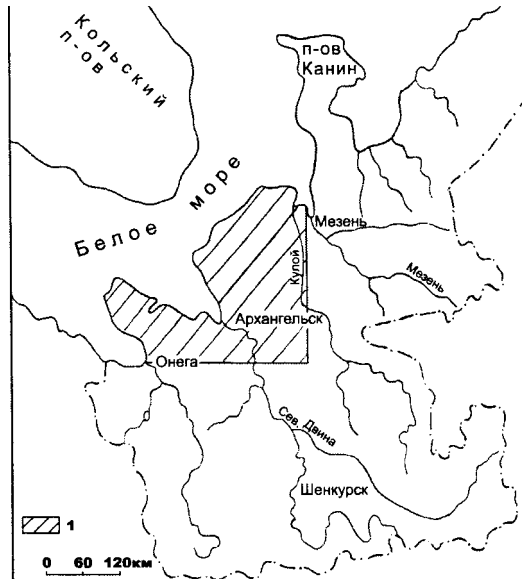


Рис. 1. Обзорная карта района исследований
1 — площадь исследований

Север Русской плиты, к которому относится исследуемый регион, по своему географическому положению является уникальной окраинно-материковой геоструктурой. Современные границы ее находятся у бортов зоны, переходной от континента к океану в полосе шельфа Белого, Баренцева и Северного морей (Билибина, 1986). Окраинно-материковое положение определяет регион как область максимальных напряжений геодинамических движений литосферы. Длительная история развития блоковых структур, воздействие разнородных геодинамических напряжений в области материкового склона Баренцева и Белого морей (образование Северного Ледовитого океана), в контакте с Балтийским щитом (область с устойчивой тенденцией к поднятию, начиная с позднего архея), смена геодинамических обстановок в районе Урала, сформировали сложное разломно-блоковое строение региона.

Геологическая история севера Русской плиты тесно связана с эволюцией Балтийского щита и во многом ей обусловлена. В настоящее время юго-восточное Беломорье рассматривается большинством исследователей в качестве одного из узлов позднедевонского щелочного магматизма, охватывающего практически всю северную часть Восточно-Европейской платформы (Архангельская алмазоносная..., 1999). Подтверждением этого служат многочисленные дайки и трубки ультраосновных фойдитов, оливковых мелилититов и алмазоносных кимберлитов вдоль Терского берега Белого моря (Калинкин и др., 1993), трубки взрыва на Среднем Тимане (Мальков, Холопова и др., 1995) и т. п.

Таким образом, существующая пространственно-временная связь щелочно-ультраосновного магматизма на территории юго-восточного Беломорья с другими проявлениями магматизма северо-восточно-Европейской платформы, и в первую очередь щелочного магматизма Балтийского щита (или Фенно-Скандия), позволяет предположить и однотипность в истории развития и строении структур Фундамента последнего с исследуемой территорией.

Наличие появившихся в последнее время работ, посвященных геологическому строению и вещественному составу магматических пород региона (Архангельская алмазоносная..., 1999; Губайдуллин, 2002; Литосфера и гидросфера..., 2001), позволяет авторам кратко становиться на геологическом строении региона и уделить больше внимания эволюции его разломно-блоковых структур.

В основе выводов о структуре земной коры региона лежит комплексная интерпретация геолого-геофизических данных. Исходным и основным материалом при изучении распределения неоднородностей в литосфере пока являются сейсмические разрезы. В этом отношении Русская платформа изучена достаточно полно, хотя и неравномерно. Наиболее изучена ее юго-западная часть, менее — северо-восточная.

Исходная «сейсмическая» модель среды, полученная по Балтийскому щиту, может быть охарактеризована как слоистая, латерально неоднородная с линейным градиентом скорости в каждом слое по вертикали, который также может изменяться по латерали.

По сумме геолого-геофизических данных докембрийский фундамент региона и перекрывающий его плитный покров принадлежат двум геоблокам — Карело-Кольскому и Белорусско-Балтийскому (Билибина, 1986). Карело-Кольский геоблок состоит из четырех мегаблоков (Мурманского, Кольского, Беломорского и Карельского), различающихся по возрасту консолидации и составу докембрийской коры и характеру граничных поверхностей. Белорусско-Балтийский геоблок, большая часть которого находится за пределами территории, состоит из Ладожского и Балтийского мегаблоков.

Карело-Кольский и Белорусско-Балтийский геоблоки разделены глубокопроникающими межблоковыми швами, верхняя часть которых наращивается прогибами различного генезиса. Граница геоблоков представляет по данным Г. П. Воеводовой и А. В. Савицкого (Воеводова, Савицкий, 1986) зону линейных неоднородностей гравимагнитного поля, погружающуюся в северо-восточном направлении на глубину более 130 км. В том же направлении погружаются и граничные зоны вышеперечисленных мегаблоков, фиксируемые в верхних частях земной коры (рис. 2).

Граничная поверхность Мурманского мегаблока с Кольскими представлена взбросом с углом падения $65\text{--}70^\circ$ на северо-восток (Билибина, 1986). Положение поверхности фиксируется локальными поддвигами, взбросами и сбросами с милонитовым и бластомилонитовым заполнением (Земная кора., 1987). Северная граница Мурманского мегаблока отмечена на сейсмическом разрезе в шельфе Баренцева моря (Литвиненко, 1968; Геологическое строение СССР., т. 1, 1985). Граничная поверхность Беломорского и Кольского мегаблоков фиксируется разновозрастными разрывными нарушениями и затушевана процессами полиметаморфизма и грани-

тизации. К зоне сочленения этих мегаблоков приурочены системы прогибов — Печенгского и Имандро-Варзугского. Вдоль перегибов граничной поверхности располагаются надвиги и сбросы, по которым беломорские гнейсы поддвинуты под протерозойские структуры Имандро-Варзугского прогиба под углами $60\text{--}70^\circ$. Граничная поверхность Беломорского и Карельского мегаблоков, усложнен-

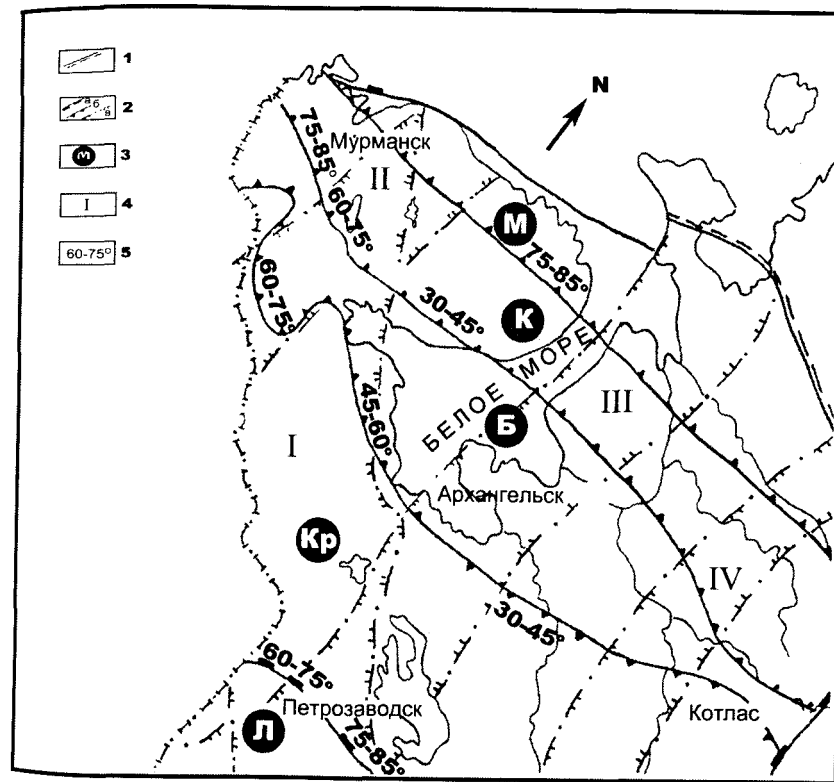


Рис. 2. Схема разломно-блоковой тектоники северо-запада Восточно-Европейской платформы (Кутинов, Чистова, 2001)

— западная граница Тиманского поднятия; 2 — разломы, ограничивающие:
 а) геоблоки; б) мегаблоки; в) трансблоковые зоны; 3 — основные мегаблоки и их индексы: М — Мурманский; К — Кольский; Б — Беломорский; Кр — Карельский; Л — Ладожский; 4 — трансблоковые зоны: I — Ладожско-Баренцевоморская; II — Хибинская; III — Балтийско-Мезенская; IV — Вельско-Цильменская; расчетные углы падения поверхностей разломов

ная положением Куола-Шомбозеро-Кожозерской системы впадин и прогибов, имеет крутое падение на северо-восток под углами 65—75° (Билибина, 1986). Зона сочленения этих мегаблоков обладает повышенной мощностью земной коры (до 50 км) и трассируется не только на территории Балтийского щита, но и пределах Русской плиты, где амплитуда утолщений значительно меньше (Строение литосферы..., 1993).

Мегаблоки отличаются строением, возрастом консолидации и геохимическим типом земной коры. Так, Мурманский, Кольский и Беломорский мегаблоки отмечаются в целом меньшими мощностями земной коры, чем Ладожский. Самая маломощная земная коря (29—34 км) определена в Карельском мегаблоке (Воеводова, Савицкий, 1986). Наблюдается различие блоков и по мощности гранитно-метаморфического слоя. Наименьшие значения характерны для Кольского мегаблока (менее 14 км), наибольшие — для Карельского и Балтийского (более 17 км). Мощности гранитно-метаморфического слоя Мурманского и Беломорского мегаблоков примерно равны (15—16 км). По типу земной коры Мурманский, Кольский и Карельский мегаблоки относятся к салически-мафическим, а Беломорский к мафически-ультрамафическим.

Блоки более высоких порядков относятся к категории блоков III и IV порядка и различаются по глубинному строению и структурно-вещественным типам.

Мурманский, Кольский и Беломорский мегаблоки характеризуются неоднородным строением, сложены небольшими по размеру и очень контрастными блоками IV порядка (Воеводова, Савицкий, 1986). В них наряду с типично салическими отмечаются и типично фемические блоки. Карельский мегаблок образован блоками III порядка, приблизительно равными по размерам и менее контрастными по своему выполнению.

Границы блоков III—IV порядков представлены линейными зонами разломов, среди которых отмечаются астеносферные, мантийные, коровые и внутрикоровые структуры (Воеводова, Савицкий, 1986). Астеносферные, мантийные и, частично, коровые разломы проявляются как зоны градиентов гравимагнитного поля, подчиненно — как «зоны разуплотнения» — линейными максимумами Δg , увеличенной мощностью гранитно-метаморфического слоя, и валобразным поднятием поверхности Мохо. История формирования зон сочленения отмечается большой длительностью и

многоступенчатостью, о чем свидетельствует приуроченность к ним более молодых геологических образований вплоть до палеозойских. Приуроченность к разломам зон сочленения уступов высотой более 100 м (Гендлер и др., 1986) свидетельствует, что их формирование продолжалось и после палеозоя.

Основная сеть разломов Севера Русской плиты была заложена главным образом в позднем архее (2600—2800 млн лет) в связи с кеноранским диастрофизмом (Салоп, 1982). В домезозойской истории разрывных нарушений отмечаются от четырех до десяти этапов их активизации (Савицкий и др., 1986), протекавших в разное время в различных геотектонических режимах. Эти разломы являются долгоживущими и, как правило, характеризуются сложным внутренним строением как вкрест, так и вдоль простирания. Они являются границами оформившихся в кеноранскую эпоху геоблоков и входящих в их состав блоков II и III порядка. Современные очертания и особенности внутреннего строения блоков определились в результате их неоднократной перестройки в раннем и особенно в позднем протерозое и, частично, палеозое, но в общих чертах они близки к первоначальным.

В целом можно сделать вывод, что для региона характерно развитие в основном двух разновидностей глубинных структур (линейно-блоковые и блоковые структуры III и IV порядков) — в виде желобов и в виде перевернутых конусов и блоков (Березовский и др., 1993). Структуры первого типа характеризуются максимальным погружением фундамента до 4—5 км (прогибы или системы прогибов), валобразными поднятиями поверхности Мохо с амплитудой 2—18 км и значительным сокращением мощности коры. Палеорифтогенным структурам отвечают участки земной коры с повышенными значениями граничных скоростей по поверхности Мохо до 8,3—8,6 км/с и плотностью 3,4—3,45 г/см³, которые могут быть интерпретированы в качестве реститовых остатков синхронных подкоровых магматических очагов с преобладанием ультраосновного состава. Для структур второго типа в виде блоков характерна приподнятая поверхность кристаллического фундамента (глубина залегания 0—2 км), погружение границы Мохо до 38—42 км. Коростные и плотностные параметры коры средние.

Приведенные материалы говорят о наличии нескольких типов соотношений опорных разделов в строении земной коры, обуслов-

ленных различным механизмом взаимодействия глубинных и приповерхностных процессов.

Характерной особенностью региона является наличие трансрегиональных трансблоковых тектонических зон (рис. 2) — субмеридиональной Ладожско-Баренцевоморской и северо-восточных — Хибинской, Балтийско-Мезенской и Вельско-Цильменской, являющихся линейно-блоковыми или разломно-блоковыми, по Т. В. Билибиной (Билибина, 1986), структурами. С ними в значительной мере связана высокая блоковая делимость, свойственная региону. Те части региона, где отмечаются эти зоны или узлы их сопряжения с разрывными нарушениями иных направлений, характеризуются наиболее высокой блоковой делимостью. Им свойственна повышенная сейсмичность (Металлогения восточной части., 1980) и аномальные значения теплового поля (Карта разломов., 1982). Трансблоковые зоны, сформировавшиеся на раннедокембрийской коре в разных геологических обстановках имеют разную генетическую природу. Они приурочены к наиболее проницаемым и восприимчивым частям литосферы в местах сочленения щитов и плит или к областям геодинамических напряжений в трансконтинентальных областях раздвига (Билибина, 1986).

Балтийско-Мезенская зона представляет собой буферную активизационную структуру, имеющую сложное многоярусное строение, которое в целом определяется сочетанием разноуровневных блоков докембрийского фундамента и эпикратонных и собственно платформенных структур, заложенных на докембрийском основании (Билибина, 1986).

Хибинская разломно-блоковая зона является частью «трансрегиональной линейной тектонической зоны» (Савицкий и др., 1986) северо-восточного простирания, прослеживающейся во внутренние части щита, где она пересекает Кольский, Беломорский, Карельский и Мурманский мегаблоки, достаточно четко разграничивая их северо-западные и юго-восточные части. Время основной активизации этих двух зон — палеозой.

Ладожско-Баренцевоморская зона сформировалась в карельский этап диастрофизма (Строение литосферы., 1993). Отличительными особенностями зоны является широкое развитие бластомилонитов и бластоклазитов, интенсивное и неоднократное проявление процессов гранитообразования и их преимущественно линейный характер.

Вельско-Цильменская зона представляет полосу глубинных долгоживущих разломов северо-восточного простирания шириной 100—150 км и протяженностью более 700 км (Шукин и др., 1984). Основное время активизации — мезозой.

Таким образом, процессы тектогенеза в регионе в общем случае проявляются в развитии тектонически ослабленных сложных зон повышенной проницаемости земной коры, которые имеют генеральное северо-западное направление и наследуют ориентировку позднеархейских зеленокаменных поясов; поперечным разломам протерозойских структур свойственно северо-восточное направление, т. е. они образуют как бы «вторичные» тектонические зоны, используя систему древних поперечных и диагональных разломов. В совокупности эти рифтогенные зоны создают в пространстве сложный рисунок и представляют собой сочетание разрывных нарушений, реликтов грабенов и горстов и приподнятых блоков, образующих своеобразный тектонический каркас как рифтогенных, так и блоковых структур, последовательно развивающихся во времени.

Блоковому строению Балтийского щита посвящено достаточно большое количество работ (Блоковая тектоника., 1986; Магматизм и металлогения., 1993; Строение литосферы., 1993 и т. д.). Расходясь в названиях структур, отдельных чертах глубинного строения, выводы авторов относительно их местоположения и роли в геологической эволюции региона практически совпадают. Поэтому мы отсылаем заинтересовавшихся читателей к вышеперечисленным работам. Отметим, что большинство исследователей рассматривают блоковые дизъюнктивные ограничения как двухмерные границы, по которым происходили перемещения блоков земной коры. Вместе с тем становится все более очевидным, что разломы представляют собой самостоятельные образования, сформированные в особых условиях. Довольно часто дизъюнктивные тела сопоставимы по размерам с ограниченными ими блоками земной коры и являются одноранговыми структурами с последними. Более подробно этот вопрос рассмотрен нами в главе 3.

Вещественная неоднородность осадочного чехла предопределена обособленностью в нем сообществ горных пород разных рангов (геологические формации и их ассоциации). Состав сообществ, их внутреннее строение, форма тел, взаимоотношения в пространстве контролируются несколькими факторами, среди которых од-

ним из главных является тектонический. Этот фактор прямо или косвенно влияет на ход осадочного процесса, а также приводит к преобразованию консолидационных структурных форм с их осадочным наполнением.

В современном структурном плане осадочного чехла на рассматриваемой территории выделяются следующие крупнейшие элементы: восточный склон Балтийского щита, Мезенская синеклиза, Тиманская гряда, Печорская синеклиза и Предуральский прогиб (Структура платформенного чехла..., 1982).

В пределах крупнейших структур установлены многочисленные более мелкие структурные элементы: своды, впадины, валы, прогибы, поднятия, котловины и др. Наиболее выпукло они выражены в структурных поверхностях, характеризующих строение отдельных структурно-формационных комплексов (ярусов).

Самой информативной границей платформенного чехла является поверхность раздела чехла и фундамента (подошва чехла). В ней в той или иной мере запечатлены все тектонические движения, которые происходили в различные этапы развития платформы. Внутреннее строение чехла можно представить по вышележащим структурным поверхностям.

Исследуемый регион входит в Беломорский геоблок в составе Балтийско-Мезенской кольцевой мегаструктуры и характеризуется в основном повышенными значениями поля Δg и мафически-ультрамафическим характером земной коры.

Строение района определяется положением на севере Русской плиты в зоне ее сочленения с Балтийским щитом. В строении площади резко обособлены два структурных этажа: сложнодислоцированный архей-нижнепротерозойский фундамент и осадочный чехол.

Породы фундамента вскрыты скважинами 101, 570, 771 на глубинах 538—860 м, а также скважинами Усть-Пинега — 826 м и Архангельской — 535,8 м. На основании редкой сети структурных скважин и по аналогии с открытыми участками Балтийского щита предполагается, что фундамент сложен породами беломорского комплекса архея (амфиболитовая фация метаморфизма), который по геофизическим данным залегает на глубинах 0,5—3,0 км.

В основании земной коры предположительно находится переходный коромантийный слой с пониженными скоростями. В результате сейсмических исследований (Строение литосферы..., 1993)

установлены скачкообразные изменения скоростных параметров в вертикальном и горизонтальном направлениях по разрезу, что свидетельствует о слоисто-блоковом строении земной коры (рис. 3, 4).

Внутри консолидированной земной коры, мощность которой 34—39 км (Строение литосферы..., 1993; Юдахин и др., 2003), за-

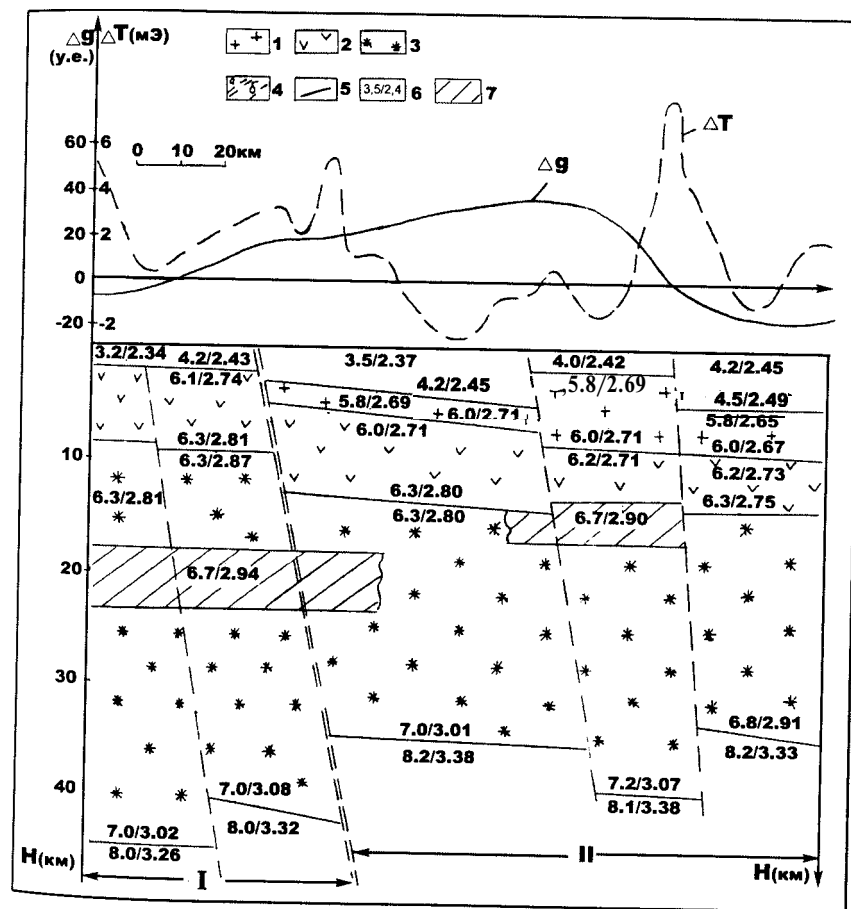


Рис. 3. Фрагмент разреза по профилю ГСЗ № 3

1 — гранито-гнейсовый слой с пониженными значениями V_p ; 2 — гранито-гнейсовый слой с повышенными значениями V_p ; 3 — базальтовый слой; 4 — тектонические нарушения: а) первого порядка, б) второго порядка; 5 — сейсмические границы; 6 — физические параметры (V_p , км/с; ρ , г/см³); 7 — промежуточный очаг

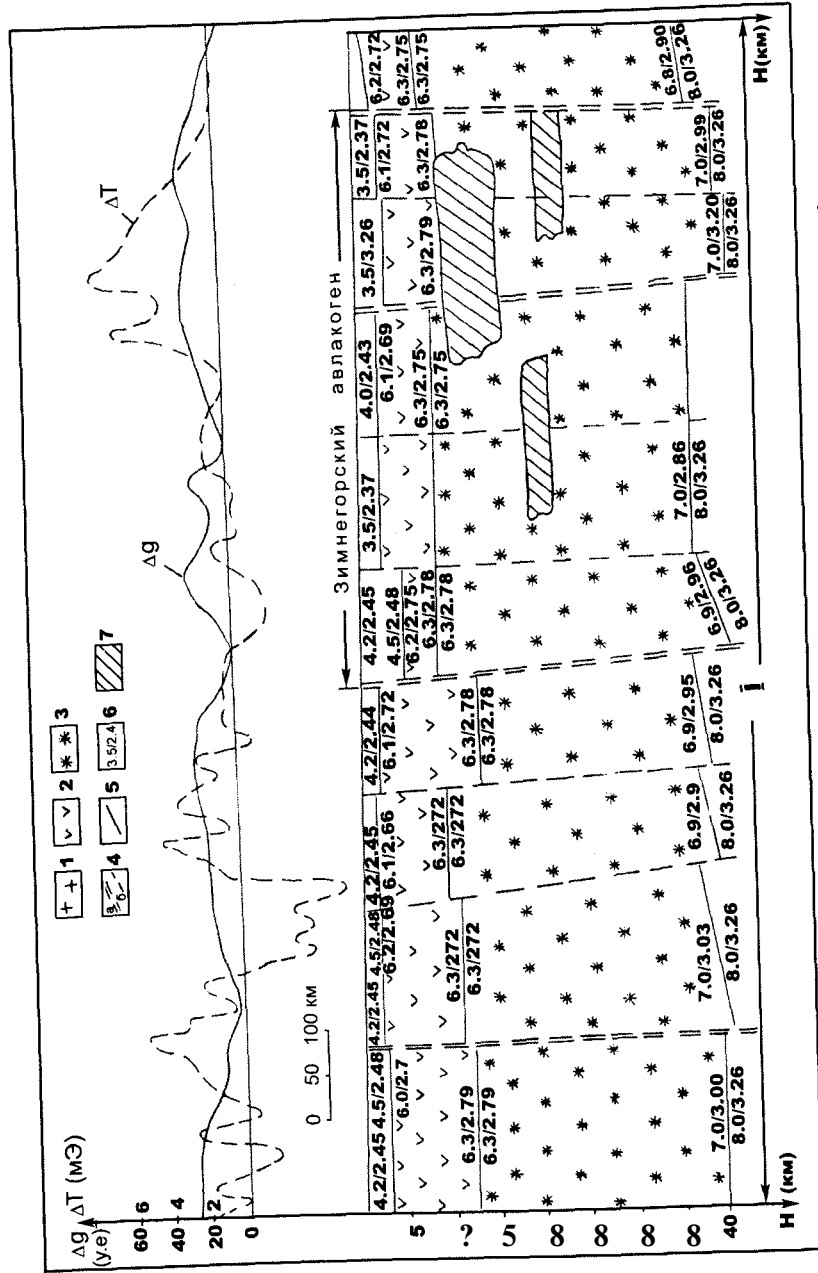


Рис. 4. Разрез по профилю ГС № 5. Условные обозначения см. рис. 3

фиксированы локальные высокоскоростные аномалии в интервалах 10—15, 20—25 и 25—30 км. На существование мантийного глубинного разлома указывают низкие скорости сейсмических волн (до 7,7 км/с) в сочетании со сложным строением границы Мохо. По наблюдаемому и трансформированному гравитационному и магнитному полям в фундаменте прослеживаются протяженные линейные аномалии северо-западного простирания, обусловленные наложенными на архейские образования свекофено-карельскими складчатыми зонами, размещение которых определяют глубинные региональные разломы, вмещающие интрузии ультраосновного состава. Для ранней стадии развития этих структур в позднем архее характерен преобладающий режим растяжения, сформировавший раздвиги и сбросы северо-западного простирания. Вдоль разломов формировались зеленокаменные пояса различного типа (Воронья-Колмозерский, Имандра-Варзугский, Хаутаварский, Ветренопоясной, Гимольский) (Савицкий и др., 1986). Грабеноподобный характер прогибов, мощный мантийный вулканизм, начальные условия растяжения дают возможность предположить о проявлении процессов рифтогенеза в условиях консолидированной архейской коры (Геология и геохронология..., 1990; Gaal, Gorbachev, 1987).

В конце позднего архея в связи со складчатостью (преобладающий режим сжатия) раздвиги и сбросы преобразовались в взбросо-сдвиги и надвиги. Позднеархейские геологические события привели к кратонизации структур Балтийского щита и к формированию преимущественно гранулит-гнейсовых комплексов в Кольском мегаблоке и гранит-зеленокаменных в Карельском, что и определило основные различия этих блоков по составу и строению (Магматизм и металлогения..., 1993).

Раннепротерозойский период развития Балтийского щита и севера Русской плиты определил их современный тектонический облик. Большинство позднеархейских дизъюнктивных структур сохранило свою активность и в раннем протерозое. Унаследованность в развитии подчеркивается пространственной приуроченностью линейных рифтогенных структур (Ветренопоясная, Имандра-Варзугская, Печенгская), протоорогенных поясов, прогибов и впадин (Савицкий и др., 1986). Созданный в процессе архейской волюции единый кратон после периода денудации подвергся процессам рифтогенеза. По данным А. Д. Щеглова (Магматизм и металлогения..., 1993), эти процессы, начавшиеся уже в сумии (2500

млн лет), развивались на протяжении сумийско-саролийского, ятулийского и людовико-калевийского периодов. В раннем протерозое, так же, как и в позднем архее, разломы формировались при чередовании условий растяжения-сжатия. Первые преобладали при заложении разрывных структур, вторые — при их завершении. Наиболее мощно и широко процессы сжатия проявились в карельский (1700 — 1950 млн лет) этап разломообразования (Савицкий и др., 1986). Надвиги, сбросы, сдвиги и своеобразные зоны складнато-разрывных дислокаций определяют морфо-кинематический рисунок разломных структур раннего протерозоя. Надвиговый характер имели зоны сочленения Карело-Кольского и Белорусско-Балтийского геоблоков, а также входящих в их состав мегаблоков. Более подробно этот вопрос рассмотрен ранее. С надвигами и сбросами пространственно и генетически связаны сдвиги преимущественно северо-восточного и подчиненно субширотного простирания.

Период от конца раннего протерозоя (1650 млн лет) до позднего рифея (900 млн лет) отвечает новому значительному тектономагматическому этапу эволюции восточной части Балтийского щита — развитию рифейского континентального рифтогенеза и формированию авлакогенов на Русской плите. Ранний рифей (1550 млн лет) на Балтийском щите ознаменовался активизацией тектономагматических процессов и внедрением широко развитых даек долеритов и оливиновых габбро-норитов, свидетельствующих о режиме растяжения разломных структур.

Следующий этап рифтогенеза (1320—900 млн лет) охватил весь Балтийский щит и Русскую плиту. С позднепротерозойскими этапами образования, протекавшими в условиях растяжения земной коры, связано формирование грабенов и авлакогенов, образовавших своеобразную «палеорифтную систему платформы» (Карта разломов., 1982). В целом она унаследованно отражает структурный план раннедокембрийского основания платформы. С формированием системы грабенов и авлакогенов связана активизация северо-западных сбросов и северо-восточных сдвигов. Вдоль северо-западных разломов происходили наиболее интенсивные тектонические процессы с преимущественно вертикальными смещениями блоков, сопровождающиеся активной магматической деятельностью, в силу чего эти разломы можно рассматривать как структурообразующие (Кутинов, 1991 б; Кутинов, Чистова, 2001). Так, за пределами рассматриваемой территории в Крестецком грабене сре-

ди отложений рифея известно тело габбродиабазов и толща туффи-тов. Аналогичное положение занимают покровы базальтов и их туфов в породах солончужной свиты Онежского грабена (Никитин и др., 1986; Станковский и др., 1981).

В целом в фундаменте развиты контрастные структуры: горсты и авлакогены северо-западного простирания, осложненные дизъюнктивами других направлений (рис. 5).

Неоднократные возобновления блоковых тектонических движений по разломам фундамента нашли свое отражение в строении осадочного чехла как в региональном плане — в распространении и мощности структурных ярусов и подъярусов и формировании крупных структур, так и более локально (Кутинов, 1991 б; Кутинов, Чистова, 2001).

В осадочном чехле, залегающем с угловым и стратиграфическим несогласием на породах фундамента, выделяются верхнепротерозойские, палеозойские и кайнозойские образования, разделенные длительными стратиграфическими перерывами. Эти отложения слагают, как и на всей территории Восточно-Европейской платформы, два тектоно-вещественных мегакомплекса: доплитный, или рифтогенный (отложения рифея), и плитный, или ортоплитный (вендфанерозойские отложения) (Капустин, Кирюхин, 1987; Станковский, Якобсон, 1986). Эти комплексы различаются как по литологии, так и по своему структурному положению: нижний заполняет прогибы фундамента северо-западного простирания, а верхний с разрывом перекрывает как породы нижнего, так и кристаллический фундамент. Неравномерное опускание блоков фундамента способствовало резким сокращениям мощности рифея или его полному отсутствию на выступах. Рифейские отложения вскрыты в Керецком грабене (прогибе) скважинами 770 и 774 на глубинах 870 и 900 м соответственно и представлены гравелито-песчаниковыми отложениями. Не исключено наличие эффузивных пород — базальтов, долеритов, туфов и туффи-тов, аналогичных вскрытым в составе солончужной свиты Онежского грабена.

Плитный мегакомплекс отличается относительно-упорядоченными и выдержанными по вертикали и латерали наборами формаций. Формационные ряды вендфанерозоя представлены чередованием терригенных и карбонатных типично платформенных осадков.

Развитие рифейской рифтовой системы завершилось в позднем

рифее. Впадины были полностью заполнены серо- и красноцветными толщами, и перекрывающий их венд отлагался на пенепленизированной поверхности (Гриб, 1986). Началу седиментации предшествовал не только длительный перерыв в осадконакопле-

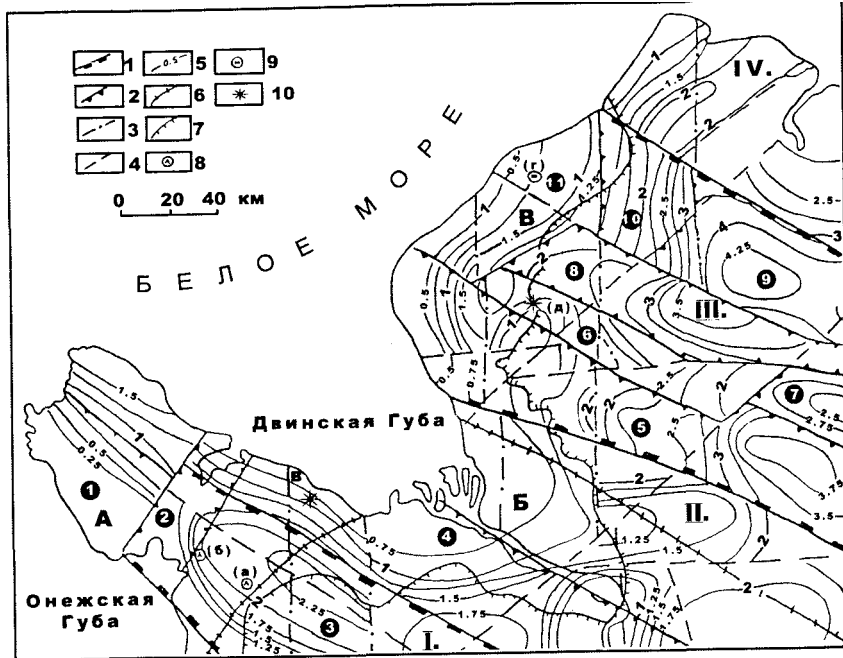


Рис. 5. Схема геолого-структурного районирования юго-восточного Беломорья

Географические районы: А — Онежский п-ов; Б — низовья Сев. Двины; В — Зимний берег. Структуры фундамента: а) первого порядка (1 — Онежский авлакоген; II — Архангельский выступ; III — Зимнегорский авлакоген; IV — Кулойский выступ); б) второго порядка (1 — Мяндозерская ступень; 2 — Малошунско-Унский грабен; 3 — Онежский грабен; 4 — Солзенская ступень; 5 — Керещкая впадина; 6 — Золотицкое поднятие; 7 — Полтинское поднятие; 8 — Кепинская впадина; 9 — Лешуконская впадина; 10 — Чубальская ступень; 11 — Ручьевский выступ). Проявления платформенного магматизма: а — среднерифейские базальты и долериты Солозера; б — кварцевые долериты Войозера; в — трубки взрыва Ненокского комплекса; г — силлы Мелы; д — кимберлитовые трубки

Условные обозначения:

1 — границы структур первого порядка; 2 — второго порядка; 3 — разломы мантийного заложения; 4 — прочие разломы; 5 — изопахиты осадочного чехла; 6 — границы географических районов; 7 — граница палеозоя; 8 — проявления траппового магматизма; 9 — кимберлитовые силы; 10 — трубки взрыва

нии, но и тектоническая перестройка, обусловившая заложение платформенного бассейна. В пользу этого положения говорит то, что вендские отложения в региональном плане не наследуют рифейских грабенов. Кроме того, наличие в разрезе венда покровов кварцевых долеритов и лампрофировых покровов типа минетты (Шукин и др., 2002), горизонтов туффитов, а также данные геофизических работ в юго-восточном Беломорье (Кутинов, Чистова, 1987 б) убедительно свидетельствуют об активизации разломов на этом этапе развития региона. Суммируя выше изложенное, следует отметить, что вследствие произошедшей в венде активизации разломов (620—600 млн лет) обособились два крупных структурных элемента: Балтийский щит и вендская синеклиза, охватившая большую часть Русской плиты. Одним из конкретных проявлений вендской активизации является северо-восточная ветвь Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны — Архангельская тектоническая зона (Синицын и др., 1986). В связи с тем, что отложения венда сплошным чехлом покрывают всю территорию, определить роль конкретных систем разломов чрезвычайно сложно.

Возникшая в результате вендской перестройки система обширных неглубоких бассейнов, заполнявшаяся терригенно-карбонатными и песчано-глинистыми осадками, в позднем венде вследствие длительного погружения объединилась в единый обширный бассейн. Однако к концу венда этот бассейн начал сокращаться, что, вероятно, связано с начавшимися поднятиями на Урале и Тимане (Геологические формации..., 1981). Выведенная из зоны седиментации северо-восточная часть Мезенской синеклизы приключилась к Балтийскому щиту и превратилась, по Ю. Г. Старицкому (История развития..., 1981), в филократон с устойчивой областью сноса в течение всего каледонского цикла.

С вендом связана коренная перестройка структурного плана всей Русской плиты и, по-видимому, активизация систем разломов фундамента северо-восточной ориентировки — они определяют внешнюю границу бассейна седиментации и создают систему грабенов на юго-восточном склоне Балтийского щита (Гриб, 1986; Станковский, Якобсон, 1986). Наблюдается ступенчатое увеличение мощности отложений в юго-восточном направлении. Вендские отложения (байкальский ряд) представлены песчано-глинистой формацией и залегают непосредственно под четвертичными осадками в западной части района, а на востоке перекрыты каменноугольными и частично пермскими отложениями (рис. 6, 7).

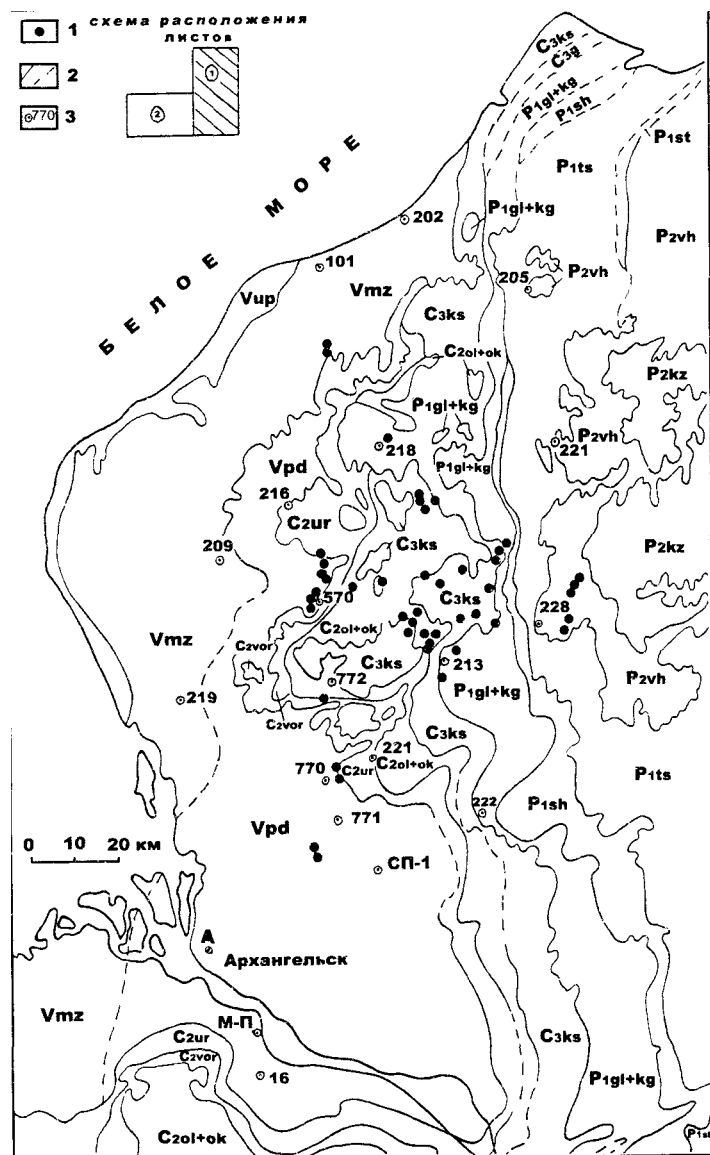


Рис. 6. Геологическая карта района (лист 1)
Условные обозначения см. рис. 7 (лист 2)

В процессе формирования вендских пород происходили движения по разломам фундамента, на что указывает сопоставление разрезов венда на горстах и прогибах (Станковский, Якобсон, 1986), а также наличие многочисленных зон трещиноватости (Кутинов, 1991 а). Отложения формировались в условиях мелководья при меняющейся окислительно-восстановительной обстановке (Кутинов, Чистова, 2001). Образованием падунской свиты закончился вендский цикл осадконакопления.

На территории юго-восточного Беломорья из разреза осадочного чехла нижний палеозой от кембрия до силура включительно полностью выпадает. Таким образом, с конца венда по средний девон включительно территория входила в состав кратона, относительно примыкавшего с юга и юго-востока кембрийско-ордовикского бассейна седиментации (Гриб, 1986). Вовлечение юго-восточного Беломорья в нисходящее платформенное погружение произошло в девоне. Таким образом, в позднем венде и раннем палеозое произошли две тектонические перестройки: первая, каледонская, привела к восходящим движениям и кратонизации, вторая, герцинская, обусловила переход к нисходящим движениям и погружению бассейна. В дальнейшем режим региона оставался сравнительно стабильным.

Палеозойские породы (герцинский ряд) представлены терригенными и карбонатными отложениями карбона и перми, развиты преимущественно на востоке области (рис. 6, 7). Залегают с размывом на породах венда и перекрыты четвертичными отложениями. Колебания мощностей некоторых горизонтов, несомненный контроль их распространения указывают на наличие в то время блоковых подвижек фундамента на фоне общего регионального прогибания. Тектоническая активизация разломов фундамента прослеживается вплоть до кайнозоя включительно. Палеозойские этапы активизации разломов протекали в условиях чередующихся растяжения и сжатия. Они синхронно проявились в восточной части Балтийского Щита, в фундаменте и осадочном чехле Русской плиты. В раннем карбоне произошла смена тектонического режима, повторно преобразовавшая Мезенскую синеклизу в бассейн седиментации и обусловившая каменноугольную трансгрессию с формированием морской известковой формации. При этом структурный план позднепалеозойского бассейна практически полностью наследует план вендского (Геологические формации..., 1981). Наиболее мощно и

широко разломообразование имело место в девоне и карбоне, а также в перми. Господствующее простирание разрывных нарушений, северо-восточное и субмеридиональное, существенно подновлялись и северо-западные разломы.

Мезозойские отложения на территории юго-восточного Беломорья отсутствуют, но анализ соседних территорий говорит о том, что в позднем палеозое структурные перестройки региона не окончились. Новая крупная тектоническая перестройка Русской плиты произошла в предтриасовое время. Она выразилась в резком сокращении областей седиментации и образовании в пределах северо-

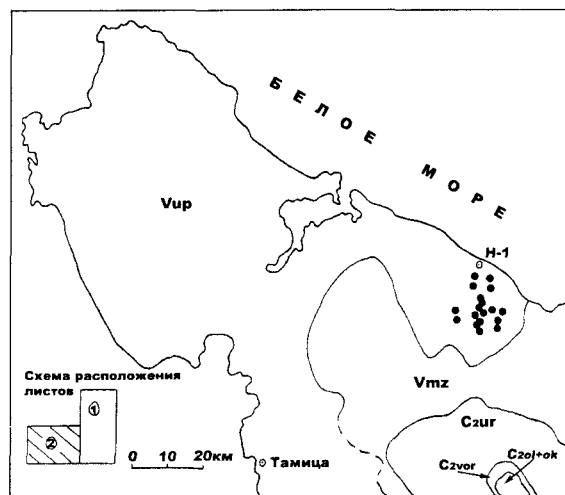


Рис. 7. Геологическая карта района (лист 2)

Пермь: P₂kz — казанский ярус; P₂vh — уфимский ярус. Вихтовская свита; Сакмарский ярус: P1st — Стерлитамакский горизонт; P1ts — тастубский горизонт; Ассельский ярус: P1sh — шиханский горизонт; P1gl+kg — глазанская и красногорская свиты. Карбон: C₂g — гжелский ярус; C₂ks — касимовский ярус; Московский ярус: C₂ol+ok — олмугская и окуневская свиты; C₂vor — воереченская свита; C₂ur — урзугская свита. Венд: Vpd — падунская свита; Vmz — мезенская свита; Vup — усть-пинейская свита

Условные обозначения: 1 — магматические объекты; 2 — геологические границы: достоверные и предполагаемые; 3 — опорные скважины и их номера

восточной части плиты Вятско-Камской триасовой впадины (Синицын и др., 1986). Подобно вендской активизации, которая сопровождалась трапповым магматизмом (Станковский и др., 1979), в триасе также проявлены траппы. Они были установлены в юго-восточной части Мезенской синеклизы на правом берегу р. Вычегды. Одним из конкретных проявлений мезозойской активизации является Вельско-Цильменская зона глубинных разломов северо-восточного простирания.

Неотектоническая и четвертичная

Система		Отдел	Индекс	Мощность		Характеристика пород	
Пермская		Верхний	P ₂ kh	P ₂ kh	73		Казанский ярус. Нижний подъярус. Мергели, известняки.
			P ₂ vk			Уфимский ярус. Вихтовская свита. Алевролиты, мергели, песчаники.	
		Нижний	P1st	98	14	106	Стерлитамакский горизонт. Доломиты, известняки
			P1ts				Тастубский горизонт. Доломиты, гипсы, ангидриты, песчаники.
Каменноугольная		Верхний	P1sh	51	51	Шиханский горизонт. Доломиты с прослоями гипсов.	
			P1gl+kg			Сокольгорский горизонт. Глазанская и красногорская свиты. Доломиты, известняки.	
		Средний	C ₂ g	51	9	43	Гжелский ярус. Доломиты, известняки с прослоями гипсов.
			C ₂ ks				Касимовский ярус. Доломиты, известняки.
Средний	C ₂ ol+ok	51	9	43	Подольский и мячковский горизонты. Олмугская и окуневская свиты. Известняки, доломиты.		
	C ₂ vor				Воереченская свита. Песчаники, известняки.		
	C ₂ ur				Урзугская свита. Пестроцветные песчаники.		
Протерозой		Венд-Валдайская серия	Vpd	270	189	Падунская свита. Переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов.	
			Vmz			Мезенская свита. Переслаивание аргиллитов, алевролитов, песчаников.	
		Рифей	Vup	>700	>521	>210	Редкинский горизонт. Усть-пинейская свита. Аргиллиты с прослоями алевролитов.
			R ₃ nn				Ненокская свита. Песчаники красноцветные.
Архей	Балхор-Кемпесская серия	ARbl	>248	>210	Солозерская свита. Песчаники, конгломераты с прослоями базальтов и долеритов.		
		R ₃ nn			Гнейсы, гранито-гнейсы, амфиболиты, мигматиты.		

Рис. 8. Стратиграфическая колонка

структура севера Русской плиты обусловлена характером развития Фенно-Скандинавского поднятия, фронт динамического влияния которой достигает Среднего Урала, ограничиваясь на востоке структурами Тимана и Урала, на юге Смоленско-Дмитровско-Ветлужским валом (Макаров, 1996). При этом плита испытывает давление со стороны Фенно-Скандинавского свода, которое способствует возникновению полей напряжений и развитию деформаций (Кутинов и др., 1999). В результате в пределах плиты отчетливо проявлены чередующиеся зоны поднятий и впадин, концентрически огибающих Фенно-Скандинавский свод, а также серия поперечных к ним (радиальных) линейментов (вероятно, зоны растяжения и повышенной трещиноватости земной коры), а также зоны тектонических ступеней (флексур) (Макаров, 1996).

Четвертичные отложения почти сплошным чехлом покрывают территорию, несогласно залегая на неровной поверхности докембрийских и палеозойских пород. Для этих отложений характерна чрезвычайная изменчивость мощностей и вещественного состава. Мощность отложений колеблется от первых метров на водоразделах до 200 м в палеодолинах. Распространение кайнозойских образований обусловлено: распространением и интенсивностью неотектонических движений; режимом аккумуляции осадков, обусловленных наступлением покровных оледенений и разделяющих их морских трансгрессий.

Геологическая ситуация представлена на обзорной геологической карте района (рис. 6, 7), стратиграфической колонке (рис. 8) и тектонической схеме (рис. 5).

1.2. Магматизм

На площади юго-восточного Беломорья в настоящее время достоверно известны несколько типов разновозрастного магматизма: солозерский и войозерский трапповые комплексы, комплексы щелочно-ультраосновного (Зимнебережный и Ненокский) и основного (Пинежский) магматизма (рис. 6, 7). Кроме того, исследователями, занимавшимися интерпретацией потенциальных полей, выделяются магматические тела в составе фундамента (Кутинов, Чистова, 1987 а; Кутинов, Чистова, 1987 б) и осадочного чехла (Кутинов, Чистова, 1987 б; Чистова и др., 1990) по геофизическим данным.

Рифейские погребенные траппы, известные как солозерский комплекс, представлены пирокластическими эффузивными породами, вскрытыми в Онежском грабене на глубине 600—735 м среди среднерифейских осадочных и вулканогенно-осадочных пород солозерской свиты. Представлены секущими крутопадающими телами и покровами толеитовых базальтов и долеритов. В верхней части разреза встречены два секущих крутопадающих тела базальтов мощностью 0,7 и 6,5 м с прямолинейными контактами под углом 25—30°. В нижней части разреза — шесть покровов массивных разностей базальтов и долеритов мощностью от 0,2 до 33 м и один — своеобразных туфоагломератов. Контакты покровов — горизонтальные и слабослоистые. Петрографически породы представлены типичными толеитовыми базальтами и долеритами. Возраст базальтов по калий-аргоновому методу составляет 1300 млн лет (Гриб, 1986).

Вендские траппы весьма характерны для западной части Восточно-Европейской платформы, составляя значительную часть волынской серии. На территории юго-восточного Беломорья отложения волынской серии в разрезе венда отсутствуют и проявления вулканизма этой возрастной группы неизвестны (Гриб, 1986). Однако в пределах Войозерско-Унского прогиба фундамента был вскрыт покров толеитовых кварцевых долеритов мощностью 65,4 м с мощным подводным каналом. Они залегают на аргиллитах устьпинезской свиты и перекрыты с разрывом конгломератами и аргиллитами той же свиты. Возраст пород свиты по глаукониту в песчаниках определяется в 600 млн лет. На основе изучения потенциальных полей авторы неоднократно указывали на более широкое распространение магматических тел в отложениях венда (Кутинов, Чистова, 1987 а, 1987 б). В последние годы на территории Зимнего берега был установлен комплекс вулканогенных пород в разрезе мезенской свиты венда (Шукин и др., 2002). Комплекс сложен практически всеми главными структурно-генетическими типами вулканических пород: эффузивными (лавами и лавобрекчиями); вулканокластическими и осадочно-вулканокластическими (туфами и туффитами); вулканогенно-осадочными (туфоалевролитами). Породы близки к различным производным магматического расплава известково-щелочного лампрофира типа минетты. Вулканыты характеризуются высокой степенью вторичных изменений и устойчивым парагенезисом первичных минералов. Возраст магматитов

по лазерному U-Pb методу по циркону оценивается в 570 ± 8 млн лет (Шукин и др., 2002).

Ненокский комплекс щелочно-ультраосновных пород представлен трубками взрыва, локализованными на сравнительно небольшой площади, приуроченной к северо-восточному борту Онежского грабена. Буровыми работами вскрыты 30 тел (Чистова, 1991), прорывающих песчано-аргиллитовые отложения венда. Трубки перекрыты четвертичными отложениями мощностью от нескольких метров до 70—80 м. Морфология тел изучена недостаточно. В плане трубки, как правило, округлой, эллипсовидной или неправильно-изометричной формы. Контакты с вмещающими породами крутопадающие, четкие, тектонические. В зоне экзоконтакта отложения усть-пинезской свиты венда брекчированы и интенсивно трещиноваты на расстоянии до 40 м от контактов. Выполнены трубки автолитовыми брекчиями мелилититовых пикритов.

Для диатрем характерна сложность и многофазность образования. Исследования, проведенные на трубке Болванцы, показали, что она формировалась в четыре этапа. Методами термомагнитного и термолюминисцентного анализа в истории развития комплекса выделено не менее четырех фаз активизации (Выручаев, 1987). Установлены два типа пространственного размещения тел: линейные цепочки субмеридионального простирания и локальные относительно изометричные участки (Чистова, 1991).

По находкам в автолитовых брекчиях древесины высших растений их возраст определен как поздний девон-ранний карбон (Саблуков, 1984).

Зимнебережный комплекс щелочно-ультраосновных пород представлен кимберлитами, кимберлитопикритами, щелочных пикритами, пикритами, образующими единый непрерывный ряд. Они образуют трубки взрыва и слагают субгоризонтальные пластообразные тела — силлы (Архангельская алмазоносная..., 1999). Широкое развитие последних является характерной особенностью Зимнебережного района. Вмещающими породами для образований комплекса являются терригенные отложения венда.

Более детально изучены трубки взрыва, являющиеся основными поисковыми объектами. Тела формируют цепочки субмеридионального простирания или компактные участки площадью до 10 км². Диаметры имеют в плане различную форму — изометричную, эллипсовидную с извилистыми очертаниями, с разным соотноше-

нием длинной и короткой осей (от 0,27 до 1,0), реже гантелевидную. Известны также сближенные трубки, когда расстояние между ними меньше или равно размерам самих объектов. Размеры диатрем на уровне эрозионного среза весьма изменчивы от 0,05 км² (тр. 407) до 1,70 км² (тр. 772).

Гистограмма распределения площади тел (Белов, 1991) показывает, что доля мелких тел в общей генеральной совокупности весьма значительна (рис. 9). Средний размер тел составляет 0,58 км², дисперсия -0,013 км². Форма трубок преимущественно изометричная или близкая к ней, реже удлиненная (тр. 120 б) или дайкообразная (тр. 772). Гистограмма и аппроксимирующая кривая распределения коэффициента удлинения трубок Зимнебережного района представляет собой практически идеальное распределение по нормальному закону. Об этом свидетельствуют значения коэффициента асимметрии ($A=0,069$) и эксцесса ($E=0,84$).

Среднее значение величины распределения $a/l=0,559$ при дисперсии $\pm 0,1$. Контакты с вмещающими породами четкие, резкие. Падение контактов изменяется с глубиной от 10—15° в приповерхностной части до 80—85° на глубинах 100 и более метров. Отмечаются механические контактовые воздействия пород на вмещаю-

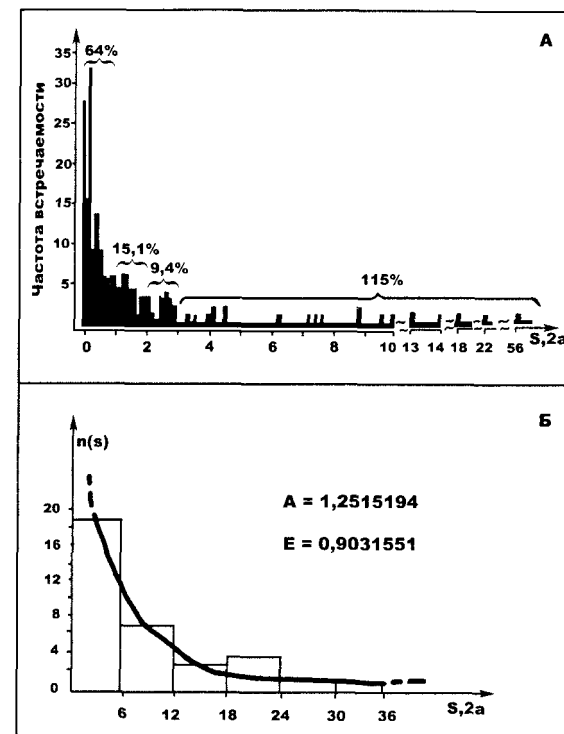


Рис. 9. Гистограммы частот встречаемости кимберлитовых трубок с различными размерами площадей сечения: А — мира (Кимберлиты..., 1990); Б — юго-восточного Беломорья (Белов, 1991)

щие отложения венда (повышенная трещиноватость), образование брекчий осадочных пород, а также на попавший в них ксеногенный материал. Термальное и химическое воздействия кимберлитов и пикритов на вмещающие породы и ксенолиты сравнительно невелики. Так во вмещающих породах они прослеживаются только на удалении первых метров от трубок. Это слабое окварцевание, карбонатизация основной массы вмещающих пород, реже сеть прожилков карбоната, чаще всего осветление или обеление пород (Архангельская алмазоносная..., 1999).

Возраст трубок определен как позднедевонский-среднекаменноугольный. Нижняя возрастная граница датируется на основании углефицированных остатков древесной растительности, а верхняя — по возрасту перекрывающих отложений (Саблуков, 1995). Хорошо сохранившиеся на многих трубках взрыва туфогенно-осадочные толщи, широкое развитие сапонита, зон окварцевания и монтмориллонита указывают на слабое развитие эрозионных процессов. Максимальный эрозионный срез на некоторых трубках достигает только 100 м, что обусловило незначительное поступление алмазов в промежуточные коллекторы, отложения урзугской свиты среднего карбона, образования четвертичного возраста (Кутинов, 1992; Чистова, 1996).

В целом трубки взрыва можно разделить на две группы по количеству фаз внедрения — однофазные и многофазные. Первая группа, представленная магматическими телами с одной фазой внедрения, характеризуется небольшими размерами (в среднем 200 x 300 м), относительно высокой магнитной восприимчивостью и интенсивностью магнитных аномалий, слабой продуктивностью. Сложены эти тела в кратерной части туфогенно-осадочными и туфогенными отложениями, в жерловой — ксенотуфобрекчий.

Вторая группа объектов характеризуется несколькими фазами внедрения. Так же, как и у первой группы, кратерная фация представлена туфогенным и туфогенно-осадочным материалом, жерловая сложена ксенотуфо- и автолитовой брекчиями, а также порфировым кимберлитом в низах разреза. Для трубок второй группы характерны более высокая продуктивность, относительно большие размеры, низкая магнитная восприимчивость (Чистова, 1996) и интенсивность аномалий магнитного поля.

Региональной особенностью кимберлитовых пород района является их зараженность терригенным кварцем. Его источником

являются вмещающие толщи венда и кварцсодержащие образования фундамента. Доля кварца в составе кластической части туфобрекчий достигает 50—70% ее объема (Соболев, 1991).

Другой региональной особенностью является ведущая роль сапонита среди постмагматических минералов.

В результате обобщения материалов общеминералогического изучения кимберлитовых брекчий установлено, что во всех разновидностях пород, вследствие глубоко зашедших процессов вторичных изменений, роль породообразующих играют минералы легкой фракции (Соболев, 1991). Средний выход тяжелой фракции варьирует от 0,69 до 1,80 кг/т; от 1,33 до 4,58 кг/т и от 1,27 до 5,01 кг/т в автолитовой брекчии, ксенотуфобрекчии и туфах и туффитах соответственно, причем повышенные содержания тяжелой фракции обуславливаются либо ксеногенными, либо постмагматическими минералами.

Формация кимберлитов представлена тремя минералого-петрохимическими типами: магнезиально-глиноземистыми, магнезиально-глиноземисто-титанистыми и магнезиально-железистыми, для каждого из которых характерна определенная ассоциация минералов — спутников алмаза (Архангельская алмазоносная..., 1999). Ряд исследователей выделяет две петрохимические серии, названия которых менялись по мере детализации исследований: титано-железистая и глиноземистая (Саблуков, 1990); кимберлиты I и II групп по аналогии с кимберлитами Южной Африки (Парсадян и др., 1996), кимберлиты Восточной и Западной Групп (Mahotkin et al. 2000).

Под собственно кимберлитами подразумеваются существенно оливиновые (перидотитовые) породы, в которых оливин составляет основную часть порфировых выделений и микролитов основной массы при подчиненном положении слюдистых минералов. Содержание минералов-спутников колеблется от нескольких г/т в магнезиально-глиноземистых кимберлитах до кг/т в магнезиально-титанистых.

В результате изучения алмазоносных пород трубок установлено, что в петрографическом отношении они — типичные образования кимберлитовой формации (Соболев и др., 1983). Изучение петрохимических особенностей кимберлитов показало, что содержание показательных окислов в них (FeO , TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3) в целом близко к содержаниям этих элементов в кимберлитах других Районов. Значительные вариации содержаний SiO_2 , MgO , K_2O и

Na_2O обусловлены вторичными изменениями и засоренностью брекчий ксеногенным материалом пород чехла.

По содержанию элементов-примесей кимберлитовые брекчии сопоставимы с типичными кимберлитами Якутии и отличаются от них лишь заметно пониженными содержаниями тантала, что, по мнению И. П. Илупина, отражает специфику района.

Характерной чертой всех промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел оказалось исключительно низкое содержание индикаторных минералов кимберлитов (≤ 100 г/т), среди которых хромшпинелиды преобладают над суммой остальных минералов, а соотношение пиропов и хромдиопсидов близко к 1:1, пиропы преобладают над пикроильменитами, а флогопит имеет пониженные содержания Al_2O_3 , $\text{FeO}_{\text{общ}}$, Ва, F и по составу перекрывается со слюдами лампроитов (Архангельская алмазоносная., 1999). Промышенно алмазоносные тела с таким спектром аксессуарных минералов в других районах неизвестны, что позволяет трактовать их как кимберлиты, отличающиеся на минеральном уровне от известных ранее промышленно алмазоносных кимберлитов центральных районов Якутии и Африки (Соболев, 1991).

Результаты исследований последних лет показали, что при сопоставлении кимберлитов Восточной Африки с кимберлитами Золотицкого поля отчетливо выявляется геохимическая специфика последних: слабое (в 2—10 раз менее интенсивное) обогащение редкими элементами, что позволило О. А. Богатинову (Богатинов и др., 2002) сделать предложение о выделении еще одного типа кимберлитов.

Для Зимнебережного района в пределах одного тектоно-магматического цикла характерна многоэтапность кимберлитового магматизма (Архангельская алмазоносная., 1999).

На первом этапе происходило внедрение интрузивных кимберлитов. Это отдельные силлы или серии тел (до 14 пластов в силле 734) мощностью от нескольких сантиметров до 29,5 м (силл 697), полого залегающие в толще вендских красноцветов, согласно с их напластованием.

На втором этапе происходило образование трубок взрыва вследствие прорыва к поверхности, обогащенной флюидами кимберлитовой магмы. Вокруг диатрем формировался вал выброса, сложенный как обломками вмещающих пород, так и глубинным магматическим материалом, который в дальнейшем не подвергался автометасоматозу и гидротермальной переработке, т. к. находился

вне диатремы. Полости диатрем заполнялись обломочным материалом разрушения вмещающих пород и продуктами кристаллизации магматического вещества. Ксенолиты вмещающих пород легко подвергались ассимиляции кимберлитовым расплавом, в свою очередь обогащая ее окислами кремния, алюминия, калия, железа.

Во II фазу формирования трубок взрыва происходило внедрение в ранее сформировавшиеся диатремы новых порций кимберлитового расплава. Здесь возникали условия для оттока газовой составляющей и тип внедрения уже близок к интрузивному и носит характер медленного подъема. Новые порции магмы выжимали материал ксенотуфобрекчий, формируя столбы автолитовых брекчий. Завершает II фазу образования даек автолитовых кимберлитов, рассекающих массу ксенотуфобрекчий (трубка 713), а также, возможно, и автолитовых брекчий.

В III фазу образования диатрем происходило внедрение новых порций кимберлитового расплава, носящих уже чисто интрузивный характер, вкрапленники минералов в них носят порфиновый характер. Порфиновый кимберлит, в свою очередь, выжимает ранее сформировавшийся материал, полностью заменяя нижнюю часть трубок. В завершении III фазы образуются внутритрубочные дайки порфинового кимберлита, рассекающие все ранее сформированные типы породы и достигающие иногда поверхности трубок (трубка 136 а юго-западная).

В результате изучения минералов-спутников установлено наличие ксенолитов потенциально-алмазоносных и алмазоносных дунитов, гарцбургитов, шпинельсодержащих перидотитов, равнозернистых гранатовых, ильменитовых и рутиловых лерцолитов и магнезиально-железистых пироксенитов, ильменитовых перидотитов, магнезиально-железистых эклогитов, алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов, дистеновых эклогитов, алмазоносных эклогитов, высокохромистых перидотитов (гарцбургитов), алмазоносных дунит-гарцбургитов, пироксенитов (верлитов, вебстеритов), средне-высокохромистых лерцолитов из графит-пироповой фации глубинности в магнезиально-глиноземисто-титанистых кимберлитах. Таким образом, выявляются следующие особенности: среди глубинных ксенолитов присутствуют породы двух магматических серий: магнезиально-глиноземистой и железисто-титанистой; большое содержание включений пород основного парагенеза рутилсодержащих эклогитов; присутствие среди пород магнезиально-

глиноземистой серии только пироповых гипербазитов и практически полное отсутствие шпинелевых разностей.

Для магнезиально-глиноземистых кимберлитов отмечается: среди глубинных включений присутствуют породы магнезиально-глиноземистой серии; присутствие среди магнезиально-глиноземистой серии шпинелевых разностей гипербазитов.

Эти данные позволяют сделать следующие предположения:

- 1) формирование магнезиально-глиноземисто-титанистых кимберлитов происходило из компактного, локального магматического очага, прорывающего комплекс высокоглиноземистых и высокотитанистых пироповых ильменит-содержащих глубинных пород;
- 2) для магнезиально-железистых кимберлитов характерна меньшая глубинность формирования по сравнению с магнезиально-глиноземистыми и магнезиально-глиноземисто-титанистыми кимберлитами.

Пинежский комплекс основных пород и по минералого-петрографическим, и по петрохимическим данным отнесен к базальтодолеритовой формации (Главатских, 1992). Породы представлены туфобрекчиями и туфами базальтов, выполняющими трубки взрыва, прорывающими толщу вендских отложений и перекрытых породами урзугской свиты среднего карбона.

1.3. Физические свойства пород

Характеристика физических свойств пород региона приведена на обобщенной литолого-физической модели (рис. 10), составленной в основном по результатам работ Новодвинской ГФЭ и НПО «Рудгеофизика» (Чистова, 1996 и др.).

Приведенные в разделе данные естественно не являются исчерпывающими и вследствие неравномерной изученности освещены с разной степенью детальности и достоверности. Следует отметить, что основная доля замеров приходится на площадь развития трубок Золотицкого поля и не исключено их отличие от параметров пород, развитых на площади исследований.

Анализ физических параметров показывает, что наиболее плотными, скоростными и высокоомными породами разреза являются породы архей-нижнепротерозойского кристаллического фундамента с плотностью ($\sigma_{пл}$) — $2,70 \text{ г/см}^3$, магнитной восприимчивостью (χ) — 9×10^{-5} ед. СИ, сопротивлением (ρ) — $3540 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, скоро-

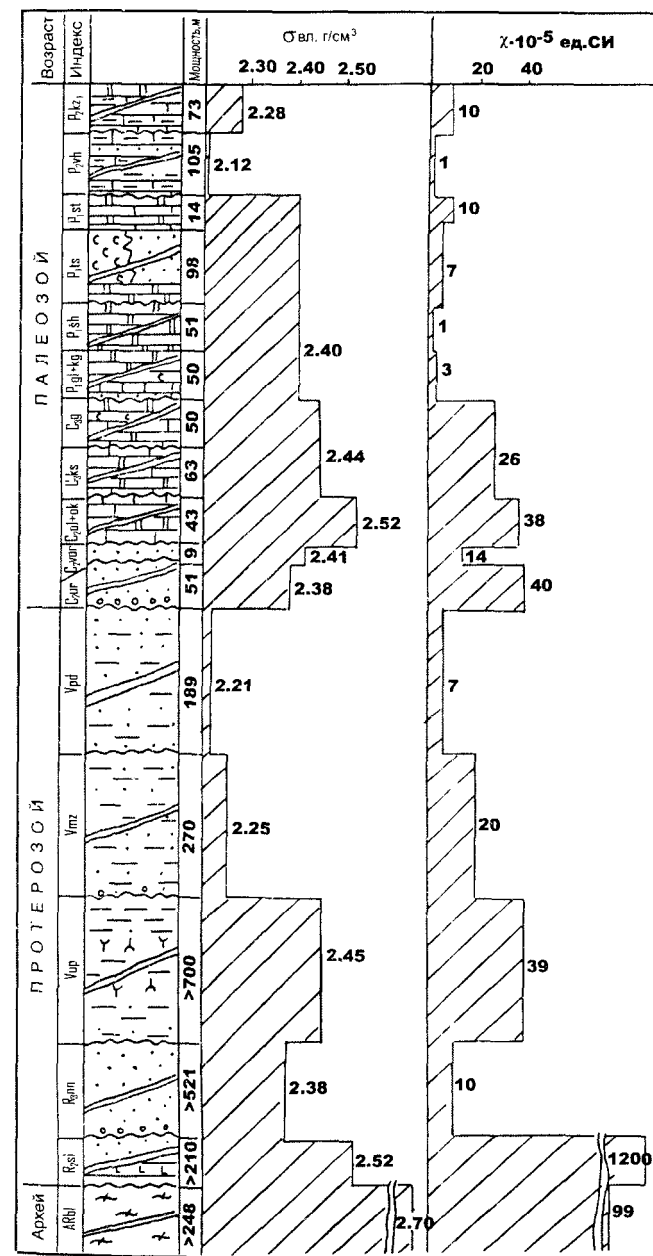


Рис. 10. Обобщенная литолого-физическая модель региона

стью $V = 5600$ м/с. Плотность пород меняется в широких пределах — от 2,60 до 3,16 г/см³. Минимальные значения присущи гранито-гнейсам ($\sigma_{\text{вн}} = 2,63$ г/см³), не исключено наличие в составе фундамента гранитов-рапакиви с $\sigma_{\text{вн}} = 2,52$ г/см³, на что указывают данные моделирования по Онежскому полуострову (данные Новодвинской ГФЭ), значение магнитной восприимчивости для гранито-гнейсов составляет 25×10^{-5} ед. СИ, для амфиболитов 120×10^{-5} ед. СИ, средняя скорость — 5600 м/с.

Все остальные нечетко выраженные границы раздела играют подчиненную роль и не оказывают существенного влияния на характер потенциальных полей.

В то же время, учитывая значение тектонических дислокаций для поисков кимберлитовых тел, а также то обстоятельство, что осадочные породы являются вмещающими и перекрывающими для трубок взрыва, значение промежуточных границ в разрезе осадочных пород и их собственные петрофизические параметры нуждаются в детальном анализе.

Песчано-алеврито-аргиллитовая толща венда является слабо или практически немагнитной (χ обычно не превышает 5×10^{-5} ед. СИ) и слабо дифференцированной в плотностном отношении. Повышенная магнитная восприимчивость ($\chi = 452 \times 10^{-5}$ ед. СИ) отмечается у алевролитов усть-пинезской свиты.

К кровле усть-пинезской свиты приурочена нерезкая петромангнитная и более отчетливая плотностная границы.

Вышележащие отложения палеозоя характеризуются большей дифференцированностью: с их подошвой совпадает довольно резкая плотностная ($D_a = 0,15\text{—}0,17$ г/см³) и магнитная ($\chi = 33 \times 10^{-5}$ ед. СИ) границы. На контакте терригенных и карбонатных отложений карбона (кровля усть-пинезской свиты) также отмечается скачок плотности. Далее вверх по разрезу плотность пород варьирует в относительно небольших пределах при среднем значении 2,42 г/см³; некоторым повышением магнитной восприимчивости и плотности отмечается нерасчлененная толща подольского и мячковского горизонтов.

Обобщенный геоэлектрический разрез территории в первом приближении можно рассматривать как двуслойный в западной части и трехслойный по площади развития палеозойских пород. Нижний геоэлектрический горизонт, объединяющий терригенные отложения венда, характеризуется как достаточно низкоомный

(рис. 10), в составе которого выделяются геоэлектрические слои. Основная граница раздела слоев венда приурочена к контакту падунской и мезенской свит. Первый геоэлектрический слой соответствует отложениям золотицких слоев падунской свиты (Vz1), его удельное сопротивление варьирует в широких пределах от 22 до 3970 Ом х м при среднем — 140 Ом х м.

Второй геоэлектрический слой приурочен к отложениям мезенской и усть-пинезской свит. Средняя величина удельного электрического сопротивления составляет 40 Ом х м, вариации от 14 до 67 Ом х м. По результатам каротажа КС он подразделяется на две толщи со средними $\rho_{\text{к1}} = 15$ Ом х м и $\rho_{\text{к2}} = 6$ Ом х м (по лабораторным измерениям $\rho_{\text{к1}} = 40$ Ом х м, $\rho_{\text{к2}} = 25$ Ом х м), относящимися к мезенской и усть-пинезской свитам соответственно.

Вышележащий геоэлектрический горизонт объединяет породы палеозоя, удельное сопротивление которых оценивается в сотни омметров и повышается по мере возрастания доли карбонатных пород. На контакте терригенных и карбонатных отложений карбона отмечается скачок удельного электрического сопротивления в сторону увеличения.

Четвертичные отложения характеризуются пестрым литологическим составом и невыдержанностью по мощности и соответственно широким диапазоном изменения физических параметров. Так, плотность колеблется от 1,40 до 2,70 г/см³, магнитная восприимчивость и удельное сопротивление от первых единиц до 4981×10^{-5} ед. СИ и 800 Ом х м соответственно.

Глава 2

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ: ОБОБЩЕНИЕ И КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

За последние десятилетия прошлого века на территории Архангельской алмазоносной провинции высокоточными аэромагниторазведочными работами выявлено большое количество локальных магнитных аномалий (ЛМА). В результате обнаружено более 50 тел (в т. ч. и промышленно алмазоносных), чем убедительно доказана высокая поисковая эффективность метода в геологических условиях отдельных частей региона на первом этапе исследований. Тем не менее еще в конце 80-х — начале 90-х годов наметился кризис эффективности геофизических методов при поисках кимберлитовых тел. Так, если на начальной стадии работ процент обнаружения трубок взрыва колебался в пределах 8,0—15,8% от общего количества разбуренных аномалий, то к середине 90-х годов он уже составлял менее 1,2% и неуклонно снижается.

Такое положение обусловлено несколькими причинами: а) сложным геологическим строением региона; б) игнорированием системного подхода при поисках трубок взрыва; в) изменением характеристик искомым объектов в процессе работ на новых территориях; г) изменением параметров вмещающей среды.

Все это требует тщательного анализа и обобщения имеющихся фактических данных.

В процессе исследований возник разрыв между региональным мелко- и среднемасштабным прогнозированием и поисками кимберлитовых тел. Для алмазов наиболее явной является их преимущественная связь с кимберлитами и лампроитами, представляющими собой специфические магматические образования. Встречаются они в виде сравнительно небольших тел (дайки, силлы, трубки), которые обычно образуют пространственно сближенные скопления, называемые полями, узлами или кустами. Таксоны более крупного ранга до сих пор не приобрели структурных очертаний и различными исследователями оконтуриваются по-разному (Серокуров, Калмыков, 1994). Поэтому в практике главенствуют

остается метод поисков вблизи уже открытых трубок (принцип «руда у руды») и, как следствие, увеличение объемов высокоточных крупномасштабных аэромагниторазведочных работ (сплошное закрытие территорий). Эти методы, относительно рациональные при детальных работах или достаточно однородном геологическом (особенно петрофизическом) строении, не являются эффективными при региональном прогнозе и приводят к значительным материальным и временным затратам при обнаружении новых полей. Достаточно убедительным доказательством этому являются результаты работ как в Архангельской, так и в Якутской алмазоносных провинциях.

Для повышения надежности прогнозно-поисковых комплексов необходим переход от сокращенной поисковой схемы к развернутой, с выделением для каждой стадии работ конкретных промежуточных объектов. Под ними авторы понимают конкретные условно-однородные геологические образования, выделяемые в соответствии с масштабом исследований.

При таком подходе объект как система, взаимодействуя с другими объектами, при определенных условиях становится элементом более сложных систем, т. е. в геологическое изучение вовлекается иерархия систем (Бродовой, 1984; 1994).

На всем протяжении геологоразведочного процесса необходимо последовательно и взаимосвязано исследовать иерархический ряд моделей рудных объектов: провинция, пояс (область), район, рудоносная зона, узел, рудное поле, месторождение, рудная залежь (Бродовой, 1984). Применительно к минерагеническим таксонам кимберлитов этот ряд, по нашему мнению, выглядит следующим образом: провинция, субпровинция, пояс, район, рудное поле, куст (или узел), месторождение, рудное тело (Чистова, 1996; Чистова, Кутинов, 1997). В большинстве случаев для кимберлитов два последних таксона совпадают. Основные геолого-геофизические характеристики таксонов кимберлитового магматизма более подробно рассмотрены ниже (гл. 3).

Комплексная интерпретация геофизических материалов прямо или косвенно основана на определенных модельных представлениях об объекте исследований. Каждый цикл интерпретации должен начинаться с создания и анализа исходной модели и завершаться формированием более совершенной. Таким образом, методика поисковых работ, методы выделения аномалий и их анализа тесно

увязаны с процессом моделирования объекта. Правильный выбор совокупности физических полей и способов их анализа обеспечивает надежность геологических заключений на всех стадиях поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

По мнению А. А. Никитина (1987), комплексирование — сложная многоплановая проблема. Успех определяется в значительной степени опытом и интуицией исследователя в конкретном районе. Неоднозначность значительно снижается при правильном выборе объектов моделирования.

Комплексирование необходимо, с одной стороны, для однозначного решения обратных задач геофизики по определению природы аномалий физических полей (качественная неоднозначность) и по оценке количественных параметров (количественная неоднозначность), с другой стороны — для получения сведений обо всех элементах геологического строения.

При этом моделирование в определенной мере позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант методики обработки и интерпретации данных, осуществлять районирование физических полей, определять методы и способы их фильтрации, качественной и количественной интерпретации, устанавливать критерии истолкования геологической природы аномалий, геофизические признаки трубок взрыва, оценивать достоверность результатов и эффективность выполненных работ.

Исходя из вышеизложенного, нами в данной главе помимо вопросов структурного контроля кимберлитового магматизма наиболее детально анализировались методика выделения и интерпретации аномалий, применявшиеся приемы моделирования, их связи между собой и выбором методов исследований.

2.1. Вопросы структурного контроля и локализации кимберлитового магматизма

Среди нерешенных проблем изучения кимберлитового магматизма наиболее дискуссионны вопросы структурного контроля локализации таксонов кимберлитового магматизма. Признавая исключительную приуроченность последних к древним платформам, исследователи значительно расходятся в вопросе о главнейших факторах локализации кимберлитов. В решении этой проблемы намечились две методологические линии, отражающие соответствен-

но идеи новой глобальной тектоники и принципы классической геологии.

Схемы, объясняющие закономерности пространственного размещения кимберлитов в земной коре с позиций неомобилизма, еще слабо разработаны, хотя есть и определенные успехи. Подчеркивая определяющую роль эндогенных источников энергии в геологических процессах, они вместе с тем не содержат еще достаточно конкретных разработок по типизации форм структурного контроля кимберлитовых тел (Кимберлиты..., 1990). Так, при анализе с этих позиций взаимоотношений пород различных магматических ассоциаций плато Колорадо О. Л. Андерсон и П. К. Перкинс (1975) пришли к выводу об отсутствии причинно-следственных связей между их появлением в земной коре и механизмом плитной тектоники. Появление кимберлитовых пород они рассматривают в этой связи как случайное явление (плюмаж над «горячими точками»).

Г. С. Гусев с соавторами (1982) попытались подтвердить гипотезу тектоники плит конкретным примером при объяснении закономерностей размещения кимберлитовых тел на северо-востоке Сибирской платформы. Линейное распределение их в бассейне р. Оленек они интерпретировали с позиций механизма «горячих точек», приняв при этом, что в направлении с юго-запада на северо-восток возраст кимберлитовых тел в зоне постепенно омолаживается. Несоответствие принятых условий геологическим фактам (Кимберлиты..., 1990) привело к тому, что гипотеза не нашла поддержки.

В ином плане для объяснения контроля кимберлитов Западной Африки использованы положения тектоники плит С. Е. Хаггерти (1979). Он связывает проявления кимберлитов с рифтовой активацией части домезозойских шовных зон.

Идею зарождения и проникновения в земную кору кимберлитовых магм в результате столкновения плит отстаивает У. Шарп (1974). Согласно его представлениям, внедрение кимберлитов является прямым следствием тектоники плит и связано с активностью на самых глубоких горизонтах. Предполагается, что кимберлитовые трубки возникли во время столкновения плит и в ряде регионов или уже разрушены эрозией, или еще не обнажились. Зоны кимберлитовых трубок и даек, по мнению У. Шарпа, пространственно должны быть ориентированы подобно вулканам островных Дуг и параллельно разновозрастным складчатым поясам, ограничи-

вающим древние платформы. Сходных воззрений придерживается и О. Г. Сорохтин (1985). Пытаясь объяснить некоторые несоответствия положений тектоники плит и закономерностей размещения кимберлитов, рядом исследователей было высказано предположение о дрейфе магматических очагов в составе мантийного «якоря» (Хелмштед, Герни, 1997).

Наряду с перечисленными точками зрения получили развитие представления о достаточном многообразии структурно-тектонического плана и относительной выдержанности геотектонических условий проявления кимберлитового вулканизма с позиций классической геологии. Проявления кимберлитового магматизма связываются либо с определенными структурами осадочного чехла (Масайтис и др., 1975), либо со спецификой истории геологического развития платформы в фанерозое (Брахфогель, 1984). В основу таких построений положена идея о том, что кимберлитовый процесс является мгновенным в геологическом масштабе времени. Кимберлитовая магма зарождается на глубинах 100—300 км и очень быстро поднимается в верхние горизонты коры. Сами кимберлитовые тела рассматриваются только как трубки взрыва (Милашев, 1984). С этих позиций кристаллическому фундаменту платформы отводится роль пассивной «брони», которую пробивала кимберлитовая магма.

Однако существуют геологические, петрографические и минералогические данные, свидетельствующие о том, что процесс образования кимберлитовой системы был весьма длительным (Никишов, 1984). Как установлено в результате анализа гравитационного поля Сибирской платформы (Духовской, 1984), процессы фанерозойского кимберлитобразования шли по подготовленным докембрийским структурам кристаллического фундамента. Так, в частности, исследования глубинного строения земной коры в районе распространения кимберлитов в провинции Саскачеван показали наличие глубинных неоднородностей, прослеживаемых до глубины 400 км (Лехи, Тэйлор, 1987).

Среди схем структурного контроля кимберлитов, разрабатываемых с позиций классической тектонической школы, известны варианты, основу которых составляют главным образом планетарные закономерности. Наибольшей стройностью, законченностью и ортодоксальностью среди этой группы гипотез отличаются представления М. Бардэ (1974), который проанализировав характер статистического распределения кимберлитовых тел в Южно- и Западно-

Африканской провинциях, пришел к выводу о существовании двух кимберлитоконтролирующих диагональных систем, совпадающих с планетарной сеткой разломов. Автор считает, что выделенные им тренды — это глубинные разломы, и результаты его исследований согласуются, таким образом, с положениями ротационной гипотезы.

С разломами платформенной системы связывают закономерности размещения кимберлитов и многие отечественные исследователи. В отличие от М. Бардэ, они выделяют в Якутской провинции конкретные кимберлитоконтролирующие зоны разломов.

Имеются попытки объяснить закономерности размещения кимберлитов в земной коре с позиций гипотезы подкорковых конвекционных течений. Имеющиеся представления о региональных глубинных факторах локализации кимберлитов, условиях их образования базируются главным образом на анализе мелко- и среднемасштабных полей и небольшом числе профилей глубинного сейсмического зондирования. Поэтому все построения носят, как правило, гипотетический характер. Однако не вызывает сомнения, что глубинные факторы играют достаточно важную роль в локализации щелочно-ультраосновного вулканизма. Этот вывод признается практически всеми исследователями. Полученные по Якутской алмазонасной провинции сведения (Никулин, 1990) позволяют отметить: а) приуроченность месторождений алмазов к высоко зрелой по флюидному режиму, истощенной в отношении легкоплавких элементов литосфере, глубоко эродированной еще в докембрии; б) прямую корреляцию времени консолидации цоколя платформ с возрастом алмазов и его спутников; в) «холодное» состояние алмазонасных горизонтов мантии, установленное по древним коэситсодержащим ксенолитам; г) наличие высокобарной минерализации, в т. ч. пиропов в «вязких» базальтоидных магматитах алмазонасных районов; д) факты проявления у подошвы земной коры алмазонасных районов региональных сейсмических волновых (Клименко, Митюхин, 1985), электромагнитных (Суворов и др., 1983) и гравитационных (Поспеев, Никулин, 1980) неоднородностей, интерпретируемых как поднятие эвстатическими Движениями термогравитационной конвекцией линзы протокимберлитового субстрата. Эти данные приводят к непротиворечивому выводу о совокупности тектоносферных процессов, в т. ч. раннедокембрийского алмазообразования и перемещения продуктивного субстрата вплоть до сиалической коры.

В. А. Милашев считает (1979; 1984 а; 1984 б; 1990), что конвекционные течения в мантии сопровождались отделением порций магмы, проникавшей к границе с земной корой, где образовывались линзовидные очаги. Последние оказывали базифицирующее действие на низы коры, в результате которого на таких участках поверхность *Мохоровичича* воздымалась. Размеры линзовидного очага определяют размеры провинции. При этом проникновение отдельных порций магмы в земную кору во времени начинается от центра линзы и распространяется с определенной скоростью (по мере растекания расплава) к периферии. Таким образом, в приповерхностных горизонтах земной коры конкретные провинции имеют концентрически-зональное строение: в центре находятся наиболее древние алмазонасные тела, а к периферии — все более молодые неалмазонасные. В этих работах также рассмотрена схема структурного контроля индивидуализированных кимберлитовых полей. По его мнению, они приурочены к ограниченным блокам земной коры, обладающим изотропной ориентировкой тектонической трещиноватости.

Некоторой модификацией предыдущей схемы являются построения П. Ф. Иванкина с соавторами (1980), в которых структурный контроль кимберлитов ставится в прямую связь с глубинными абиссалитами, проникающими в низы коры. В отличие от глубинных «магматических» линз В. А. Милашева, представляющих собой очаги только для щелочно-ультраосновных и собственно кимберлитовых пород, абиссалиты указанных исследователей контролируют щелочно-ультраосновной, кимберлитовый, щелочно-базальтоидный и трапповый магматизм. Соответственно этому вместо концентрически-зонального строения провинции в данном варианте принимается ее блоковое строение. Подразумевается, что блоки формируются в результате неравномерной базификации коры. Каждому крупному блоку специфической базификации соответствует район кимберлитового магматизма. Сходных позиций придерживается А. А. Духовской (Духовской и др., 1986), который на основе комплексных геолого-геофизических исследований пришел к выводу, что практически все 18 продуктивных полей кимберлитов приурочены к Анабарскому мегаблоку фундамента с салически-мафическим составом. Последний рассматривается им как глобальная кимберлитоконтролирующая структура Сибирской платформы, соответствующая Якутской кимберлитовой провинции,

В результате выполнения гравиметрической съемки масштаба 1:200000, аэромагнитной — масштаба 1:50000 и ГСЗ в пределах Якутской кимберлитовой провинции установлены устойчивые аномальные признаки наличия кимберлитовых полей (Временные методические указания., 1985). Ими являются изометричные по форме, совмещающиеся между собой в плане гравитационные и магнитные аномалии пониженных значений. Скоростные характеристики сейсмических волн (Суворов и др., 1983) позволяют предположить, что под кимберлитовым полем располагается внедрившийся в земную кору мантийный диапир. Впоследствии ультраосновные породы диапира, видимо, подверглись интенсивной серпентинизации, которая обусловила образование в верхней мантии и низах земной коры участков, характеризующихся пониженными скоростями упругих волн. Последние нашли отражение и в гравимагнитных полях в виде изометричных аномалий пониженных значений. В процессе исследования геологической природы этих аномалий изучались физические свойства ксенолитов из кимберлитовых трубок, представленных серпентинизированными ультраосновными породами. Было установлено, что образцы серпентинизированных ультрабазитов имеют пониженные значения плотности ($\sigma_{\text{ср.}} = 2,32 \text{ г/см}^3$) и магнитной восприимчивости. Эти данные подтвердили, что источником аномалий пониженных значений над кимберлитовым полем могут служить интенсивно серпентинизированные ультраосновные породы мантийного диапира.

Вопросы о глубинах зарождения и дифференциации кимберлитовых расплавов, неразрывно связанные с характерными особенностями магматических очагов и генезисом, являются предметом дискуссии на протяжении десятилетий. Существующие представления по этим вопросам подразделяются на две большие группы, каждая из которых включает несколько подгрупп. Согласно представлениям одной группы, кимберлитовые расплавы зарождаются в подкорковых глубинах планеты среди пород верхней мантии, где термодинамические условия обеспечивают кристаллизацию алмаза и пироба. Вторая группа объединяет гипотезы, согласно которым, поднявшись из подкорковых глубин или глубоких горизонтов земной коры, ультраосновные магмы эволюционируют и приобретают специфические особенности, обеспечивающие в дальнейшем возникновение из них кимберлитов в промежуточных очагах (Васильев и др., 1961; Трофимов, 1967). В этом случае одним из факторов

локализации кимберлитов является наличие промежуточных очагов в горизонтах земной коры.

Предполагаемая система аксиом и (или) выводов о глубинных факторах локализации щелочно-ультраосновного магматизма не является внутренне непротиворечивой, т. к. выводы из начальных посылок неоднозначны и допускают наличие альтернативных цепочек следствий. То есть на настоящий момент не доказано, что перечисленные выше факторы присущи только кимберлитовым провинциям и полям.

Анализ пространственного расположения алмазоносных и неалмазоносных кимберлитов на примере африканских алмазоносных провинций привел к установлению эмпирической закономерности, состоящей в том, что промышленно алмазоносные кимберлиты приурочены только к участкам пересечения региональными кимберлитоконтролирующими структурами архейских кратонов, а на участках пересечения ими подвижных поясов все кимберлитовые трубки неалмазоносные (Clifford, 1966; Dawson, 1970). Эта закономерность, известная под названием правила Т. Клиффорда (Clifford, 1966), распространяется, по мнению авторов, как на обнаженные архейские кратоны щитов, так и на погребенные под платформенным чехлом. Правило Т. Клиффорда не имеет строгого теоретического обоснования: по одной точке зрения (Clifford, 1966) она объясняется особым состоянием мантии под архейскими кратонами, по другой (Dawson, 1970) — разницей в «компетентности» пород кратонов и подвижных поясов. Согласно последней, образование кристаллов алмаза в кимберлитах осуществляется путем роста на мелких захваченных из мантии затравках за счет газообразных ювенильных углеводородов при подъеме расплава к поверхности, но не непрерывно, а стадийно, в сравнительно редкие моменты достижения сверхкритического давления, предшествовавшего каждому очередному прорыву расплава вверх. Вследствие высокой «компетентности» пород архейских кратонов их среда была благоприятной для достижения высоких давлений в развивавшихся трубках и дайках. Гнейсо-сланцевые комплексы подвижных поясов из-за широко развитой сланцеватости и напряженной тектоники таких условий не обеспечивали, и расплав подымался при давлениях ниже критического.

А. В. Синицын (1990) считает, что при любом объяснении эмпирическое правило Т. Клиффорда неизменно подтверждается в каждой новой провинции. При этом постулируется и обратная связь,

т. е. наличие алмазоносных кимберлитов, например на о. Калимантан, может служить признаком существования в таких районах глубоко погребенного архейского кратона.

Сходной позиции придерживается М. З. Глуховской (Глуховской и др., 1989), который считает, что продуктивные кимберлитовые поля имеют вполне определенную структурно-генетическую связь с нуклеарами древних платформ, т. е. кимберлитовые поля локализуются только в пределах нуклеаров — древних складчатых ядер земной коры, участков, характеризующихся наибольшей ее мощностью. Они, как правило, приурочены к внешним, наиболее подвижным частям нуклеаров, реже к центральным.

Некоторые исследователи связывают процессы кимберлитообразования с развитием авлакогенов (Масайтис и др., 1975; Фельдман, 1989) и континентальных палиорифтов (Цыганов и др., 1988 б; Crockett, Mason, 1988). В настоящее время трудно оценить правомерность гипотезы «рифтогенных» кимберлитов в целом, хотя пространственное совпадение наблюдается.

Сходных позиций придерживается К. О. Кратц (Основные проблемы..., 1990), считая, что в строении платформ существуют заложившиеся в архее «межи» и «поля», которые предопределили существенное различие их тектонической активности в течение всей последующей геологической истории. При этом «полям» отводится роль стабильных блоков, тогда как «межи» отличает высокий уровень магматизма и тектонической активности. А. С. Гринсон (1984) на основании исследований по Сибирской платформе считает, что для проявления кимберлитового магматизма в эксплозивной форме наиболее благоприятным является режим древнего континентального рифтогенеза, реликты структуры которого запечатлены в строении верхней части литосферы.

Часто применяемым критерием является приуроченность диатрем к бортовым частям («плечам») крупных авлакогенов, под которыми обычно понимаются линейные впадины, ограниченные крупными системами разрывных нарушений. По Якутии такой вывод сделан сотрудниками ВСЕГЕИ, такое же положение занимают трубки взрыва, обнаруженные в районе г. Жлобина в Белоруссии (Хомич и др., 1990). Здесь диатремы девонского возраста приурочены к северному борту крупного Припятского авлакогена.

Признавая исключительную приуроченность кимберлитового магматизма к древним платформам, исследователи значительно

расходятся в вопросе о главнейших факторах локализации кимберлитов. Не вызывает сомнения, что глубинные факторы разных иерархических уровней находят свое отражение в строении верхних частей коры, и в частности осадочного чехла.

Большой интерес для выявления условий образования кимберлитовых магм, путей проникновения и размещения их в земной коре представляют данные, базирующиеся на результатах кондиционных геологических, магнитометрических, гравиметрических и иных съемок и геолого-поисковых работ.

Уже на ранних этапах изучения особенностей проявлений кимберлитов в Южно-Африканской алмазоносной провинции был сделан вывод о ведущей роли разломов в их локализации. Эти представления были энергично поддержаны и исследователями кимберлитов Сибирской платформы. Большинство геологов придерживается мнения, что кимберлитоконтролирующие разломы развивались в участках сочленения долгоживущих положительных и отрицательных структурных элементов фундамента и чехла (Молчанов, Саврасов, 1985; Сарсадских, 1973; Трофимов, 1980; Шукин и др., 1972). Благоприятными структурами для проявления кимберлитов признаются палеозойские и мезозойские синеклизы, краевые части антеклиз, а также участки с пониженной или повышенной мощностью осадочного чехла платформ. Предполагается, что кимберлитоконтролирующие разломы имеют длительную историю развития и закладывались еще в протоплатформенный этап эволюции коры и впоследствии неоднократно подновлялись (Духовской и др., 1986; Францессон, 1968).

Многочисленные попытки, направленные на выявление комплекса поисковых признаков, характеризующих конкретные кимберлитоконтролирующие разломы фундамента и чехла, во многих случаях успеха не имели. Более того, по мнению некоторых исследователей, на Анабарской антеклизе (Милашев, 1984) и на Гвинейско-Либерийском щите (Владимиров и др., 1971) ориентировка сети разломов в фундаменте и направления зон кимберлитового магматизма не совпадают. Как правило, разномасштабные разломы выделяются за редким исключением по разнородным признакам: частью по физическим полям, частью по ориентировке длинных осей кимберлитовых тел либо путем трассирования воображаемых линий, объединяющих далеко отстоящие друг от друга кусты и поля (Кимберлиты..., 1990). Теоретическое объяснение этому факту най-

дено. В соответствии с представлениями А. В. Пейве (1956), глубинные разломы, проявляющиеся в архейских толщах линейными зонами интенсивных пластических деформаций, в верхних горизонтах коры и осадочном чехле будут лишь «просвечивать», так как по восстанию они постепенно расщепляются в верхних структурных этажах на серии более мелких разрывов. Наглядным подтверждением подобного механизма глубинных зон проницаемости для кимберлитовых расплавов служит структура Мало-Ботуобинского кимберлитового поля. По данным Ю. Д. Молчанова и Д. И. Саврасова (1985), кимберлитоконтролирующими здесь являются субмеридиональные закрытые разломы, которые постепенно затухают по восстанию.

Общей особенностью перечисленных схем структурного контроля кимберлитов является ярко выраженная тенденция объяснить причины зарождения кимберлитовых магм, их способ перемещения и распределения в земной коре единым всеобъемлющим механизмом, не зависимым от времени, места проявления и соотношений с другими типами тектонических процессов. Именно эта тенденция делает уязвимыми наиболее принципиальные позиции любой из них. По мнению Б. М. Владимировой с соавторами (Кимберлиты..., 1990), сам факт существования шести возрастных групп кимберлитов, охватывающих три механизма эволюции земной коры (мезопротозой, неопротозой, фанерозой), является веским аргументом против такого подхода. Особенно важен учет локальных неоднородностей при средне- и крупномасштабном прогнозировании, так как на этом уровне во внутреннем строении крупных геологических структур их различия начинают проявляться в большей мере, чем единство.

Анализ гипотез показывает, что во взглядах, зачастую взаимоисключающих, как на образование алмазов и кимберлитов, так и на факторы их локализации нет недостатка. Это связано, в первую очередь, с отсутствием обобщенной многофакторной модели алмазообразования в различных геодинамических режимах, что не позволяет с единых методических позиций подойти к решению многих вопросов прогнозирования. Прозвучавшие в одной из работ утверждения, что принципиальные вопросы прогноза кимберлитовых полей и более крупных таксонов на сегодняшний день могут считаться в основном решенными (Итоги научно-исследовательских..., 1990), по нашему мнению, до сих пор несколько прежде-

временны. Это подтверждается как результатами многочисленных прогнозных построений, так и отсутствием на настоящий момент общепринятого определения термина «кимберлитовое поле» и принципиальной схемы иерархического соподчинения и структурно-генетических связей между таксонами кимберлитового магматизма.

Тем не менее существует несколько признаков локализации кимберлитового магматизма, принимаемых большинством исследователей: а) наличие коро-мантийных неоднородностей в разрезе; б) приуроченность кимберлитов к геоблокам с определенной степенью базификации земной коры; в) пересечение разломов различных типов и рангов. Роль разломов в локализации кимберлитового магматизма прямо или косвенно признается практически всеми исследователями; г) глубинные факторы, на разных иерархических уровнях, находят свое отражение в верхних частях коры, и в частности осадочного чехла. Но образующиеся при этом структуры осадочного чехла обычно слабоконтрастные, трудно выявляемые, особенно в потенциальных геофизических полях; д) общей геотектонической закономерностью размещения кимберлитового магматизма является приуроченность его к крупным структурам, характеризующимся длительным медленным и устойчивым воздыманием.

Следует отметить, что наблюдается определенная повторяемость набора факторов на различных иерархических уровнях (от провинции до кимберлитового поля как минимум), т. е. существует не только прямая, но и обратная связь: в локальных рудоносных формах отражаются более крупные региональные признаки.

Закономерности пространственного размещения и генезиса кимберлитов до последних лет обсуждались, как правило, безотносительно к минерагеническим единицам областей эксплозивного магматизма, обычно лишь с географической привязкой площадей распространения или отдельных выходов этих пород. Между тем образование и локализация кимберлитовых провинций, полей и отдельных трубок взрыва обуславливались, возможно, принципиально различными по типу масштабными природными процессами.

По этой причине в одной из работ В. А. Милашев (1990) предлагает различать три категории факторов локализации, определяющих размещение кимберлитовых провинций, полей и диаграмм соответственно, а изучение геотектонических позиций, физико-химического режима, динамики, энергетики, стадийности образования каждого из разномасштабных объектов проводить по отдельности.

Все это требует детально разработанных формулировок, как таксономических единиц, так и модели алмазообразования в различных геодинамических режимах. Как показал анализ существующих точек зрения, наряду с признанием распространения кимберлитов исключительно на древних платформах имеются значительные расхождения в вопросах о главнейших региональных факторах локализации кимберлитов и, как следствие, отсутствие четких признаков разномасштабных кимберлитовых таксонов в геолого-геофизических материалах.

Не составляет исключения и Архангельская провинция. Все исследователи при прогнозировании полей кимберлитового магматизма используют в основном одни и те же критерии прогноза: структурно-тектонические, магматические и минералогические. Выделение перспективных участков проводят путем сравнения с уже известными полями кимберлитового магматизма, в первую очередь, Золотицким, как наиболее продуктивным, и полями Якутской алмазоносной провинции. Дальнейшая интерпретация полученных данных в той или иной мере основывается на тех материалах, которые имеются по всей площади: геопотенциальных полях, материалах космо- и аэросъемки. При этом слабо используются данные по геохимии и топоматериалам, за исключением редких работ (Кутинов, 1992; Главатских, 1992; Чистова, 1996). Изучение разносторонних взглядов и концепций дает возможность выделить наиболее общепризнанные и типичные особенности тектонических структур региона и некоторые основные закономерности размещения и локализации минералогических таксонов щелочно-ультраосновного магматизма Зимнебережного района.

Наиболее достоверным и широко применяемым на настоящий момент считается минералогический критерий, как прямое доказательство наличия алмазоносных объектов (Основные направления..., 1990). Однако результаты прогноза являются неоднозначными в силу широкого развития на площади водноледниковых образований и противоречивых представлений о возможности транспортировки материала ледником.

В группе структурно-тектонических критериев наиболее информативным считается развитие в районе разнонаправленных зон разломов, причем наиболее перспективными считаются узлы их пересечения (Кутинов, 1992; Чистова, 1996; Кутинов, Чистова, 1996).

Частью исследователей признается закономерной приуроченность кимберлитовых полей к кольцевым структурам различного ранга (Серокуров и др., 1992; Серокуров, Калмыков, 1994) и размера, отражающим глубинное строение земной коры и выделяемым на основании анализа геофизических полей, космо-аэрофотоматериалов и других геологических данных.

Некоторые авторы развивают идею о закономерной связи кимберлитового магматизма с авлакогенами (рифтогенными структурами), с приподнятыми бортами этих структур и с трансформными разломами, а также с приподнятыми блоками второго порядка, осложняющими строение грабенов (Фельдман, 1989).

Взгляды о принадлежности кимберлитов к кратонам древних платформ для Архангельской провинции развиваются А. В. Синицыным (1990), который в пределах региона выделяет в качестве перспективного только Зимнебережный кратон. В связи со скудостью прямых геологических наблюдений по фундаменту в качестве основного геолого-геофизического критерия для выделения кратонов указывается на мозаичный характер магнитных и гравитационных полей с отсутствием или малым количеством линейных элементов в потенциальных полях.

Рядом коллективов разрабатывались оригинальные концепции о закономерностях размещения кимберлитов. Согласно представлениям ПГО «Невскгеология» (Скороспелкин, 1990), кимберлитовая провинция с промышленно-алмазоносными кимберлитами должна пройти стадии нижнеархейской кратонизации с формированием парагенезиса ультраосновных пород, включающих алмазы, а значительно позднее в платформенный период развития — стадию тектоно-магматической активизации, способствующей перемещению алмазосодержащего субстрата к поверхности. Дополнительными признаками для провинции являются: мощная холодная литосфера с истощенной мантией, наличие рифтогенных систем определенного возраста, коро-мантийные сводовые воздымания, платформенный магматизм. Процессы байкальско-герцинской тектоно-магматической активизации связывают с субдукцией в северо-западной части мегакратона океанической плиты под континент. К признакам субпровинции относятся: региональные активизационные зоны разломов; активизированные сегменты авлакогенов; предкимберлитовый трапповый магматизм; возраст кимберлитов (установленный и предполагаемый). Под кимберлитовой областью

понимаются сочетания области активизированного пояса с авлакогеном и наличие мантийно-корового воздымания; признаками кимберлитового района являются пересечения «плечей» авлакогена с ветвями ослабленных зон активизированного пояса; поля — совмещение положительных морфоструктур с аномалиями повышенной плотности и изотропности мегатрещиноватости с внутренними выступами и «плечами» авлакогенов, а также наличие зон высокой проницаемости.

Было высказано также предположение, что кимберлитообразование на территории юго-восточного Беломорья происходило в результате процессов коллизии двух кратонов в Северо-Атлантическом регионе с максимумом активности в силуре (Малов, 2003). Этим же автором были предложены расчетные модели формирования трубок взрыва за счет процесса парообразования по механизму газлифта.

Геологи ЦНИГРИ (Основные направления., 1990; Фельдман, Олофинский, 1991) довольно успешно разрабатывали геолого-геофизическое обоснование кимберлитоконтролирующих поясов, а в их пределах — кимберлитовых полей.

Кимберлитоконтролирующие пояса тракуются как мобильно-проницаемые зоны раннедокембрийского заложения, длительно сохраняющие тектоническую активность и контролирующие разновозрастной кимберлитовый магматизм. В потенциальных полях пояса выделяются по среднечастотным линейным положительным (иногда отрицательным) аномалиям, характерно также повышение скоростных характеристик сейсмических волн. Кимберлитовым полям отвечают типовые грави-магнитные аномалии.

При выделении полей использовались и другие критерии (приуроченность к бортам авлакогенов, пересечение разломов, наличие мантийного диапира).

Таким образом, при исследовании критериев локализации кимберлитового магматизма Архангельской провинции практически все авторы в явной и неявной форме используют концепцию разломов. Практически все критерии базируются на сопоставлении данных с результатами исследований по Якутской провинции, т. е. тенденция выделения единых общих закономерностей явно доминирует над попытками выделить критерии, индивидуализированные для данного района. Не отрицая плодотворность такого подхода, хотелось бы отметить, что такие варианты решения в некоторых случа-

ях затрудняют выделение площадей, особенно на уровне кимберлитовых полей, узлов и отдельных тел. Выделение индивидуализированных критериев разноранговых таксонов кимберлитового магматизма важно в связи с тем фактом, что проявление щелочно-ультраосновного магматизма Африки и Сибири относится к Гондвано-Сибирскому типу, а Архангельской провинции — к Канадско-Русскому (Кимберлиты..., 1990; Милашев, 1990), отличающимися как историей развития, так и взаимоотношениями тектонических структур. Исследования изотопного состава кимберлитов и лампроитов показали наличие на диаграмме $eSr-eNd$ двух трендов (Богатиков и др., 2002). Один из них образован кимберлитами Золотицкого поля, Центрального Алдана и Северной Америки. Их источником была обогащенная мантия первого типа (ЕМ1). Источником кимберлитов II группы Южной Африки, лампроитов Австралии была обогащенная магма II типа (ЕМП). Различия кимберлитов и лампроитов северных и южных континентов проявляются и в возрастном интервале их формирования: в южном полушарии фиксируется два импульса алмазоносного магматизма — протерозой (1—2 млрд лет) и кайнозой (140—17 млрд лет), тогда как в северном — максимум фиксируется в нижнем и среднем палеозое (Богатиков и др., 2002). Причины этих различий, скорее всего, обусловлены гетерогенностью древней литосферной мантии южных и северных континентов, а также особенностями геодинамических режимов в разных геоблоках земной коры.

Все вышеуказанные закономерности локализации кимберлитового магматизма требуют наличия четких признаков, по которым можно уверенно классифицировать и выделять нуклеарные области, кратоны, подвижные пояса и зоны (авлакогены, палеорифты, зоны растяжения и т. п.), глубинные разломы, промежуточные камеры и другие элементы. Учитывая, что площадь исследования перекрыта осадочным чехлом, необходимы признаки их адекватного отражения в материалах грави- и магниторазведки, космофотосъемки или выделения в результате сейсмических построений, геохимии, геологической съемки. Все это требует точного и полного соответствия применяемых методик обработки. Противоречие, сложившееся между необходимостью расширения круга поисковых объектов и возможностью стандартных подходов, выдвигает на первое место комплексный иерархический подход к интерпретации наблюдаемых данных, а также совершенствование и поиск

новых интерпретационных подходов, с целью выделения количественных закономерностей в строении региона и закономерностей размещения щелочно-ультраосновного магматизма. Использование комплексного подхода с применением нестандартных методик и их сочетаний в интерпретации реализовано в данной работе.

2.2. Анализ достоверности выделения аномалий

Переходя к трубкам взрыва, как к основному поисковому объекту, следует отметить, что с 1983 г. по 90-е годы прошлого столетия по решению Координационного Совета Мингео СССР в юго-восточном Беломорье Новодвинской геофизической и 17-й экспедициями ГПП «Архангельскгеология», ПГО «Севзапгеология», НПО «Рудгеофизика», ЦНИГРИ и другими организациями проводились систематические исследования по совершенствованию поискового комплекса геофизических методов. Работы включали в себя опытно-методические и петрофизические исследования. Задачей последних являлась разработка физико-геологических моделей (ФГМ) кимберлитовых тел и аномалий-«помех».

Основные результаты работ рассмотрены в производственных отчетах вышеперечисленных организаций (в большинстве исследований НГФЭ авторы принимали непосредственное участие). Их коллективный опыт был обобщен во «Временных методических указаниях по комплексированию геолого-геофизических методов при поисках ... на севере Восточно-Европейской платформы» (утвержден Мингео СССР в 1987 г.). Принятый комплекс геофизических методов был ориентирован на поиски кимберлитовых тел по двум наиболее устойчивым признакам дифференциации их от вмещающих пород венда — повышением намагниченности и электрической проводимости. Ведущим поисковым методом в комплексе является аэромагнитная съемка масштаба 1:10000.

Исходным признаком выделения перспективного участка служит наличие локальной магнитной аномалии (ЛМА) «трубочного типа». Выделенная аномалия заверяется наземной магнитной съемкой масштаба 1:5000—1:10000 и (не всегда) комплексом электро-разведочных работ методами ЕЭМП, ДИМ или другими модификациями аналогичного назначения. Аномалии, выделенные после проведения наземных геофизических работ, проверяются бурением. Материалом для изучения физических свойств горных пород

являлся керн скважин. В поле силы тяжести трубки практически не выделяются.

В теории обнаружения сигналов доказывалось, что искомый сигнал может быть обнаружен на фоне помех при условии определенного различия амплитудных и частотных характеристик сигнала и помех. Искажение изучаемого поля за счет последних приводит к ошибкам выделения аномалий от трубок взрыва. Эти ошибки могут быть двух видов (Методические рекомендации..., 1986):

— ошибки первого рода (ложное обнаружение аномалии) возникают, если решение о наличии аномалии оказывается ошибочным и за аномалию принято отклонение поля, не связанное с искомым объектом;

— ошибки второго рода (пропуск аномалии) возможны в том случае, когда искомая аномалия существует, а принятое решение отрицает наличие аномалии, так как она не соответствует некоторым заранее установленным параметрам.

При решении большей части геологических задач, в частности при поисках кимберлитовых тел, более серьезна ошибка второго рода, из-за которой могут быть пропущены аномалии, связанные с месторождениями. Ошибка первого рода влечет за собой определенные экономические издержки (правда, весьма значительные), связанные с необходимостью проверки горно-буровыми работами аномалий, не обусловленных искомыми объектами. Обе эти ошибки тесно связаны между собой, и успехи при преодолении (или уменьшении количества одной из них) облегчают устранение второй.

С этих позиций были рассмотрены имеющиеся материалы. Вопрос о наличии или отсутствии аномалий обычно решался после выполнения трансформаций наблюденного поля с некоторыми оптимальными (по мнению исполнителей) параметрами. Однако в ряде случаев трансформация исходного поля приводит к искажению и даже потере аномалии, поэтому во всех случаях кроме анализа трансформированных данных необходимо проводить анализ наблюденного поля.

Принятая в Зимнебережном районе методика выделения и подготовки перспективных геофизических участков (ПГУ) обладает рядом недостатков. Локальная магнитная аномалия выделяется в результате использования осредненных значений наблюденного поля по профилю с «отрезком» осреднения 1 и 3 км (Чистова, 1996),

которые обычно вычислялись исходя из гипотезы залегания магнитных неоднородностей в кристаллическом фундаменте и в осадочном чехле.

Такой подход выделения ЛМА пригоден для обнаружения изометричных в плане тел, а также тел линейной формы (крутопадающих) при пересечении их профилями под углом близким к прямому. Аномальный эффект от тел другой формы может быть значительно искажен. В целом такая методика обработки данных ориентирована на выделение ЛМА, связанных с крутопадающими объектами изометричного сечения (типа «вертикального цилиндра»). Отсутствие трансформаций с осреднением по площади несколькими радиусами и фрагментов карт исходного поля часто не позволяет опознать реальный объект, с которым связана выделенная аномалия.

Такая методика обработки, в частности, приводит к тому, что в зависимости от соотношения амплитуды выделяемой аномалии, ее ширины и отрезка осреднения неизбежно появление в ее пределах сопряженных минимумов, не отражающих физическую природу локальных возмущений магнитного поля.

Однако в паспортах ПГУ локальные аномалии выделялись по контуру максимальных градиентов в ее положительной части без учета ложных минимумов. Контур участка наземных магниторазведочных работ обычно ограничивался областью упомянутых минимумов. Анализ совокупности геофизических материалов, послуживших основанием для выделения ПГУ первой очереди, показывает, что достаточно часто аномалия, фиксируемая в воздухе, по форме и интенсивности не соответствует аномалии, выделяемой по результатам детализационных работ. В пределах контура ЛМА наземными съемками часто фиксируется сложное высокоградиентное поле, источники которого находятся, как правило, на глубине 0—20 м и не могут создавать наблюдаемого в воздухе аномального эффекта.

Отсюда площадь детальных наземных геофизических работ масштаба 1:10000—1:5000 часто не выходит за пределы контура положительной части аэромагнитной аномалии, в связи с чем нередко остается впечатление отсутствия аномалии на поверхности. Таким образом, при наземной заверке магнитной съемкой зачастую изучаются фрагменты объекта, отмеченные изометричной аномалией. При несоответствии данных заверки реальный объект не устанавливается.

В результате изучения проблемы обнаружения аномалий от кимберлитов был опробован ряд способов, в которых отразились статистический и детерминированный подходы к решению задачи поиска сигнала (аномалии от трубочных тел) на фоне сопоставления с ними помех. Зная параметры искомым и мешающих аномалий, в принципе можно найти оптимальные с точки зрения выделения искомой аномалии преобразования поля.

Наибольшее распространение получил метод осреднения («отрезком» в аэромагнитной съемке и «окном» при наземных магниторазведочных работах). Метод осреднения является одним из частотных фильтров, т. е. эффективность его применения зависит от степени различия параметров искомой и мешающей аномалии. Частотные характеристики определяют в основном ширину аномалии и, в меньшей степени, ее форму (Методические рекомендации..., 1986). В связи с этим очевидна необходимость применения метода, в котором бы полнее использовались все характеристики аномалий.

При выделении ПГУ второй очереди использовался ряд критериев, среди которых основными являлись локальность, изометричность (соотношение осей не более 1:3—1:4) и интенсивность аномалий.

Предпочтение отдавалось изолированным одиночным аномалиям, приуроченным к участкам спокойного магнитного поля или региональным аномалиям, для которых менее вероятна их связь с четвертичными отложениями. Естественно, в первую очередь передавались аномалии-«лидеры» (наиболее интенсивные по амплитуде в данном районе). Иногда в качестве дополнительных использовались критерии структурно-геологического плана, такие как приуроченность по расчетным глубинам залегания к кровле отложений венда, к зонам тектонических нарушений, в отдельных случаях в качестве отрицательного фактора использовалась приуроченность ЛМА к линейным аномальным зонам, вызванным, вероятно, погрешными русловыми отложениями.

В результате некоторые исследователи пришли к выводу, что интенсивность выделяемых аномалий должна определяться только возможностями аппаратуры. Единственным ограничением (по их мнению) является степень изометричности аномалий (не более 1:3—1:4), размеры аномалий более 100 м.

Таким образом, уже на стадии выделения ПГУ второй очереди формировался достаточно однородный по геофизическим характеристикам класс ЛМА.

При проведении работ станцией «Макфар II» для разбраковки ЛМА в качестве дополнительной использовалась информация об изменении магнитного поля с высотой. Предполагалось, что различия в вертикальной мощности кимберлитовых трубок и объектов-«помех» должны обуславливать не только иную интенсивность создаваемых ими аномалий (при одних и тех же горизонтальных размерах и намагниченности), но и различия в характере изменения аномального поля с высотой, что может быть использовано для классификации аномалий. Для этого использовались результаты двухгоризонтной аэромагнитной съемки (ДАС), представленные в виде карт вертикального градиента.

При этом учитывалось, что пересчеты в верхнее полупространство аномального магнитного поля, полученного в результате проведения одногоризонтной магнитной съемки для целей изучения характера «затухания» ЛМА с высотой, неравноценны практическим измерениям. Многочисленные сопоставления измеренного магнитного поля с пересчитанным с нижнего на верхний уровень свидетельствуют только об их качественном соответствии (Методические рекомендации..., 1986).

Тем не менее результаты ДАС существенной отдачи не имели. Это, вероятно, связано с тем обстоятельством, что благодаря особенностям петромагнитного строения трубок взрыва многие из них сопоставимы по мощности «магнитоактивной» части с объектами-«помехами». На настоящий момент почти вся территория покрыта аэроразведочными работами ДИП-А масштаба 1:25000, проведенными в двух- и трехчастотном варианте, направление полетов — широтное. По материалам съемок построены карты продольной проводимости и их трансформант масштаба 1:50000. Глубинность метода составляет 50—150 м в зависимости от геологического строения территории.

Статистический анализ данных аэроразведочных работ показал, что 80% известных на исследованной площади тел расположены в пределах зон повышенной проводимости, выделенных формализованным путем и обусловленных зонами трещиноватости (Кутинов, 1991а). Объекты, не попавшие в зоны, представлены в основном силлами. Таким образом, применение в качестве критерия совпадения ЛМА с аномалией повышенной проводимости является оправданным, т. е. можно считать, что кимберлитовым трубкам соответствует вполне определенное сочетание электро- и

магнитного поля. Следовательно, совместное рассмотрение результатов двух методов позволяет отбраковать часть аномалий (до 70%), выделяемых по каждому методу в отдельности. Такой анализ обычно производится качественно, путем визуального сопоставления карт аномалий продольной проводимости и магнитного поля.

В силу сложившихся обстоятельств изучение региона характеризовалось отставанием темпов аэроэлектроразведочных работ от аэромагниторазведки. В результате значительная часть аномалий была передана в качестве ПГУ первой очереди и разбурена без учета наличия факта пространственного совмещения их с зонами повышенной проводимости.

На Золотицкой площади была проведена повторная съемка с субмеридиональным направлением полетов. Сопоставление материалов показало наличие «жесткой» зависимости выделяемых структур от ориентировки полетов (рис. 11).

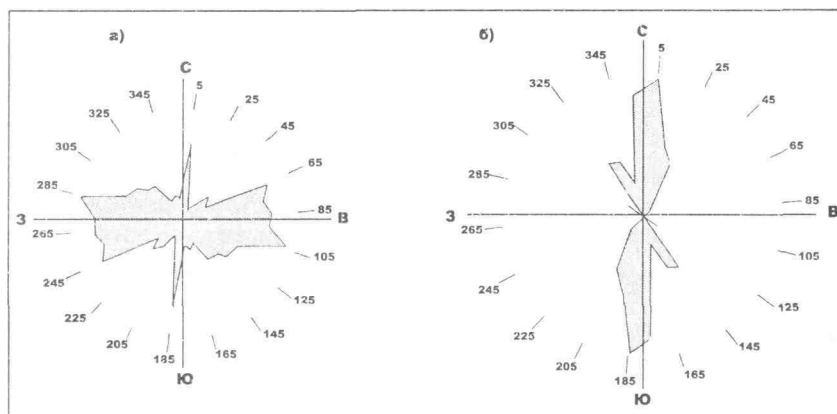


Рис. 11. Сопоставление простираций осей локальных аномалий продольной проводимости:
а) субмеридиональная ориентировка маршрутов; б) субширотная

Кроме того, отсутствие сводных карт аномалий продольной проводимости затрудняет сопоставление материалов, а также выделение количественных признаков разбраковки аномалий (как S эф., так и ЛМА).

Авторы намеренно подробно рассматривают этап выделения ПГУ второй очереди по данным аэрогеофизических работ, как

имевший первостепенное значение при дальнейшей разбраковке аномалий наземными детализационными исследованиями. Так, если на этом этапе в качестве критериев можно было привлекать структурно-тектонические, дешифрировочные, минералогические и прочие признаки, то на стадии выделения ПГУ первой очереди исследователи в первую очередь имеют дело с тонкой структурой поля. То есть сужается круг рассматриваемой информации, и ее дефицит необходимо восполнять модификациями однометодных признаков. Кроме того, в результате применения частотного фильтра и после передачи высокоинтенсивных аномалий, остается значительный фонд ПГУ второй очереди, обладающий на «макроуровне» почти идентичными характеристиками в магнитном поле. В итоге данной стратегии поисков процент обнаружения трубок взрыва геофизическими методами снизился к настоящему моменту от 8,0—15,8% до 1,2% и менее.

При осреднении в условиях интенсивных высокочастотных помех и нелинейности региональной составляющей в зависимости от соотношения амплитуды выделяемой аномалии, ее размеров и морфологии на карте разностного поля могут появиться «ложные» аномалии, происходит искажение аномального эффекта и, как следствие, смещение эпицентра (рис. 12). Последнее обстоятельство чревато пропуском объекта малых размеров. Результаты обработки магнитной съемки АН-1393, являясь достаточно типичными, наглядно показывают относительное смещение эпицентра при применении различных радиусов осреднения.

Кроме того, применение процедуры разностного осреднения лишает аномалию ее «индивидуальных» черт. В результате на изучаемых площадях выделено большое количество изометричных аномалий, по форме и интенсивности близких к аномалиям, связанным с искомыми объектами. Задачу о геологической природе ЛМА нельзя решить однозначно, т. к. налицо отсутствие монофакторных универсальных критериев. Аномалии можно дать лишь предположительное объяснение путем аналогии с аномалиями, заверенными бурением, и исходя из общих геологических соображений о возможном наличии на площади трубок взрыва щелочно-ультраосновного состава. На практике объяснение природы аномалий обычно дается на основе субъективного мнения исследователя (Добрынина, 1986). Наиболее правильное решение может быть достигнуто в сочетании субъективного опыта с количественной оценкой информации.

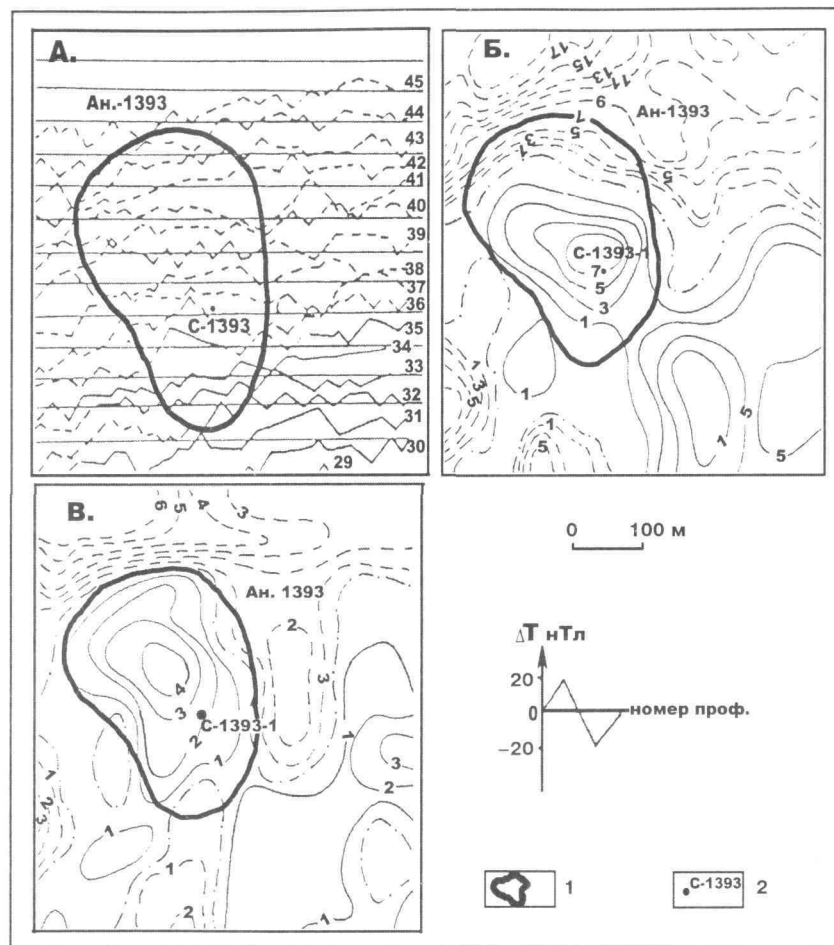


Рис. 12. Результаты обработки магниторазведочных данных по ан. 1393

Карты: А - графиков ДТ набл.; Б - изолинии ДТлок (7 × 3) – (41 × 17); В - изолинии ДТлок (11 × 5) – (21 × 9)

Условные обозначения: 1 – контур магнитоактивного объекта; 2 – местоположение скважины

Решение обратных задач — актуальная проблема разведочной геофизики. Для количественной интерпретации потенциальных полей развиваются два основных направления: аналитические продолжения полей, которые не требуют задания моделей искомым

объектов, но при этом обеспечивают возможность получения лишь некоторых обобщенных параметров по локализации объектов; методы подбора, при которых задается модель объекта (геометрия и физические свойства) и сопоставляются рассчитанные для этой модели поля с наблюдаемыми значениями (Никитин, Чэнь Юйдун, 1992). Естественно желание количественно интерпретировать наблюдаемое поле с наименьшими априорными сведениями об объекте исследования, что нашло свое отражение в попытках использовать аналитическое продолжение поля в нижнее полупространство.

Один из таких методов основан на локализации в нижнем полупространстве особых точек аномального магнитного поля, т. е. восстановления значений поля в сторону магнитовозмущающего источника (Губайдуллин и др., 1986), реализованный на пересчете аномалий вниз с послойно-адаптирующей регуляризацией, для оценки предельных глубин залегания магнитоактивных источников.

Нами была сделана попытка расширить набор рабочих приемов для обработки данных при помощи «модернизированного» пересчета в нижнее полупространство и составление карт сечения магнитного поля вертикальными плоскостями по заданным направлениям (разрез вертикальной структуры поля — ВСП). Опробованный метод позволяет, в первом приближении, получить количественные оценки ряда параметров, характеризующих морфологию аномалообразующих объектов (положение на профиле и глубины залегания поверхностей, разделяющих среды с различной намагниченностью, ориентировочные значения углов падения).

ПГО «Севзапгеология» были опробованы две системы разбраковки и интерпретации данных: «Альфа-2М», используемая в ВЦ ЛЭ и геомагнитного моделирования, разработанная в Институте геофизики АН Украины г. Киева. В качестве эталонных объектов были выбраны 4 аномалии: 720 и 740, связанные с трубками взрыва, 726 и 634 — аномалии-«помехи».

Основной задачей системы «Альфа-2М» являлось вычисление различных трансформаций магнитного поля, установление закономерностей в характере трансформаций, которые можно было бы использовать для разбраковки аномалий. В результате вычислений на каждую ЛМА было построено 18 трансформаций магнитного поля: 1 — V_{zz} от исходного поля и V_{zz} от псевдогравитационного поля на глубине 100 м; 2 — пересчеты в нижнее полупространство на глубины 50, 100, 150 и 200 м; 3 — пересчет в верхнее полупро-

странство на высоты 100, 200, 300, 500 и 750 м; 4 — локальные составляющие поля, полученные как разность значений поля на разных высотах.

Система геомагнитного моделирования, созданная в Институте геофизики АН Украины, позволяет оценивать намагниченность и геометрию объекта по магнитному полю. Она основана на вычислении «объемной трансформанты» Сакса-Нигарта, которая в дальнейшем используется для определения геометрии и физических параметров тел аппроксимации.

К сожалению, все перечисленные методы были апробированы на малом объеме данных, что, несмотря на отдельные обнадеживающие результаты, не позволяет сделать выводы о надежности их применения в качестве разбраковочных. Тем не менее они являются хорошей иллюстрацией к тому факту, что постулат о геометрической модели трубки как вертикальном эллиптическом цилиндре бесконечного простираения на глубину в петрофизическом отношении недостаточно надежен.

Существует ряд косвенных данных, указывающих на наличие большей упорядоченности петромагнитных свойств объектов, чем источников аномалий-«помех». Так, при детальном изучении наблюдается более слабая изменчивость изрезанности графиков магнитного поля над трубками, чем над телами иной геологической природы (Чистова, 1991; Чистова, 2002). При исследовании количественных характеристик локальных магнитных аномалий, вызванных телами трубчатого типа Нёнокского (Чистова, 1991) и Зимнебережного комплексов (Чистова, 1996; Чистова, 2002), выявлена закономерность в максимальной сходимости (до 10—15%) значений однотипных расчетных параметров, полученных различными методами. Аналогичные расчеты для магнитных аномалий, обусловленных петромагнитными неоднородностями четвертичных отложений или телами, отличными от трубок, показывают значительный (до 70% и выше) разброс значений.

В качестве разбраковочного на ЛМА ставится, как уже отмечалось выше, комплекс электроразведочных работ методами ЕЭМП, ДИМ или другими модификациями аналогичного назначения. Это связано с тем, что породы трубок взрыва отличаются пониженными сопротивлениями по сравнению с отложениями верхов венда за счет подъема минерализованных вод. Большинство ЛМА находятся в зонах повышенной электрической проводимости (разбраковочный признак) (рис. 13).

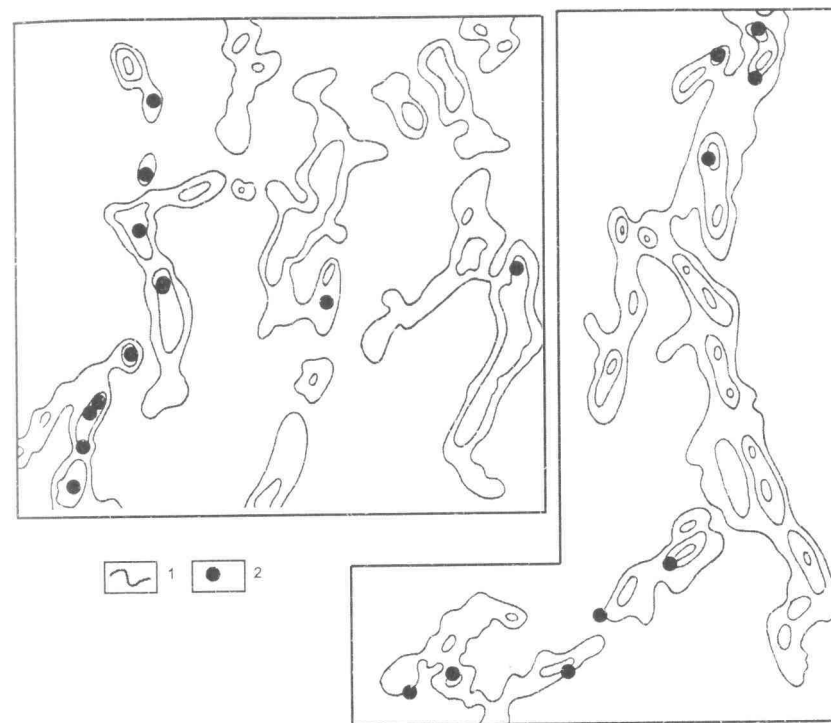


Рис. 13. Фрагменты карты Селок

1 — изолинии Селок; 2 — магматические тела (трубки взрыва)

Поэтому перед детализационными электроразведочными работами встает вопрос локализации объекта, обладающего пониженным сопротивлением в проводящей зоне, где эти отличия сnivelированы наличием минерализованных вод (Кутинов, 1992). Эта проблема на настоящий момент не нашла своего решения. Все попытки использовать различные трансформации реальной отдачи не дали, а полученные положительные результаты, скорее всего, носят частный характер. Как показали петрофизические исследования, отложения палеозоя в центральной части района и в пермском прогибе в разрезах скважин всегда несут признаки изменения различной интенсивности и, по всей видимости, отражают широкое развитие тектоники и непосредственно связаны с образованием сопряженных с ней трещин в породах межтектонических блоков, а также с

последующим выветриванием пород. Все это говорит о широком развитии данного класса аномалий-«помех» в пределах региона.

Суммируя вышеизложенное, авторы отмечают:

— методика проведения поисковых работ геофизическими методами была направлена на выделение тел, модель которых не всегда соответствовала искомым трубкам взрыва;

— на стадии обработки данных аэромагниторазведочных работ вносится ряд искажающих факторов и формируется достаточно однородный по своим геофизическим характеристикам класс ЛМА;

— неоднократное применение на всех стадиях работ процедуры осреднения без сопутствующего анализа исходного поля лишает большинство аномалий присущих им «индивидуальных» черт, что делает их разбраковку крайне сложным процессом;

— на настоящий момент не существует универсальных признаков аномалии «трубочного типа» в геофизических материалах;

— ни один отдельно взятый признак не обеспечивает надежного опознания объекта, поэтому необходима комплексная оценка всей совокупности данных.

2.3. Обзор состояния применяемых приемов моделирования

Физико-геологическое моделирование по комплексу физических полей интенсивно развивается рядом исследователей (Бродовой, 1987; Вахромеев, Давыденко, 1987; Демура, 1986 и др.). Под физико-геологической моделью (ФГМ) понимается максимально приближенное к реальным условиям обобщенное и формализованное представление об основных геологических, геометрических и физических характеристиках исследуемого объекта (явления) и его вмещающей среды.

Составными частями ФГМ (частными моделями) являются геологическая, геохимическая, петрофизическая модели, модель физических полей и модель естественных геоморфологических и физических помех (Бродовой, 1984; 1987; 1994).

На всем протяжении геологоразведочного процесса необходимо последовательно и взаимосвязанно исследовать иерархический ряд моделей — провинция, субпровинция, пояс, район, поле, куст (узел), месторождение, рудное тело. Нетрудно заметить, что каж-

дая последующая модель является составной частью предыдущей, более региональной модели, наследует и детализирует ее основные черты и свойства.

При этом становится очевидной следующая формулировка задачи исследования иерархического ряда моделей: последовательное уточнение (детализация) региональных задач. Методически правильно решать эту задачу (независимо от уровня детальности модели, которую в данный момент нужно строить) идя сверху вниз, но это в первую очередь связано с весьма неоднозначным выбором региональной модели и особенно ее ограничений. На практике получил развитие подход снизу вверх, причем он, как правило, ограничивается изучением только последнего звена иерархической цепочки — трубки взрыва.

На настоящий момент разработаны только отдельные черты более крупных таксонов кимберлитового магматизма, при отсутствии логически увязанных частных моделей в общие и обобщенные. Априори считается, что положительным решением вопроса о факторах рудоотложения решается проблема локализации оруденения в конкретных структурах (Серокуров, Калмыков, 1994). Однако, несмотря на значительное количество публикаций, задача еще не решена. Это вызвано разной детальностью геологических и геофизических съемок на территории всей платформы, что не позволяет с одинаковой надежностью интерпретировать результаты исследований и выделять интересующие структуры на каждом участке площади. Основной же причиной такого положения является отсутствие единой геолого-генетической модели образования кимберлитовой колонны. Практика поисковых работ показала, что если рудогенная система обладает естественной иерархией, то должны существовать природные факторы, определяющие целостность системы и закономерности ее структуризации, а также объясняющие механизм взаимодействия компонентов системы и источников энергии конкретных геологических процессов (Главатских, 1992). В последние годы прошлого столетия появился ряд работ, в которых в основу выделения таксонов кимберлитового магматизма были положены структурно-тектонические (Кутинов, 1992), вещественные (Главатских, 1992), историко-генетические (Кутинов, 1992; Чистова, 1996) признаки кимберлитовых поясов, районов, полей и их отражение в геолого-геофизических материалах, а также особенности глубинного строения региона (Фельдман, Олофинский,

1991). Однако поисковые модели разноранговых таксонов кимберлитового магматизма так и не вошли в практику работ.

Выбор способа формирования и описания модели зависит от специфики исходной информации, степени ее достоверности, требований проектирования и комплексной интерпретации геофизических материалов, класса и типа объектов, возможности использования компьютерных систем.

Специфика исходной информации, степень ее достоверности нами достаточно подробно рассмотрены в разделе 2.2.

Требования проектирования и комплексной интерпретации геофизических материалов в связи с нарушением системного подхода относились только к трубкам взрыва и частично к помехам, сопоставимым с ними. То есть круг классов и типов объектов очерчивался только диаграммами, в первую очередь промышленно алмазонасными.

При прогнозе месторождений обычно выделяются ФГМ двух типов — типовая и оптимальная. Типовая модель прогнозируемого объекта — упорядоченная совокупность его наиболее типичных свойств. Элементы модели выбираются из признаков на известных (эталонных) объектах прогнозируемого класса, независимо от распространенности и изученности этих признаков за пределами эталонов. Такие модели — источники сведений о геологической природе прогнозируемых объектов. Оптимальная модель — упорядоченная совокупность его специфических (оптимальных) свойств отбирается из признаков по всей исследуемой площади. Разработанные в процессе исследований ФГМ Архангельской алмазонасной провинции, применяемые в качестве эталона для разбраковки аномалий, относятся к типовым моделям трубок взрыва Золотицкого рудного поля (рис. 14—17).

Их применение подразумевало использование метода аналогий. То есть процесс интерпретации сводился к выявлению сходства между объектами только по типичным признакам, отличающим трубки взрыва от других геологических образований (причем выборочно — электромагнитные свойства), а не по изученным свойствам. Соответственно модель, являющаяся предметом для сравнения, включала элементы, свойственные только прогнозируемому классу объектов (трубкам Золотицкого рудного поля), но не распространенным на всей территории. Все это привело к искусственному сужению комплекса применяемых геофизических методов. Кроме того, не учитывались изменения свойств вмещающих отло-

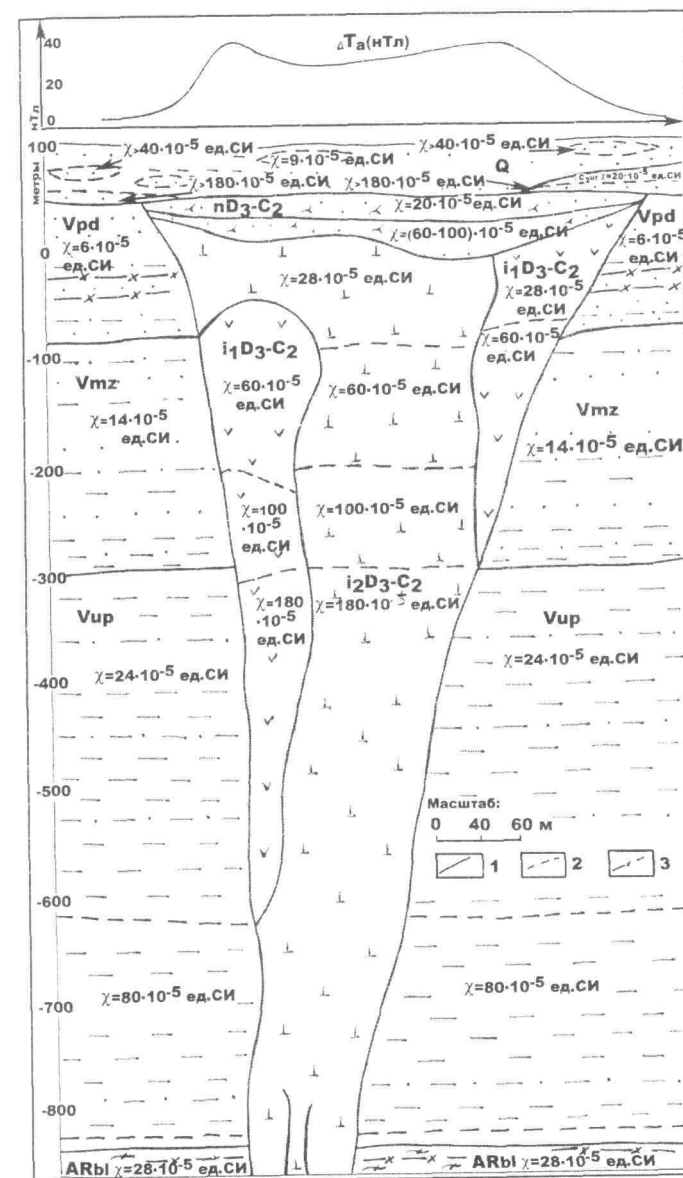


Рис. 14. Петромагнитная модель трубки взрыва
Условные обозначения см. рис. 17

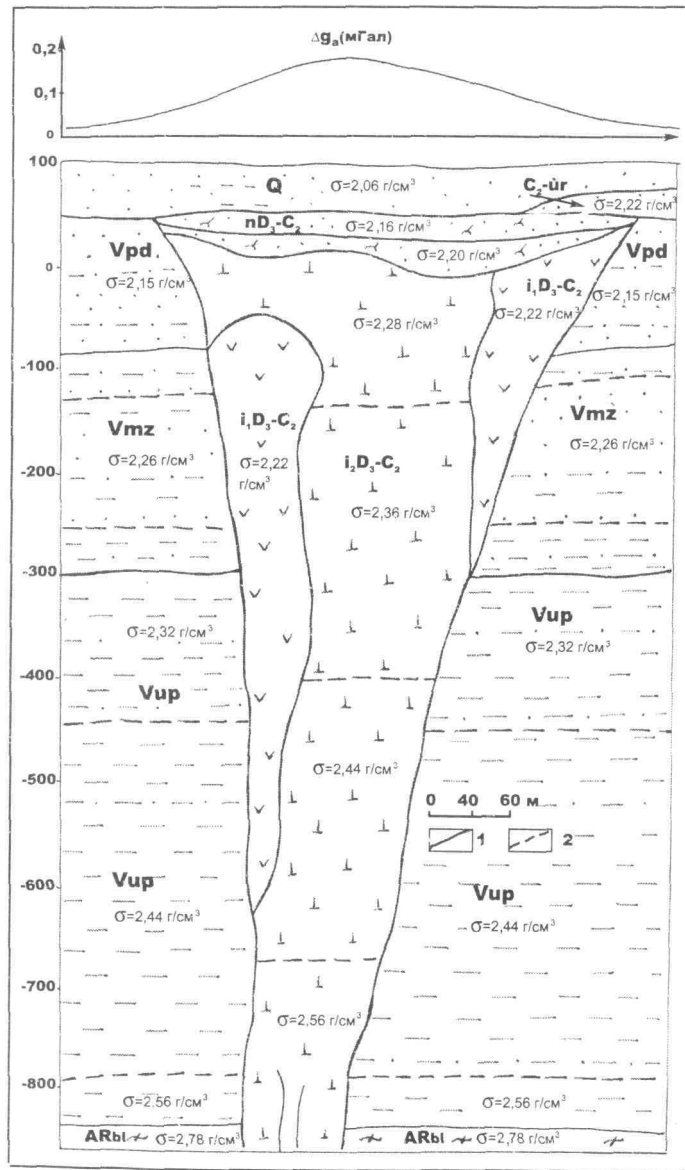


Рис. 15. Петроплотностная модель трубки взрыва
Условные обозначения см. рис. 17

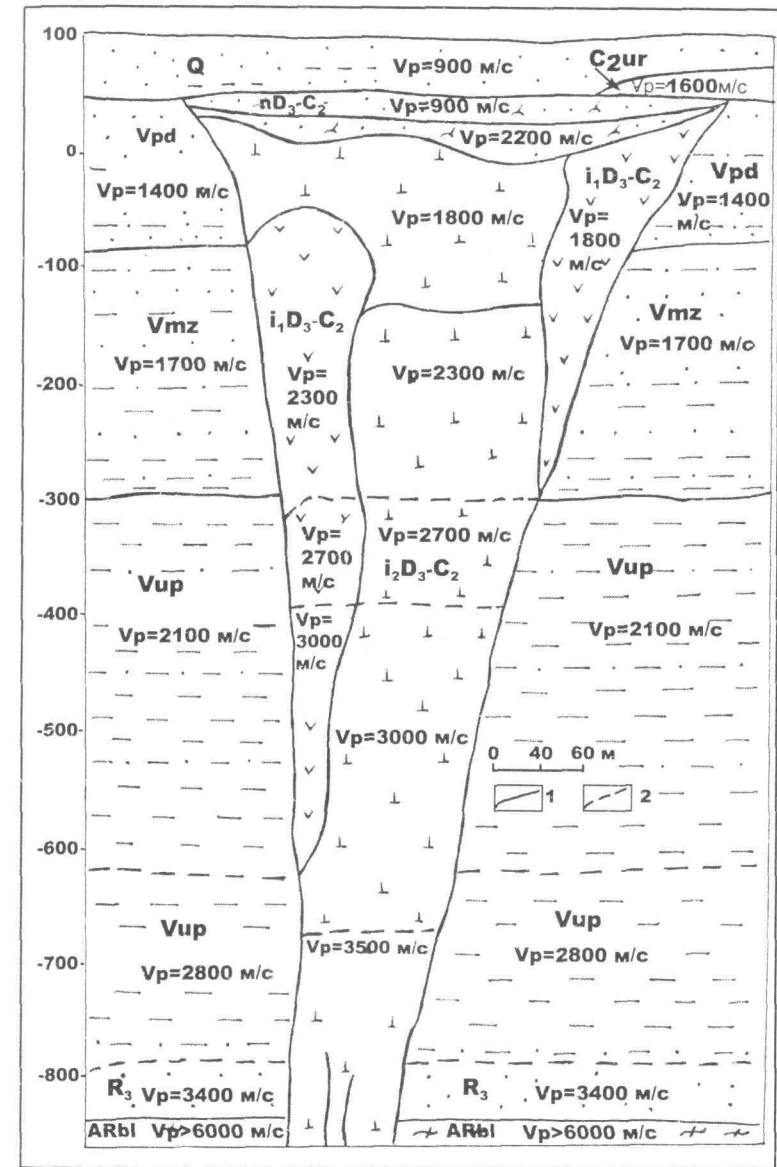


Рис. 16. Скоростная модель трубки взрыва
Условные обозначения см. рис. 17

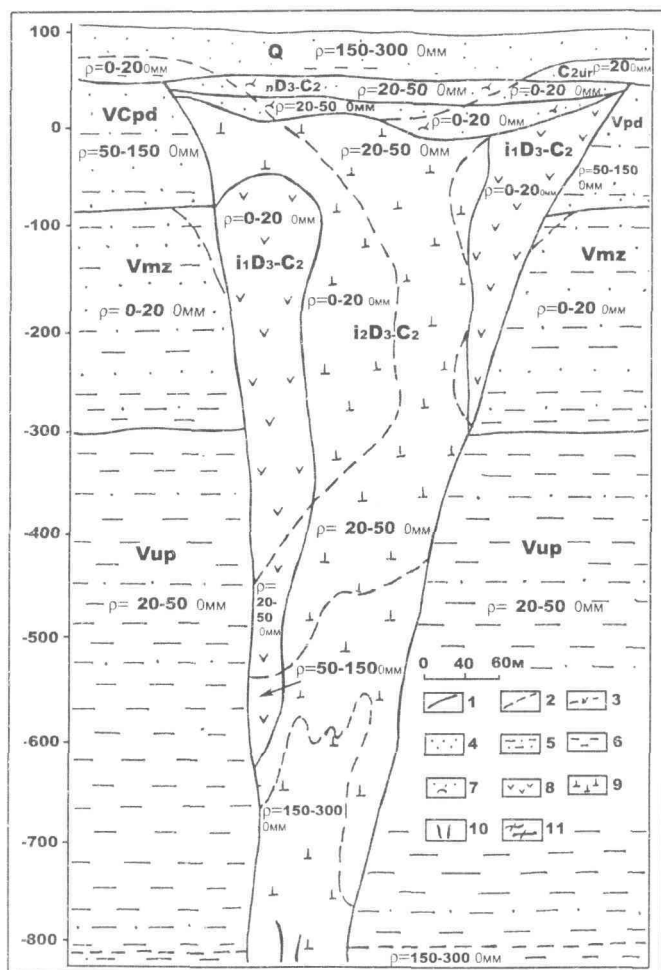


Рис. 17. Геоэлектрическая модель трещины взрыва

Q - четвертичные отложения; C₂ur - урзугская свита карбона; Венд: Vpd - падунская свита; Vmz - мезенская свита; Vup - усть-пинезская свита; R - рифей; ARbl - беломорский комплекс архея; nD₃-C₂ - туфогенно-осадочные толщи трюок взрыва; i₁D₃-C₂ - ксенотуфобрекчии; i₂D₃-C₂ - автолитовые кимберлиты
Условные обозначения: 1 - геологические границы; 2 - петрофизические границы; 3 - отдельные прослои с $\chi = (80 - 320) \times 10^5$ ед. СИ; 4 - пески, песчаники; 5 - алевролиты; 6 - аргиллиты; 7 - туфопесчаники, туффиты; 8 - ксенотуфобрекчии; 9 - автолитовые брекчии; 10 - дайки порфировых кимберлитов; 11 - гранито-гнейсы

жений, которые имеют первостепенное значение при районировании территории (рис. 18—26) для выбора оптимального варианта методики обработки и интерпретации данных и рационального комплекса исследований.

Различаются детерминированные и статистические ФГМ (Вахромеев, Давыденко, 1987). В первом случае ожидаемые аномальные эффекты рассчитываются при жестких ограничениях, заранее заданных значениях петрофизических и морфологических параметров модели. Во втором случае диапазон возможных изменений физических свойств и геометрических параметров модели описывают вероятностными распределениями или их статистиками и прямые задачи решаются с помощью методов Монте-Карло либо с использованием аппарата теории случайных процессов. Основным типом ФГМ трубок взрыва Архангельской провинции являются детерминированные модели.

Наибольшее распространение получили петрофизические модели объектов. Петрофизическая модель, как правило, состоит из нескольких частных моделей, каждая из которых характеризует одно из физических свойств объекта с установлением контуров проявлений этого свойства. Методика исследования петрофизических свойств базировалась на самых общих принципах моделирования. С учетом геологического строения района и необходимости оценки применимости геофизических методов рассматривались три самостоятельных модели объектов (в основном Золотицкого рудного поля), составляющих в совокупности модель кимберлитового тела: 1 — собственно кимберлитовое тело; 2 — непосредственно вмещающие его породы (архейский метаморфический фундамент) и древний (вендский) платформенный осадочный чехол; 3 — перекрывающие первые два объекта отложения палеозоя и четвертичной системы. При этом практически не изучались систематически и в должном объеме структуры, локализирующие трубки взрыва.

Физические свойства пород изучались по керну скважин. Методика петрофизических исследований разрезов скважин включала: детальное изучение с шагом 1 м магнитной восприимчивости (χ), расчленение разреза на однородные χ интервалы, отбор образцов из них, лабораторное изучение полного комплекса физических свойств образцов, анализ и обработку полученных данных.

В лабораторных условиях изучались основные физические параметры, на которых базируются геофизические методы: плот-

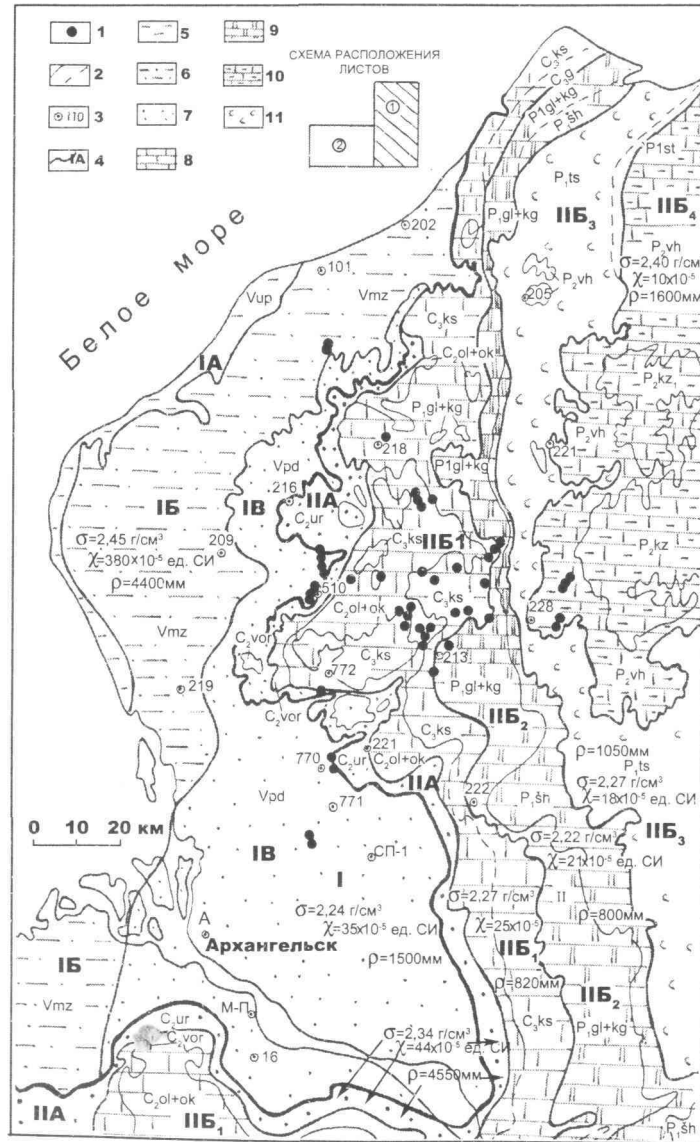


Рис. 18. Карта литолого-физического районирования территории (Чистова, 1996). Лист 1. Условные обозначения см. рис. 19

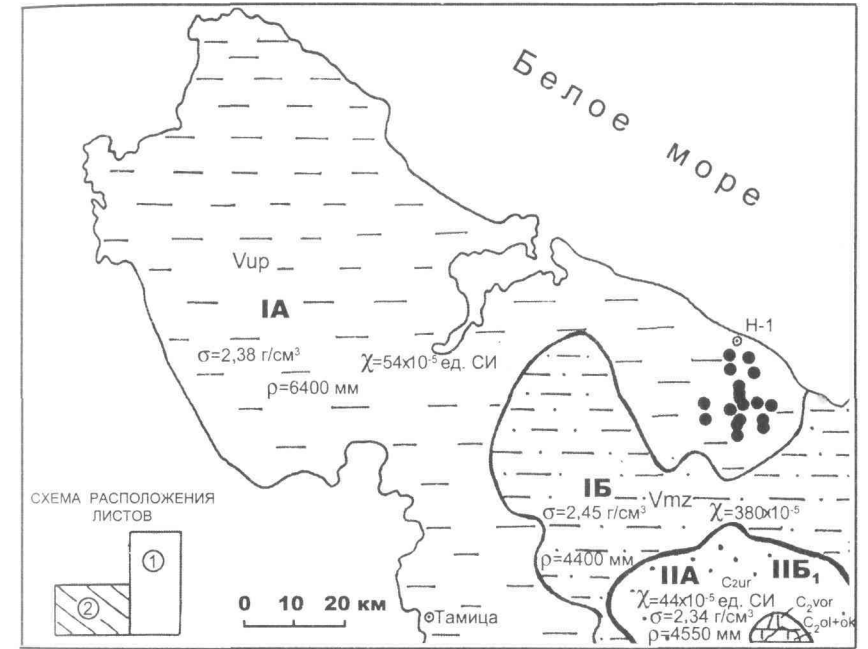


Рис. 19. Карта литолого-физического районирования территории (Чистова, 1996). Лист 2.

Пермь: P_2kz — казанский ярус; P_2vh — уфимский ярус. Вихтовская свита; Сакмарский ярус: P_1st — Стерлитамакский горизонт; P_1ts — тастубский горизонт; Ассельский ярус: P_1sh — шиханский горизонт; P_1gl+kg — глазанская и красногорская свиты. Карбон: C_3g — гжельский ярус; C_3ks — касимовский ярус; Московский ярус: C_2ol+ok — олмутская и окуневская свиты; C_2vor — воереченская свита; C_2ur — урзугская свита. Венд: Vpd — падунская свита; Vmz — мезенская свита; Vur — усть-пинейская свита
Условные обозначения: 1 — магматические объекты; 2 — геологические границы: достоверные и предполагаемые; 3 — опорные скважины и их номера; 4 — границы литолого-физических зон и их номера; 5—11 — породы, преобладающие в верхней части разреза: 5 — аргиллиты; 6 — алевролиты; 7 — песчаники; 8 — известняки; 9 — доломиты; 10 — мергели; 11 — гипсы; χ , σ , ρ , Vp — средневзвешенные значения физических параметров пород по разрезу

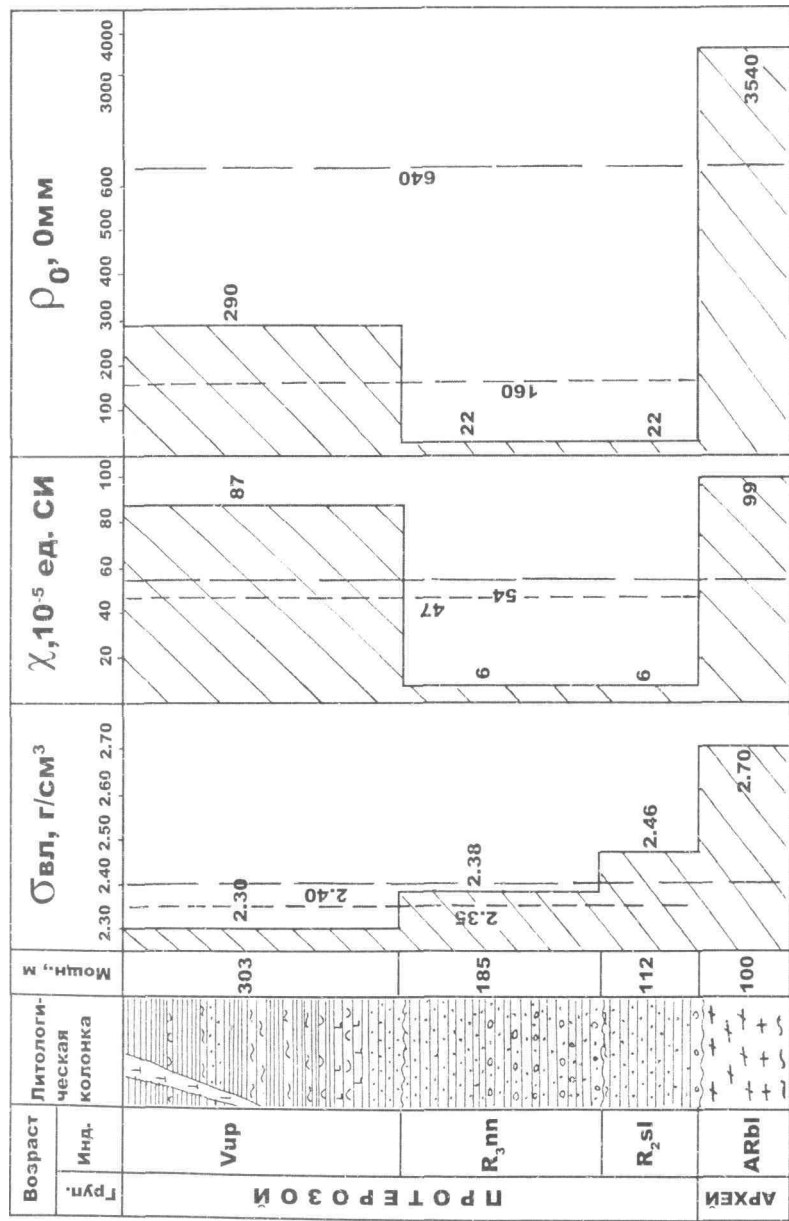


Рис. 20. Литолого-физическая модель зоны IA

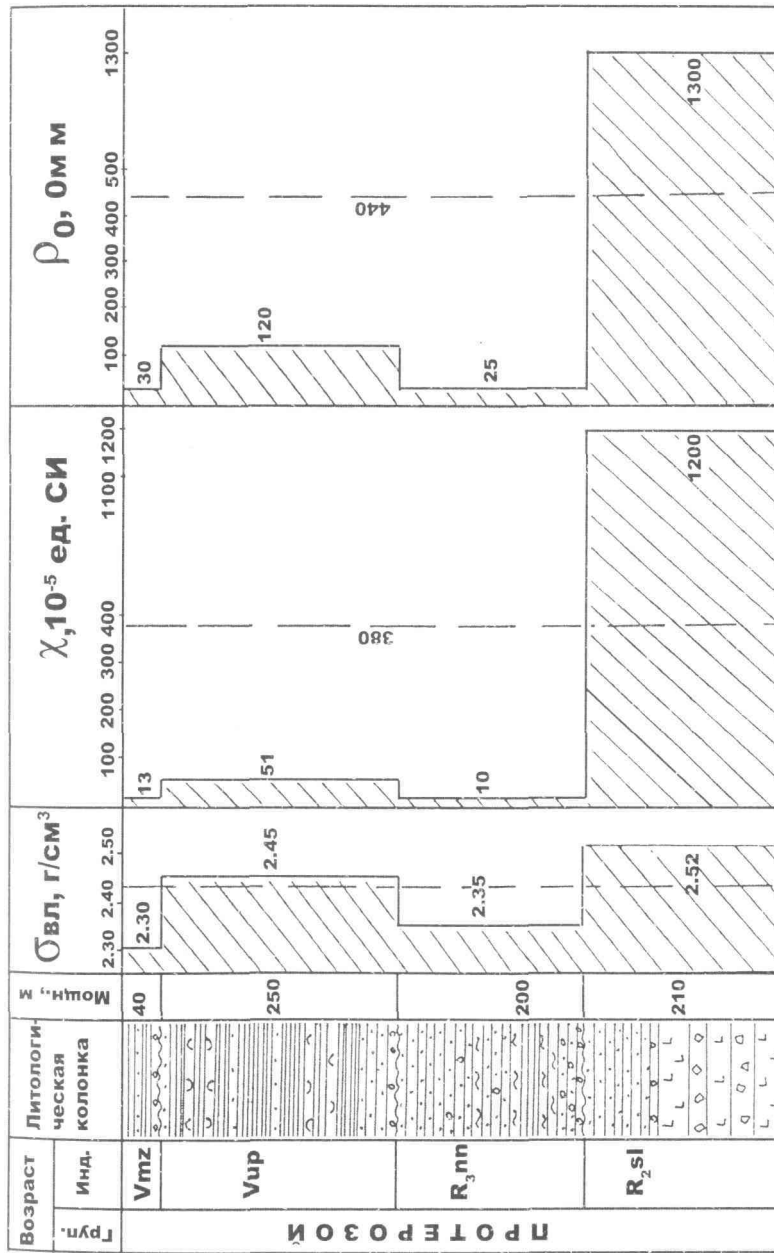


Рис. 21. Литолого-физическая модель зоны IB

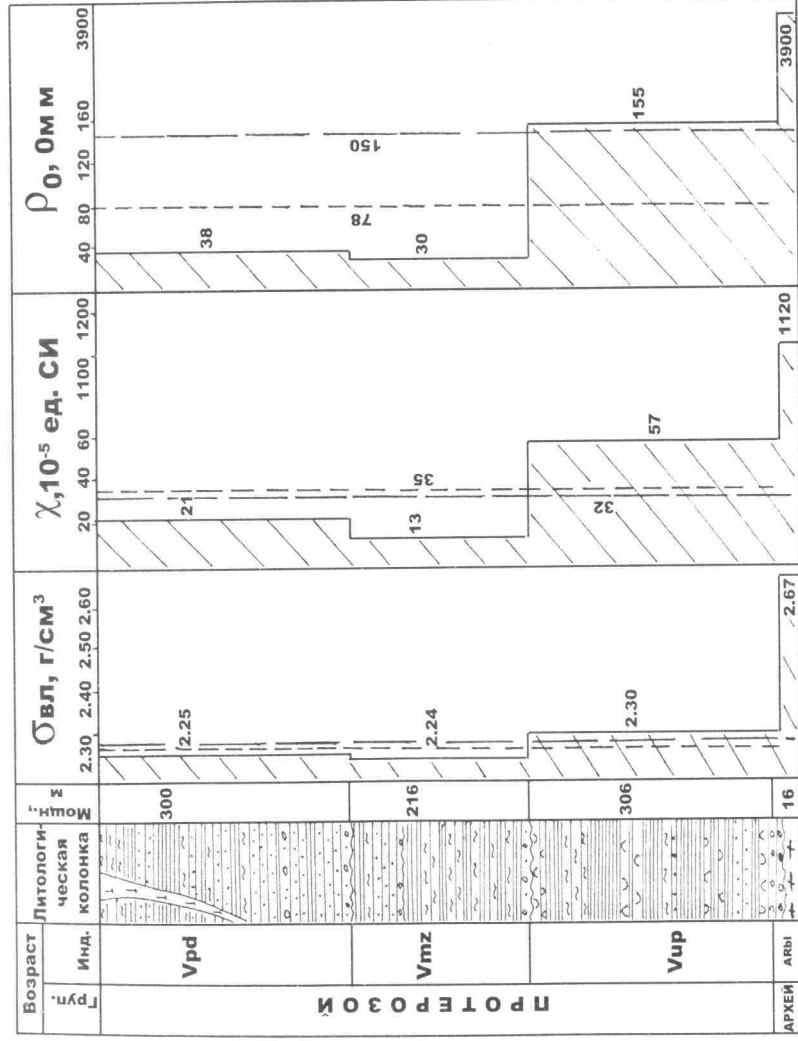


Рис. 22. Литолого-физическая модель зоны IV

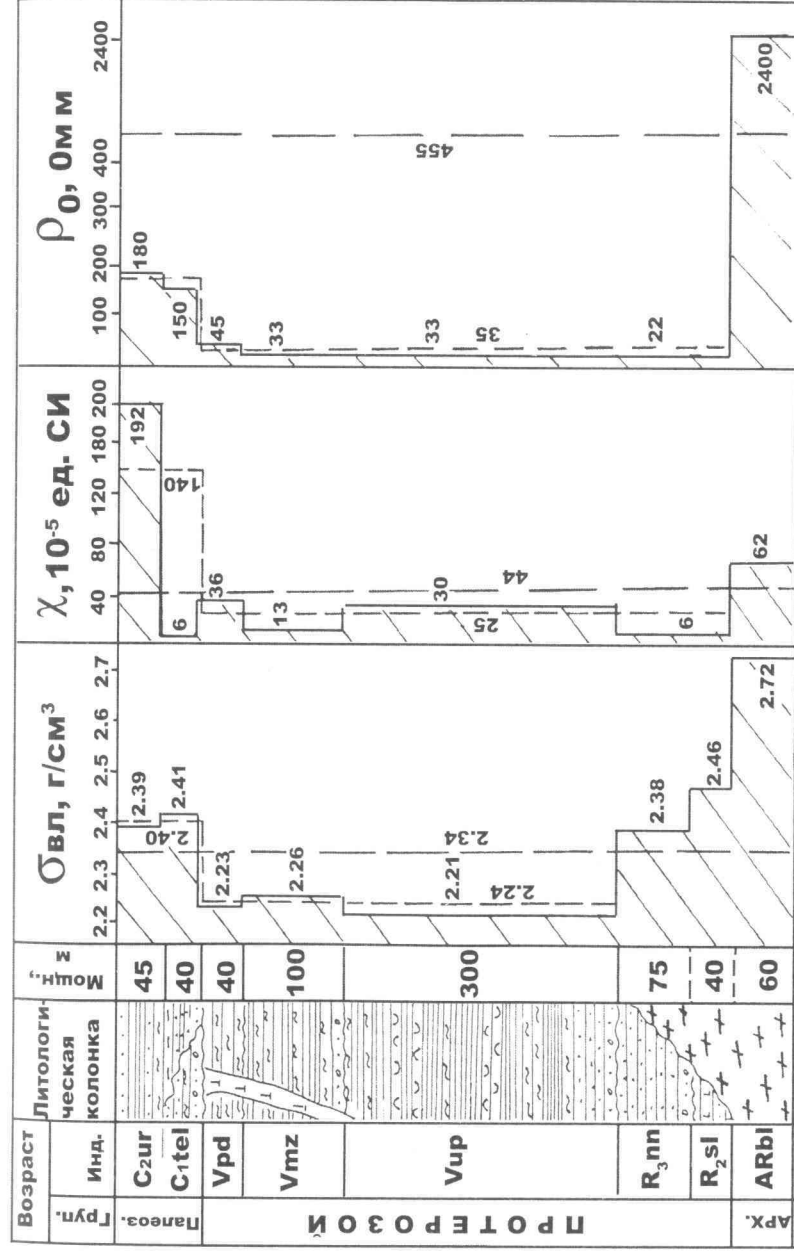


Рис. 23. Литолого-физическая модель зоны III

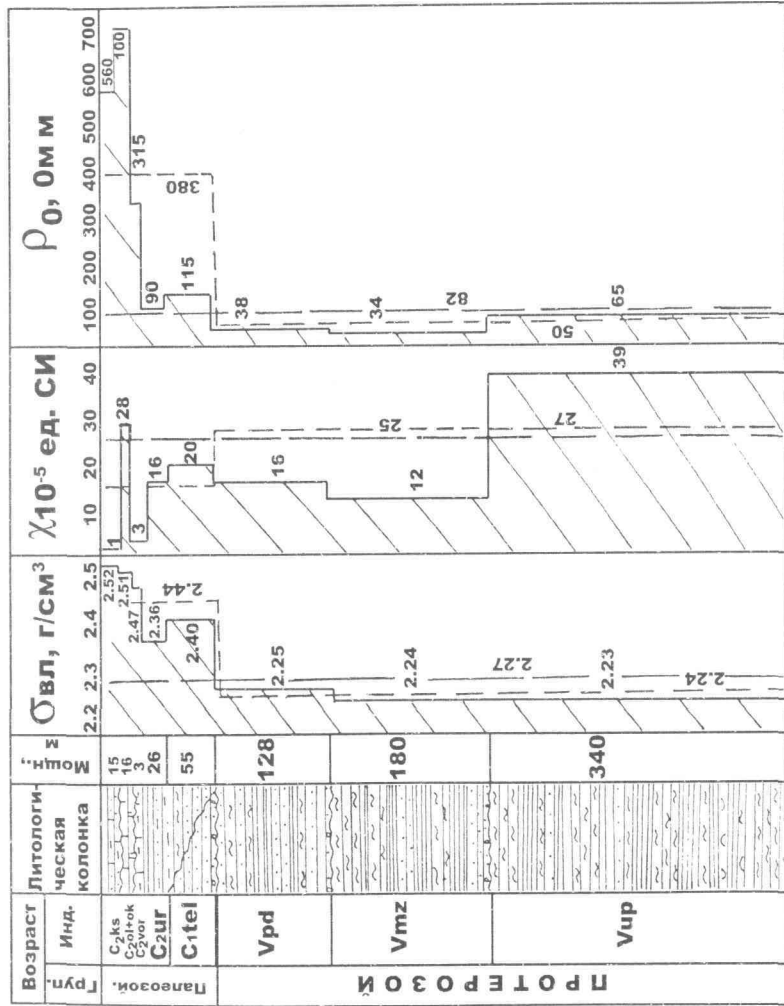


Рис. 24. Литолого-физическая модель зоны ШБ₁

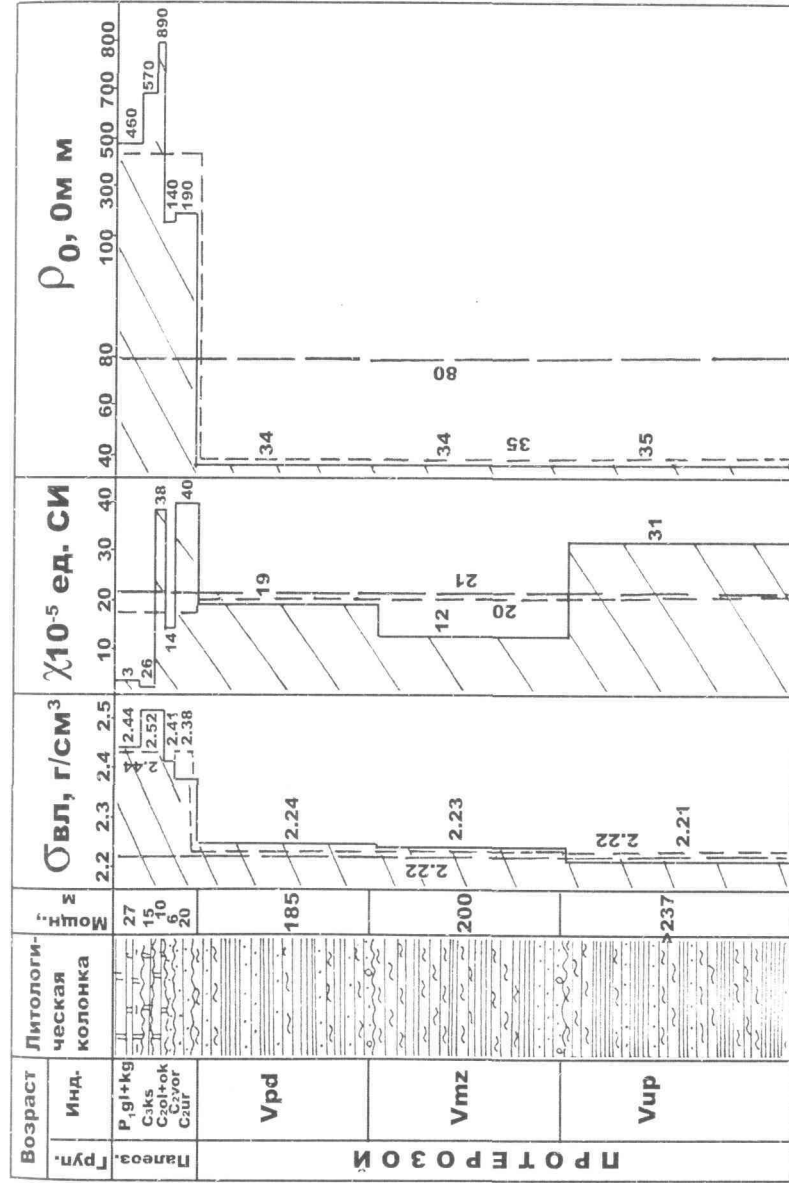


Рис. 25. Литолого-физическая модель зоны ШБ₂

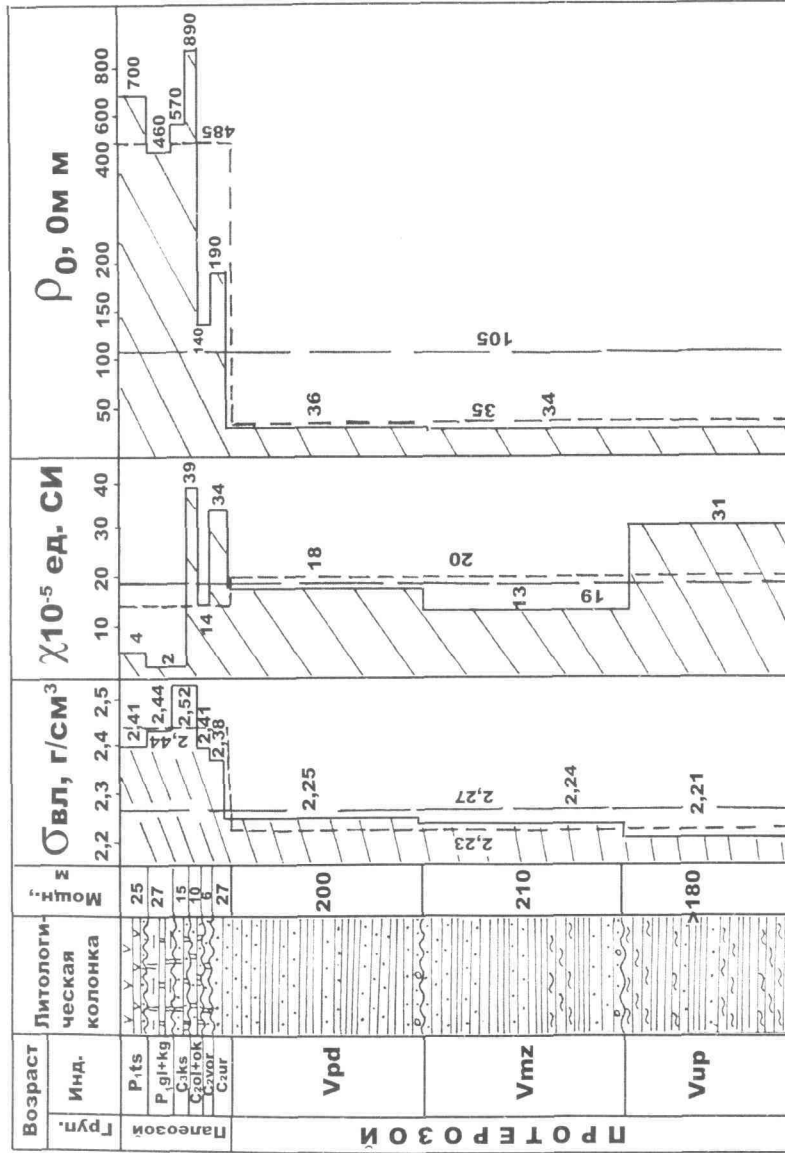


Рис. 26. Литолого-физическая модель зоны ШБ.

ность (а), сопротивление (ρ) магнитная восприимчивость (χ), естественная остаточная намагниченность (In), ее наклонение и т. д.

На настоящий момент существуют: петромагнитная, петро-плотностная, геоэлектрическая и сейсморазведочная модели кимберлитовой трубки взрыва (рис. 14—17). В качестве контуров проявления петрофизических свойств были приняты геологические границы трубок взрыва и практически не учитывались изменения вмещающей среды (ни радиус влияния, ни количественные параметры). Наиболее детально для региона разработана петромагнитная модель.

Магнитные свойства кимберлитов, в отличие от плотности, зависящей от всех слагающих горную породу минералов, определяются небольшой группой акцессорных железосодержащих минералов-ферромагнетиков. Сложность изучения магнитных свойств заключается как в измерении магнитных параметров, так и в неоднозначности их интерпретации, обусловленной высокой чувствительностью магнитных свойств к вариациям состава, структуры и прямой зависимости от условий образования некоторых величин. Несмотря на то, что в петрологической классификации кимберлиты относятся к семейству изверженных пород, по физическим свойствам они во многом схожи с осадочными отложениями. Объясняется это тем, что в породе обычно сохраняются единичные зерна исходных минералов, подавляющая часть магматического материала превращена в серпентин, карбонат, тальк и глинистые минералы типа сапонита. Впрочем, и неизменные кимберлиты сильно отличаются от одно- и двуминеральных ультрамафитов (Архангельская алмазоносная., 1999). Породы, слагающие трубки взрыва, образуются в неравновесных условиях, и в их составе можно обнаружить как мантийные ксенолиты, так и типично осадочные образования. К исходной сложности состава кимберлитов, обусловленной разнообразным сочетанием магматического и осадочного материала, а также несортированностью обломочного материала по размеру, добавляется еще разнообразие вторичных изменений: серпентинизация, карбонатизация, сапонитизация, выветривание. Отсюда значительные колебания магнитных свойств. Сложная история формирования трубок взрыва находит свое отражение в сложном наборе ферромагнитных фаз.

Таким образом, характер кривой ΔT зависит от многочисленных факторов: внутреннего строения трубки взрыва (количество

фаз внедрения, строение туфогенно-осадочной толщи, состав пород и т. п.); глубины проработки вторичными процессами; уровня эрозионного среза. Изучение характера кривой АТ над телами необходимо проводить по классам объектов. Принципиальная схема декомпозиции тел щелочно-ультраосновного состава юго-восточного Беломорья приведена на рис. 27.

Физические свойства устанавливаются на основе массовых измерений. Вовлечение в анализ широкого круга параметров дает возможность проигрывать различные стратегии поисков и изучения объектов, сравнивать альтернативные варианты комплексов (Бродовой, 1994). Задавшись геометрией, составом и условиями залегания геологических тел, описывающих объект, и определенными их физическими свойствами и решая прямую задачу геофизики, можно установить характеристики расчетных геофизических аномалий для различных уровней эрозионного среза. Меняя гео-



Рис. 27. Принципиальная схема декомпозиции тел щелочно-ультраосновного состава юго-восточного Беломорья

метрию, условия залегания и физические свойства вмещающих и продуктивных образований, возможно спрогнозировать диапазон эффективного действия того или иного метода. К сожалению, последующий этап — имитационное моделирование — использовался крайне редко. Существуют только отдельные частные модели (рис. 14—17).

Суммируя вышеизложенное, следует отметить: а) наиболее детально разработаны петрофизические модели кимберлитовых трубок Золотицкого рудного поля (в первую очередь — петромагнитные); б) разработанные модели относятся к типовым, детерминированным; в) в процессе исследований крайне слабо использовалось имитационное моделирование; г) наиболее полно охарактеризован только один класс моделей — кимберлитовые трубки взрыва. Практически отсутствуют обобщенные модели более крупных таксонов кимберлитового магматизма, трубок взрыва родственных пород (пикриты, базальтоиды, переходные разности) и тел иной геометрии (силлы).

Переходя к аномалиям-«помехам», отметим, что модель помех описывает любые случайные факторы, влияющие на эффективность применения геофизических методов и вызывающие искажение или осложнение полученной с их помощью информации (Бродовой, 1987; Светов, 1992). Значительное повышение точности измерения геофизических полей (в первую очередь магнитного), детальности исследований, особенно в связи с изучением в подавляющем большинстве слабоконтрастных аномалообразующих объектов, круг регистрируемых помех значительно расширился, а их уровень повысился.

В целом среди помех выделяются следующие (Бродовой, 1994): геологические — отражение в физических полях случайных изменений геологического разреза; геоморфологические — влияние морфологии дневного и погребенного рельефа; петрофизические — случайные изменения петрофизического разреза; физические — проявления физических полей-помех; методические, вызванные отклонениями в методике от инструктивных или проектных требований; аппаратные — воздействие на результат измерений аппаратных погрешностей; погрешности обработки.

Следует отметить, что, как правило, помехи носят сложный, комплексный характер и обусловлены влиянием нескольких факторов.

В исследуемом регионе наиболее детально изучались петрофи-

зические помехи и взаимосвязанные с ними геологические, физические и частично геоморфологические (в основном обусловленные погребенным рельефом). Наименее изучены методические, аппаратные помехи и погрешности обработки. Последние зависят от используемых алгоритмов, качества и точности обработки геофизической информации, выбранных параметров фильтрации, сглаживания, осреднения, трансформаций, недоучета влияния других геологических объектов или вызванных ошибками в определении геологической природы аномальных полей, выборе эталонных объектов, использовании аналитических выражений, не отвечающих морфологии исследуемых тел. Погрешности этого класса более подробно рассмотрены выше.

Методика петрофизического моделирования базируется на проведении исследований на объектах с известной геологической моделью (ГМ). ГМ должна содержать данные о строении трех элементов модели: собственно объекта, вмещающей его среды и зоны перехода от последней к объекту. При этом должна быть обеспечена возможность изучения характера изменения физических свойств всех элементов моделируемого объекта в занимаемом ими объеме.

На данный момент условия изучения объектов-«помех» не удовлетворяют ни одному из указанных требований.

Методика проверки аномалий бурением ориентирована на установление наличия или отсутствия искомого объекта, а не природы источника аномалии. ЛМА разбуривается одиночными скважинами, положение которых определяется характеристиками аномалии (чаще всего по результатам разностных трансформант), иногда при этом учитываются данные электроразведочных работ. При отрицательных результатах проверки после проходки 1—3 скважин бурение прекращается. Во всех случаях «ложная» аномалия разбуривается только в эпицентральной зоне и не пересекается вкрест простирания профилем скважин с выходом за ее пределы (в «нормальное» поле). По керну заверочных скважин изучается магнитная восприимчивость (χ) горных пород, что позволяет в ряде случаев подтвердить факт вскрытия источника магнитной аномалии и только формально установить ее природу.

Для работ по петрофизическому моделированию недостаток применяемой системы проверки состоит в том, что она не только не дает необходимого представления о геологическом строении объекта в целом и не обеспечивает изучение объекта в объеме, но

и не позволяет получить сравнительные данные по свойствам объекта и вмещающей среды. Ограниченная доступность объекта для изучения существенно осложняет возможность их сравнения, решения задачи типизации объектов-«помех» и разработки петрофизических моделей (ПФМ).

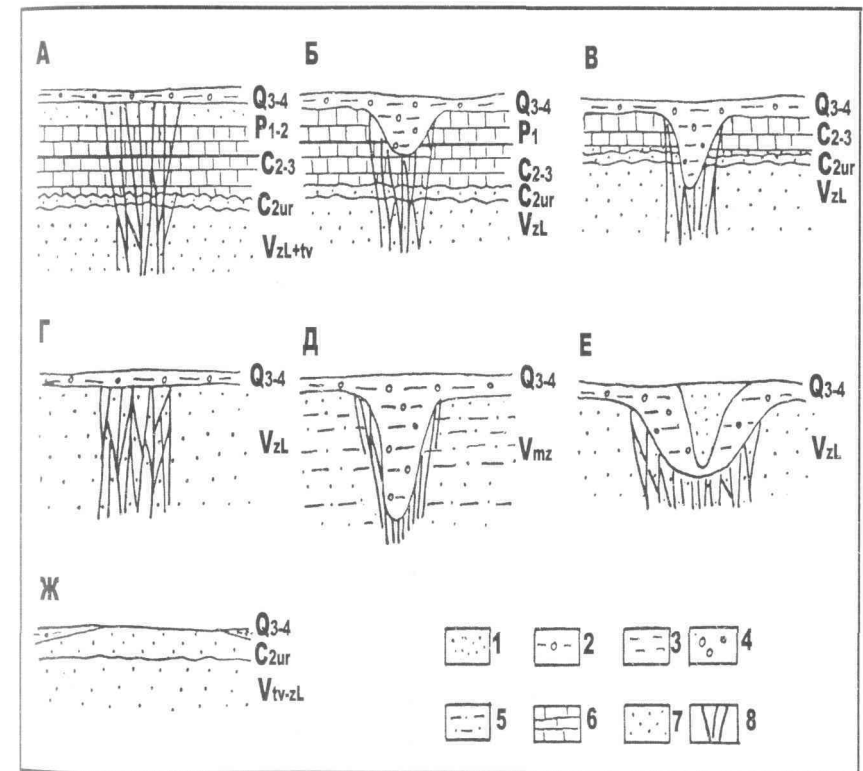


Рис. 28. Типы объектов-«помех» (по данным петрофизических исследований)

Q₃₋₄ — четвертичные отложения; P₁₋₂ — ниже- и верхнепермские отложения нерасчлененные; P₁ — нижепермские отложения; C₂₋₃ — отложения среднего и верхнего карбона нерасчлененные; C_{2ur} — отложения урзугской свиты среднего карбона; VzL+tv — золотицкие и товские слои венда нерасчлененные; VzL — золотицкие слои венда; Vmz — отложения мезенской свиты венда
Условные обозначения: 1 — пески; 2 — суглинки; 3 — глины; 4 — валунно-галечные отложения; 5 — алевриты; 6 — известняки; 7 — песчаники; 8 — тектонические нарушения

В результате анализа данных объекты-«помехи» были разделены на три группы: а) с однозначно установленной геологической природой аномалий; б) объекты, вопрос о геологической природе которых по имеющимся данным однозначно не решается; в) объекты с неустановленной природой аномалий.

Типизация по геологической природе источника магнитных аномалий была выполнена для объектов первой группы. В основу типизации были положены стратиграфическая принадлежность и характер развития отложений — источников «помех» (рис. 28). То есть решалась только прямая задача — определение аномалообразующего источника, а не обратная — типизация аномалий и выявление критериев их классификации.

Таким образом, несмотря на проведенные работы по петрофизическому исследованию и моделированию аномалий-«помех», полученные результаты явно недостаточны для решения проблемы разбраковки геофизических аномалий. Такая ситуация связана как со сложным характером аномалообразующих объектов, так и с методикой выделения и проверки аномалий.

Глава 3

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ РЯД ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Представления о региональных и локальных закономерностях размещения кимберлитов постоянно совершенствуются по мере поступления новых геолого-геофизических данных. Тем не менее такие минерагенические таксоны, как провинции, субпровинции, пояса, районы, поля, кусты, до сих пор не обрели структурных очертаний и различными исследователями оконтуриваются по-разному. Кимберлиты и связанные с ними алмазы возникают в процессе эволюции подкоровых оболочек литосферы, а месторождения алмазов размещаются в верхних частях земной коры, преимущественно в осадочном чехле древних платформ. Поэтому закономерности размещения разноранговых алмазоносных объектов можно успешно исследовать только на основе совместного анализа особенностей строения верхнемантийного субстрата и структур земной коры. Это, вероятно, наиболее типичный случай, когда к изучению условий размещения месторождений применимы основные положения «нелинейной» металлогении. В данной ситуации, когда ни один из общепринятых методов (ГСЗ, ГМТЗ, гравимагнитометрия) не дает однозначной информации, следовало бы для надежности располагать совокупностью данных по всем вышеперечисленным методам. Однако в большинстве регионов отсутствуют дорогостоящие исследования методами ГСЗ и ГМТЗ, и вряд ли они будут проведены в ближайшее время. Поэтому прогнозирование кимберлитовых таксонов (во всяком случае, с ранга районов и полей) проводилось и будет проводиться в основном по результатам анализа особенностей строения потенциальных полей с привлечением всей совокупности дополнительных данных.

Уменьшить неоднозначность решений можно только на основе иерархического подхода к проявлениям кимберлитового магматизма. Необходимо исследовать связи, характеризующие соподчине-

ние частных моделей, образующих ранги объектов. При этом переход от ранга к рангу необходимо осуществлять через закономерное группирование так называемых элементарных ячеек (объемов): рудное тело, куст, рудное поле, рудный район, пояс, субпровинция, провинция.

Как показали исследования (Главатских, 1992; Кутинов, 1992; Чистова, 1996; Фельдман, Олофинский, 1991), эти таксоны тесно связаны между собой в признаковом пространстве. В то же время свойства крупных минерагенических таксонов не сводятся к простой сумме входящих в них более мелких рангов геологических тел, являются интегрированными и в определенной мере независимыми. Будучи сложными системами, они организуются по иерархическому принципу — делятся на элементы более низкого ранга и включаются в качестве элементов в более сложные системы. Каждая частность и каждое единичное явление в такой системе зависит не только от условий в нем самом, но и также от условий целого, единиц более высокого порядка, в которые они включены, т. е. изолированная часть ведет себя иначе, чем в составе целого (Бродовой, 1989).

С другой стороны, целое обнаруживает свойства и отношения, которые отсутствуют у его частей, взятых отдельно. Иными словами, необходимо изучать иерархический ряд моделей и связи между рангами, а не только модели конкретных рудных тел.

Как и для любого поискового объекта, основное значение имеют его внутреннее строение, размеры, а также наличие геологических признаков, обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого эффекта. Причем к последнему относятся требования как практической реализуемости, так и экономической целесообразности.

Существующие критерии прогноза кимберлитов в соответствии с их масштабом можно разделить на региональные, среднемасштабные, локальные и узколокальные. В первом случае выделяются провинции, субпровинции и пояса, во втором — районы и поля, в третьем — узлы и в последнем — непосредственно диатремы. Исходя из этого положения, нами в первую очередь учитывались: состояние проблемы (гл. 2); изученность территории геолого-геофизическими методами; применимость известных критериев и признаков к исследуемому региону.

3.1. Методика тектонического районирования региона

Вся исследованная территория обеспечена среднемасштабными гравиметрической и магнитной съемками, проведенными подразделениями СЗГТ в шестидесятые годы. В результате гравиметрических работ масштаба 1:200000 построены карты силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя $2,3 \text{ г/см}^3$. Результативные карты составлены с сечением $2 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Специализированной гравиметрической партией № 9 СЗПГО на всю территорию Архангельской области на основе съемки масштаба 1:200000 была построена сводная гравиметрическая карта масштаба 1:500000 с сечением изоаномал $2 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$. В результате аэромагниторазведочных работ построена карта аномального магнитного поля масштаба 1:200000 с сечением изодинам 1 мЭ.

Все материалы грави- и магнитных съемок подвергались математической обработке, в результате которой получен пакет трансформант потенциальных полей с различными радиусами осреднения. Таким образом, на всю площадь исследований имеются кондиционные среднемасштабные карты потенциальных полей, которые были положены авторами в основу выделения общих закономерностей строения фундамента региона и отражения среднемасштабных таксонов кимберлитового магматизма в геофизических материалах.

Степень изученности Зимнебережного района крупномасштабными геофизическими исследованиями во многом определяется их поисковой направленностью. Поскольку наибольшим поисковым эффектом в данном регионе обладают магнито- и электроразведка, то изученность его этими методами наиболее детальна.

На всей площади работ различными исследователями с различной аппаратурой проведены высокоточные аэромагнитные съемки масштабов 1:10000—1:25000, по результатам которых построены карты аномальной и локальной составляющих магнитного поля масштаба 1:25000. Сечение изодинам на картах аномальной составляющей 5—10 нТ, локальной — 1 нТ. В 1985—87 гг. ЛГЭ СЗПГО был составлен комплект карт и их трансформаций масштаба 1:25000—1:10000 на часть площади исследований. Сводная карта магнитного поля по материалам крупномасштабных высокоточных съемок на всю территорию работ отсутствует. То есть изучен-

ность Зимнебережного района магниторазведочными работами достаточна для решения задач среднемасштабного прогноза.

Почти вся территория покрыта аэроэлектроразведочными работами ДИП-А масштаба 1:25000, проведенными в двух- и трехчастотном варианте, направление полетов — субширотное. По материалам съемок построены карты продольной проводимости и их трансформанты масштаба 1:50000. Глубинность метода составляет 50—150 м в зависимости от геологического строения территории, и материалы пригодны для выделения дизъюнктивов в верхней части осадочного чехла.

Анализируя материалы, авторы сделали ряд выводов: а) основным источником информации о структурно-тектоническом строении региона являются результаты геофизических работ; б) наиболее равномерно территория изучена среднемасштабными исследованиями и в меньшей степени крупномасштабными аэромагнито-электроразведочными работами; в) отсутствие сводных крупномасштабных геофизических карт и неодинаковый подход исследователей к их математической обработке затрудняет использование материалов в рамках единого формально-логического подхода; г) наличие материалов разного масштаба и разной глубинности исследований позволяет реализовать иерархический подход к среднемасштабному прогнозированию; д) детальность геологических исследований и их направленность крайне затрудняют выделение малоамплитудных тектонических дислокаций в осадочном чехле. Дефицит фактического материала может быть восполнен анализом рельефа, результатами дешифрирования и геохимических работ.

Для выделения таксонов кимберлитового магматизма авторы в своих исследованиях применяли ряд подходов и методов с целью уточнения разломно-блокового строения региона и роли разрывных нарушений в эволюции литосферы и контроле кимберлитового магматизма.

Проблемы слоисто-блокового строения земной коры в глобальном масштабе обычно находят свое отражение при планетарных тектонических обобщениях (Билибина, 1983; Деменицкая, 1982; Красный, 1984 и др.). В региональном масштабе эти вопросы возникают при изучении глубинного строения щитов древних платформ (Блоковая тектоника., 1986) и значительно слабее освещены для регионов, перекрытых платформенным чехлом.

В своих построениях мы базировались на концепции слоисто-

блоковой структуры земной коры, предложенной и разработанной В. Е. Хаином, В. В. Белоусовым, А. В. Пейве и Н. А. Беляевским. При этом геоблок нами понимается в толковании Л. И. Красного — как глыбовый элемент тектоносферы, отражающий ее специфическую делимость на крупные структуры земной коры, обладающие характерными чертами литогенеза, магматизма и метаморфизма, а также относительно автономной историей геологического развития. В геолого-геофизическом аспекте проблема делимости («дискретности») земной коры связана с выделением блоковых структур и обоснованием их субгоризонтальной *расслоенности* (Белоусов, 1975; Борисов, 1967; Хаин, Михайлов, 1985). В основе решения этой проблемы лежит выделение зон глубинных региональных разломов, представляющих планетарную сеть ограничений блоковых объемных структур различных порядков.

Эти представления о делимости земной коры являются относительно инвариантными по отношению к многочисленным концепциям и наиболее полно и фактографически могут быть использованы в *минерагенических* построениях, в оценке потенциальной *рудонности* блоковых структур. Нами была сделана попытка на основе уточнения структурно-тектонического строения региона, как активного способа геолого-структурного анализа, создать схему иерархического соподчинения структур региона, уточнить их пространственное положение, воссоздать историю их развития.

Как указывалось ранее, главным методом изучения земной коры и верхней мантии (в т. ч. слоистого строения литосферы) до настоящего времени остается метод ГСЗ в различных модификациях. Однако, несмотря на развитие сейсмических методов изучения земной коры (ГСЗ, МОВЗ, МОВ, ОГТ), многие аспекты строения литосферы еще нуждаются в экспериментальном подтверждении и носят вероятностный характер (Глубинные исследования., 1989).

На сегодня твердо установленным фактом является региональная прослеживаемость и выраженность двух основных границ земной коры — фундамента и поверхности Мохо. То есть в целом наиболее корректно трассирование только двух практически повсеместно существующих границ поверхности фундамента и Мохоровичича, которые выделяются при ГСЗ разными классами упругих волн. Все иные границы в земной коре намечаются лишь локально и, как правило, только по одному классу волн. Граничная скорость волн на поверхности Мохо изменяется мало и, за редким исключе-

нием, колеблется в пределах 8,0—8,4 км/с (Строение земной коры..., 1977). Однако при детализации исследований параметры мощности коры начинают очень сильно изменяться даже в пределах небольших регионов. Поэтому не исключено, что на Севере Русской плиты с его достаточно высокой степенью блоковой делимости мы имеем сильно осредненные значения мощности земной коры. Кроме того, в районах, где проведены детальные сейсмические исследования методом отраженных волн, установлена не одна граница М, а несколько (Геологическое строение СССР... Т. 1, 1985). Таким образом, при наличии нескольких границ раздела М, отдаленных друг от друга на 8—10 км, карта структурной поверхности Мохо теряет смысл.

Исходя из вышеизложенного, наиболее корректно выделение блоков по характеру потенциальных полей, и в первую очередь точное определение местоположения и характера ограничений блоковых структур. Основную роль здесь играют гипсометрия поверхности фундамента, строение и вещественный состав гравимагнитно-активного слоя (10—15 км) как интегрального показателя истории развития блоковых структур. Сейсмические профили не обладают достаточной пространственной детальностью для оконтуривания блоковых структур и служат в первую очередь для выяснения их глубинного строения. Наиболее реально (в силу их контрастности) выделение структурных различий по геотраверсам для блоков первого порядка (мега- и геоблоков).

Методика выделения блоковых структур на территории Балтийского щита, где возможны прямые геологические наблюдения, достаточно подробно изложена в ряде работ (Блоковая тектоника..., 1986; Строение литосферы..., 1993). Для Севера Русской плиты объем прямых геологических данных, свидетельствующих о его петрографическом составе и тектоническом районировании, крайне ограничен. Выделение блоковых структур базируется на материалах качественной и количественной интерпретации магнитного и гравитационного полей. В основе выводов лежит предположение о продолжении в пределы региона архейских и нижнепротерозойских структур Балтийского щита. Данные, полученные по геотраверсу ГСЗ Мурманск—Кызыл, свидетельствуют о правильности последней предпосылки (Гидросфера и литосфера..., 2001).

Выделяемые блоки в геофизическом аспекте являются участками земной коры с однотипными для каждого из них гравитацион-

ными и магнитными полями. К периферическим частям таких структур приурочены линейные участки дискретных изменений геофизических параметров, маркирующие границы блоков.

Как показали исследования, крупные аномалии Ag отражают делимость земной коры на блоки, но вычленивать и оконтурить разномасштабные блоки и линейно-блоковые структуры невозможно без предварительной иерархической классификации этих структур и выявления их типоморфных признаков. Поэтому районирование и ранжирование геопотенциальных полей проводилось на основе следующих критериев: масштаб неоднородностей аномалий (выделение аномалий разных порядков); тип симметрии (разделение аномалий по степени линейности); насыщенность аномалиями более высоких порядков. Для объемного представления площадных неоднородностей привлекались сейсмические данные и разрезы физических параметров земной коры.

В качестве исходного материала использовались мелко- и среднемасштабные карты потенциальных полей и их трансформанты, геологические, геохимические и топокарты масштаба 1:1000000—1:200000, результаты КМПВ, МОВ, ГСЗ, ГМТЗ, бурения и дешифрирования космо- и аэрофотоматериалов.

3.2. Свойства разломов, методики выделения разломных структур

Свойства разломов оказывают непосредственное влияние на выбор методики среднемасштабного прогнозирования и рассматривались нами наиболее детально наряду с анализом эволюции разломно-блоковых структур. Анализ показал, что эти свойства выглядят следующим образом:

1. До настоящего момента нет полного представления об особенностях латерального и вертикального строения разломов, особенно глубинных, и, соответственно, о характере выражения последних в геопотенциальных полях и других материалах. Глубинность разломов наиболее точно можно определить только по данным глубинного сейсмического зондирования, сеть профилей которого довольно редка. Косвенным доказательством может служить также возраст ограниченных ими блоков, хотя этот вопрос является дискуссионным, особенно для раннедокембрийских структур.

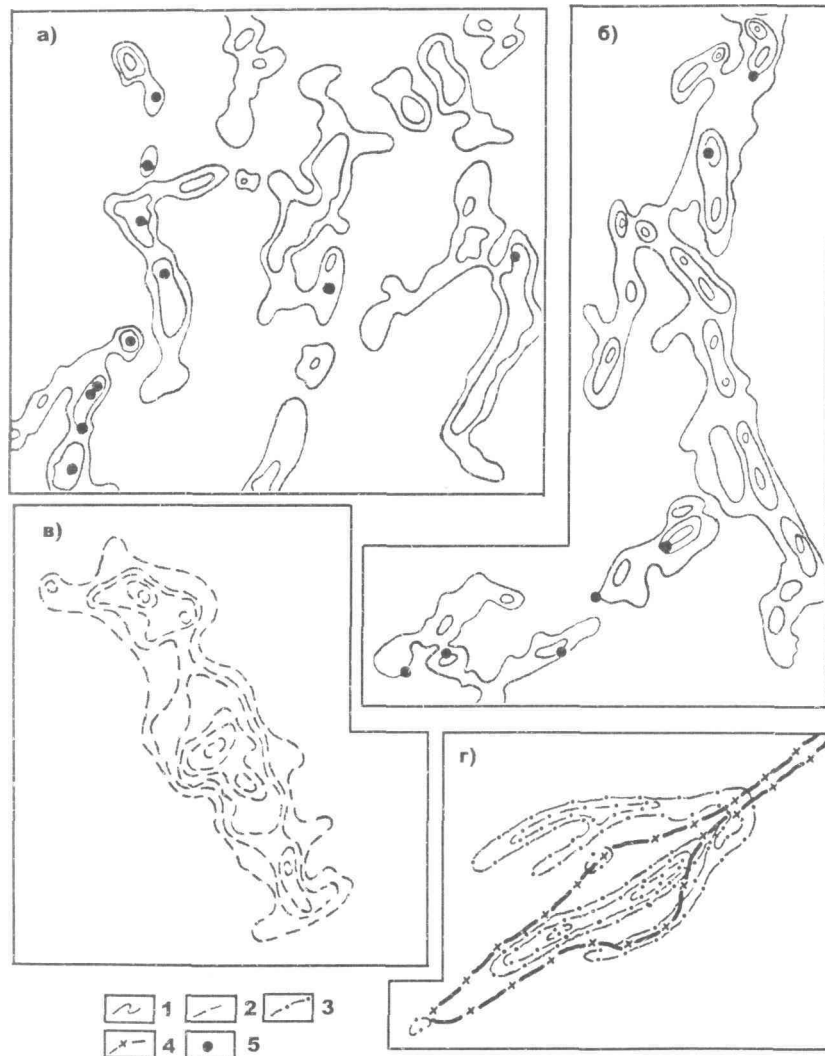


Рис. 29. Результаты сопоставления материалов

а—б) зоны повышенной электропроводимости по данным аэроэлектроразведочных работ; в) строение разлома (Лобацкая, 1987); г) результаты атмосферической съемки (Клименко и др., 1986).

1 — изолинии Белок; 2 - изолинии плотности разрывных нарушений; 3 - изолинии содержания глубинных газов; 4 - контур трубки взрыва; 5 - трубки взрыва

2. Любое разрывное нарушение в зависимости от детальности исследований можно представить либо в виде дизъюнктивной границы (условной плоскости), либо геологического тела, объем которого формируется в результате линейной деструкции коры. В последнем случае удобнее говорить не о разломе, а о зоне его динамического влияния (ЗДВР). Под ней понимается область деформирования, связанная с формированием разлома и движениями по нему, в пределах которой горные породы подвержены реологическим, физическим, петрографическим и структурным преобразованиям (Лобацкая, 1987).

Детальное изучение внутренней структурной организации разрывных нарушений (Белоусов, 1985; Внутреннее строение..., 1985; Лобацкая, 1987) разного масштаба показывает, что вкрест и по простиранию ЗДВР обособлены отдельные дискретные области с разным типом нарушенности земной коры. Вкрест простирания выделяются осевые полосы максимальной нарушенности, к центральной части которых приурочен магистральный разлом. Осевая полоса ограничена серией крупных сопутствующих разрывов, отделяющих ее от менее интенсивно нарушенных блоков — крыльев разлома. Дискретным строением характеризуются ЗДВР и по простиранию: области, где кора нарушена минимально, чередуются с областями, в которых она нарушена максимально, и это находит отражение в геофизических материалах (рис. 29).

Первым соответствуют линейные участки магистрального разлома, практически лишенного сопутствующих разрывов; вторым — деструктивные поля. При картографическом изображении разломных зон обычно выносятся магистральные разломы или их осевые линии, а детали ЗДВР опускаются. Таким образом, часть трубок (иногда до 60%) оказывается вне разломов.

3. В различные эпохи активно проявлялись не все разломы, а часть из них, порой не на всем своем протяжении, а лишь на отрезках, заключенных между разломами других простираний. Блоки испытывали разнозначные движения, что приводило к перемещению по площади участков прогибания и относительного поднятия, границы блоков при этом часто переходили от одних разломов к другим, и величина движения блоков была неодинакова по их границам и разломам, проходящим внутри них (Башилов, 1984). Все это приводило к тому, что на своем протяжении разломы при трассировании меняют характеристики в геолого-геофизических материалах.

4. Большинство исследователей в своих построениях, как правило, используют две системы разломов — ортогональную и диагональную, в то время как существует минимум шесть систем (Кац, Полетаев, 1984; Солдатов, 1989; Тяпкин, Кивелюк, 1982; Тяпкин, 1986), играющих значительную роль в строении земной коры, в том числе и в Архангельской провинции (Кутинов, 1991 б).

5. На территории севера Восточно-Европейской платформы подавляющее большинство разломов являются нарушениями со смещением слоев в теле и на поверхности фундамента, а в осадочном чехле им обычно соответствуют узкие зоны трещиноватости, флексуорообразные перегибы (Башилов, 1983, 1984; Кутинов, 1991 а).

При этом выраженность разломов в рельефе вовсе не означает, что они разрывают со смещением слои осадочного чехла. Специальные наземные маршруты, проведенные по площади региона, показали, что зачастую в зонах подобных линейментов приповерхностные слои чехла залегают горизонтально и при обычных геологических наблюдениях в них не обнаруживается каких-либо заметных дислокаций (Башилов, 1983, 1984). В то же время к ним приурочены выходы минерализованных вод, они подчеркиваются спрямленными участками гидросети, берегов болот и озер, т. е. хорошо выраженными ландшафтными аномалиями, происхождение которых, вероятно, связано с зонами трещиноватости в осадочном чехле над разломами фундамента.

6. Анализ физических параметров (рис. 10) показывает, что наиболее плотными, скоростными и высокоомными породами разреза являются породы фундамента с $\rho = 2,70 \text{ г/см}^3$, $\chi = 99 \times 10^{-5}$ ед. СИ, $\rho = 3540 \text{ Ом} \times \text{м}$, $V_p = 5600 \text{ м/с}$. Плотность пород меняется в широких пределах — от 2,60 в гранито-гнейсах до 3,16 г/см^3 в амфиболитах.

Отложения доплитного комплекса (рифей) характеризуются также аномально высокими средневзвешенными значениями магнитной восприимчивости, плотности и удельного электрического сопротивления эффузивов солозерской свиты (соответственно 1200×10^{-5} ед. СИ, $2,52 \text{ г/см}^3$, $1300 \text{ Ом} \times \text{м}$).

Таким образом, можно отметить, что в пределах региона наиболее четко следится основная граница раздела физических параметров, приуроченная к поверхности кристаллического фундамента, а в пределах грабенов возможно наличие магнитоактивной границы, связанной с кровлей отложений солозерской свиты. В строении

фундамента возможно выделение вещественных неоднородностей состава по наличию грави- и магнитных аномалий. Наличие геоплотностной границы позволяет выделить блоки и дизъюнктивные высокоамплитудные нарушения фундамента. Все остальные нечетко выраженные границы раздела играют подчиненную роль и не оказывают существенного влияния на характер потенциальных полей.

Одной из основных задач исследования было выделение с максимально возможной точностью, достоверностью и объективностью разломно-блоковых структур региона и связи с ними проявлений кимберлитового магматизма. При этом основное внимание уделялось выделению в полном объеме сквозных малоамплитудных тектонических дислокаций как фундамента, так и осадочного чехла. По мнению авторов, наиболее точно соответствуют предъявляемым требованиям в геологических условиях региона следующие методики: составления карт плотности, изотропности и специфичности гидросети (Милашев, 1979), составления карт систем разломов, предложенная К. Ф. Тяпкиным (Тяпкин, Кивелюк, 1982) для изучения разломных структур геолого-геофизическими методами; методика «геометрического» прогноза, предложенная сотрудниками Новодвинской ГФЭ, составления карт комплексных геохимических аномалий и геохимических узлов. Необходимо отметить, что ни одна из полученных карт не заменяет другую, наибольший эффект дает только комплексное их применение, которое реализовано авторами в картах структурно-тектонического строения региона и прогноза размещения щелочно-ультраосновного магматизма. Комплексное использование выбранных и модифицированных в процессе исследования методик позволяет оценить такие необходимые для прогноза параметры тектонических тел, как их ширина, точное пространственное положение, «шаг» и простираение разломов, определенное с точностью $\pm 2^\circ$, а также выделить малоамплитудные тектонические дислокации осадочного чехла, наследующие разломы фундамента. Все перечисленные параметры являются индикаторами тектонического строения региона и взаимосвязаны между собой. Вместе с тем они отражают разные стороны явления, усиливая его достоверность и значимость в прогнозных построениях.

Разломы фундамента Балтийского щита и Севера Русской плиты относятся к разряду глубинных долгоживущих структур. Судя

по геологическим и радиогеохронологическим данным, они возникли в конце архея — начале протерозоя и неоднократно подновлялись в более поздние периоды. С наибольшей полнотой они проявились на Балтийском щите, где наиболее полно и систематически были изучены (гл. 1).

Специальных обобщающих исследований дизъюнктивной тектоники территории Севера Русской плиты практически не проводилось. Разрывные нарушения лишь фиксировались на тектонических, структурных и других схемах, а их характеристики обычно отсутствуют.

Разломы фундамента, как правило, намечались по результатам гравиметрической и аэромагнитной съемок. В значительно меньшей степени тектонические нарушения трассировались по материалам сейсморазведочных работ (МОВ, КМПВ, МОГТ) в основном на площадях, перспективных на нефть и газ, и еще в меньшей степени по материалам электроразведки (исключая территорию Зимнего берега) и бурения. Причем масштабы применения последних явно недостаточны для мелко- и особенно среднемасштабных корректных тектонических построений. Поэтому такие вопросы, как роль разрывных нарушений в геологической эволюции структур региона, их геологическая и морфокинематическая характеристика, классификация разломов (за исключением Балтийского щита), к настоящему времени слабо изучены.

Геофизические критерии являлись определяющими при выделении разломов в фундаменте платформы. Признаки выделения разломов общеизвестны и достаточно широко освещены в специальной литературе, применительно к региону они более подробно рассмотрены в главе 4.

Ограниченная обнаженность территории значительно затрудняет систематическое площадное изучение тектонического строения прямыми геологическими методами. Построенные разными авторами мелкомасштабные карты и схемы блоковой тектоники региона, несмотря на существенное сходство, несут и определенные принципиальные различия не только в определении генезиса и истории развития структур, но и в их пространственном размещении. Особенно наглядно это проявляется при сравнении карт, построенных по результатам дешифрирования космофотоматериалов и геоморфологических исследований, и карт интерпретации геопотенциальных полей.

С целью уточнения пространственного размещения разрывных структур нами была построена карта расположения систем разломов масштаба 1:1000000.

В основу построений была положена новая ротационная гипотеза (Тяпкин, Кивелюк, 1982). Применяемая методика позволяет объединять результаты изучения поверхностных и глубинных структур. Используемые приемы достаточно подробно изложены в работе К. Ф. Тяпкина (Тяпкин, 1986).

Построения сводились к следующему: выделение устойчивых азимутов простирания линейных элементов, построение карт индикаторов разломов, построение карт расположения систем разломов. Исходным материалом служили: карты потенциальных полей масштаба 1:200000, уменьшенные до масштаба 1:1000000; карта результатов дешифрирования космоснимков масштаба 1:1000000; топокарты масштаба 1:1000000.

На первом этапе проводились замеры длин и азимутов линейных элементов, по результатам которых строились гистограммы и розы-диаграммы. Так как ориентировка многих линейных элементов не всегда точно совпадает с простиранием тектонических границ, истинные азимуты разломов определялись как средние по максимумам на розах-диаграммах (радиус осреднения — 3—5°).

При составлении карт индикаторов по ранее выделенным направлениям выносились индикаторы тектонических структур. К ним относились спрямленные участки гидросети, линеаменты КФС, а в потенциальных полях — градиентные ступени, оси линейных аномалий, зоны потери корреляции и границы областей с разной морфологией поля.

На последнем этапе проводились объединение линейных элементов по участкам сгущения индикаторов и построение карты расположения систем разломов, что позволяет выделять дизъюнктивы как геологические тела, то есть оценить одну из важнейших характеристик разрывных нарушений — их ширину.

Методика выделения разломов, предложенная К. Ф. Тяпкиным, была разработана и апробирована на территории Украинского кристаллического щита. В ней в качестве основной рассматривалась только карта расположения систем разломов, а остальные материалы, полученные в процессе обработки, использовались только на начальном этапе и в дальнейшем не рассматривались. Учитывая, что исследуемый регион характеризуется широким развитием оса-

дочного чехла, авторы сочли должным использовать в качестве самостоятельных и основных материалов также розы-диаграммы и карты элементов-индикаторов разломов (Кутинов, 1992). Полученные материалы, дополненные розами-диаграммами частот встречаемости элементов-индикаторов и графиками азимутального распределения средних длин последних, позволяют сделать выводы не только о закономерностях пространственного размещения дизъюнктивов и их соподчиненности, но и о физической форме разрывных нарушений на разных структурных этапах и о преобладающих режимах тектонического развития разломно-блоковых структур региона.

Сопоставление роз-диаграмм, построенных по территории Архангельской области (рис. 30, 31) (в рамках трапеции Q-37-38, P-37-38) и отдельных ее частей (рис. 32—36), а также различных регионов СССР (Жаворонкин, 1989; Кутинов, 1990, 1991 б; Солдатов, 1986; Тяпкин, Кивелюк, 1982), позволяет сделать вывод о том, что мы имеем дело с универсальным свойством геокинематики недр, т. е. деление земной коры, во всяком случае с архея (Башилов, 1983, 1984), происходило по одним и тем же системам разломов.

Кроме того, для более четкого выделения структур и геологических неоднородностей в строении площади были построены карты плотности, изотропности и специфичности гидросети по методике В. А. Милашева (Милашев, 1979). Эти показатели использовались как индикаторы степени дезинтеграции земной коры.

Полученные материалы позволяют по-новому взглянуть на строение региона. Статистический анализ азимутального распределения признаков разломов в физических полях и природной обстановке показал, что одни и те же направления имеют максимальное представительство на космофотоснимках и в геоморфологических материалах, отражающих современные напряжения в земной коре, и в потенциальных полях, фиксирующих в основном строение докембрийского фундамента региона (рис. 31, 33—36). Этот факт говорит об определенной «консервативности» разрывных дислокаций и о длительной истории их развития, что, несомненно, нашло свое отражение в строении осадочного чехла и было подчеркнуто экзогенными процессами. Это обеспечило проявление практически всех тектонических систем коренных пород на дневной поверхности.

Для закрытых платформенных территорий, к которым относятся Европейский Север (исключая Балтийский щит и складчатое

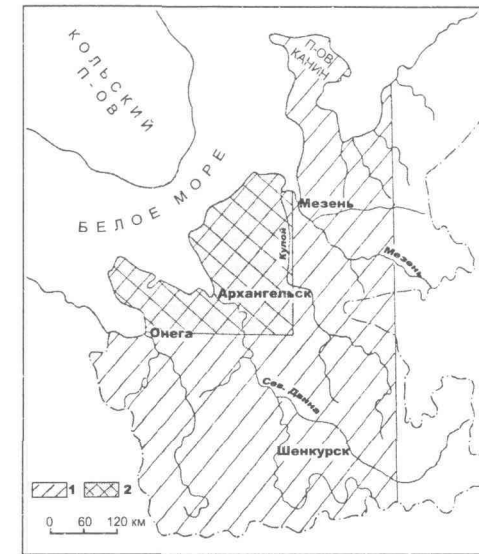


Рис. 30. Схема расположения площадей статистической обработки данных

1 — масштаба 1:1000000; 2 — 1:200000

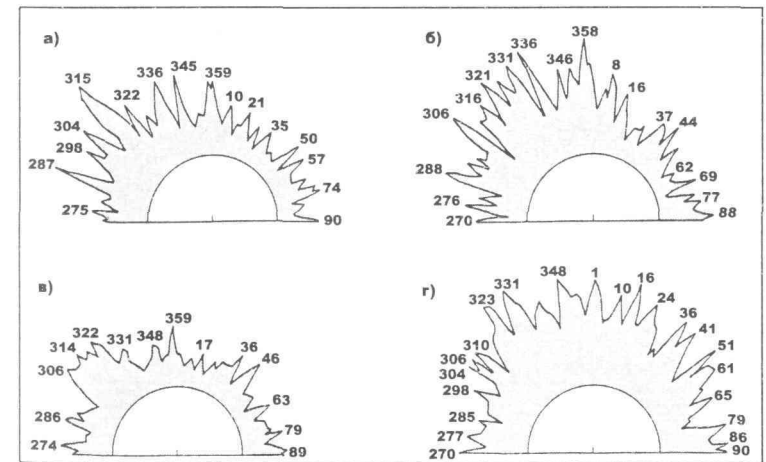


Рис. 31. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов:

а) поля силы тяжести; б) магнитного поля;

в) космофотолинементов; г) гидросети



Рис. 32. Схема районирования юго-восточного Беломорья для статистической обработки данных

- 1 — Онежский п-ов; 2 — Зимнебережный район;
3 — Мезенский район

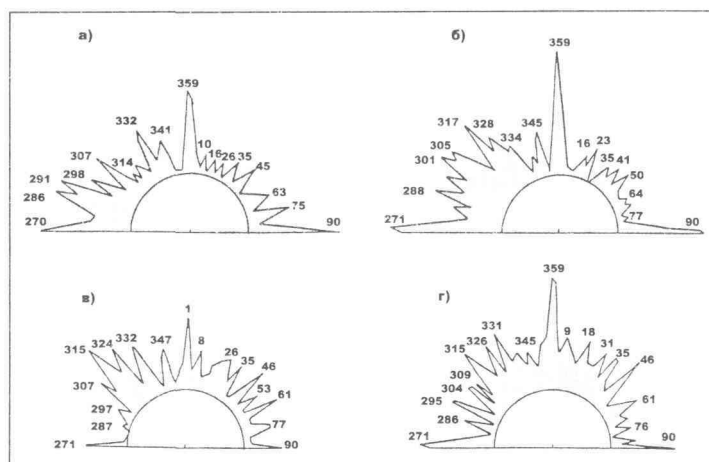


Рис. 33. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов юго-восточного Беломорья:

- а) поля силы тяжести; б) магнитного поля; в) космофотолінеаментов; г) гидросети

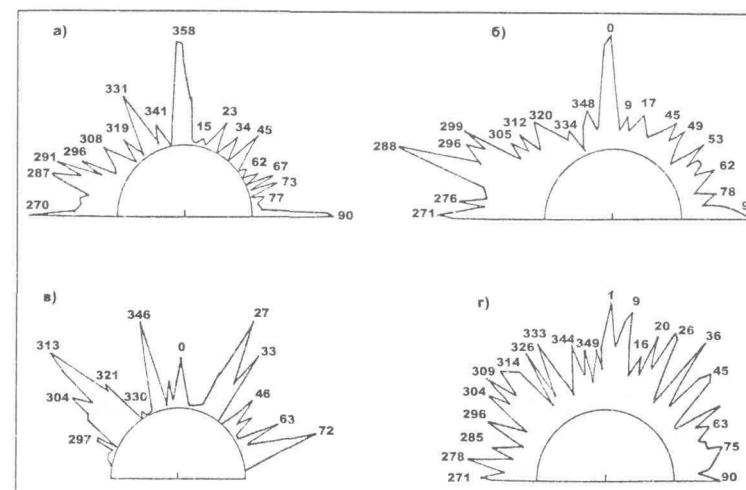


Рис. 34. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов Зимнебережного района:

- а) поля силы тяжести; б) магнитного поля;
в) космофотолінеаментов; г) гидросети

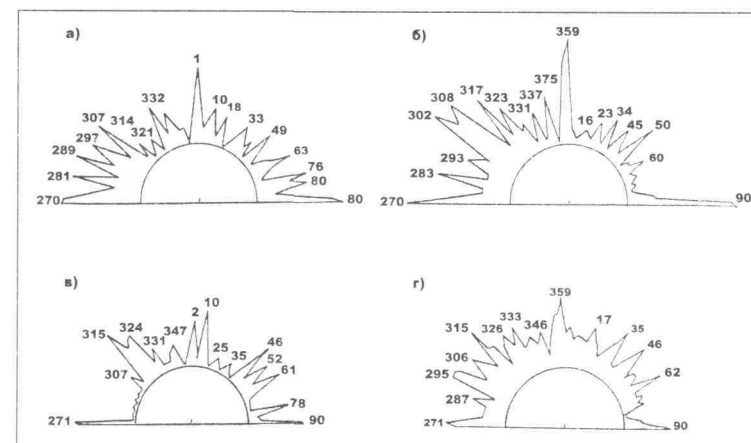


Рис. 35. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов Мезенского района:

- а) поля силы тяжести; б) магнитного поля;
в) космофотолінеаментов; г) гидросети

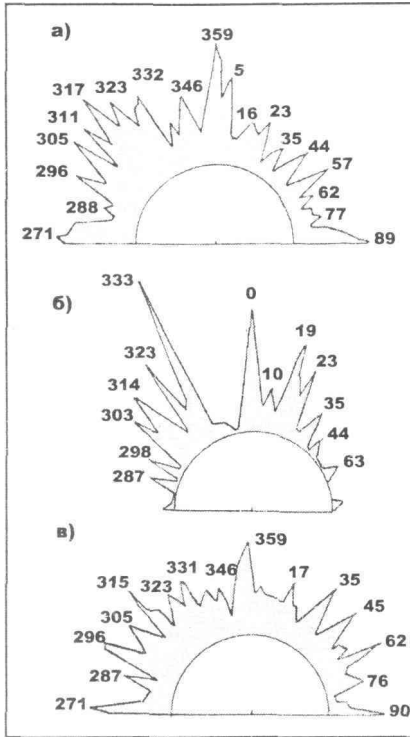


Рис. 36. Розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов Онежского полуострова:

- а) поля силы тяжести;
- б) магнитного поля;
- в) космофотолинеаментов;
- г) гидросети

ответственно либо совпадают с дизъюнктивами, установленными по геолого-геофизическим данным, либо являются «оперяющим» по отношению к ним. Это подтверждает генетическую связь новейших разрывных нарушений с глубинными разломами. Данные по гидрогеологии и геотермии фундамента и осадочного чехла в ряде случаев способствуют выделению или подтверждению разрывных нарушений. Аномальные значения геотермических градиентов и температур отмечаются во многих зонах тектонических нарушений в различных горизонтах осадочной толщи (Структура платформен-

обрамление Печорской синеклизы), одним из возможных геологических методов установления разрывных нарушений является бурение. В целом, разрывные нарушения, выделенные или подтвержденные материалами бурения, немногочисленны. Это объясняется, с одной стороны, слабой выраженностью разрывов в отложениях осадочного чехла, а с другой — почти полным отсутствием скважин, пробуренных вблизи или в зонах тектонических нарушений.

Геоморфологические, гидрогеологические и геотермические критерии разрывных нарушений весьма многочисленны. В современном рельефе территории разрывы находят свое отражение в виде прямолинейных уступов и переломов склонов междуречий, спрямленных участков морских террас и береговых линий современных и древних морей, лагун, озер, речных долин и болот. Разрывные нарушения, выделяемые по этим признакам, в подавляющем большинстве простран-

ного чехла., 1982), что позволяет не только судить о проникновении нарушений в осадочный чехол, но и оценивать их флюидопроводимость.

Анализ гидрогеологических и гидродинамических особенностей платформенного чехла (Невская, Дедеев, 1973; Любомиров, 1977 и др.) дал возможность сделать вывод о наличии на ряде площадей в зонах разрывных нарушений отчетливых зон пьезоминимумов в девонских и реже вышележащих комплексах. Эти зоны возникают в результате интенсивной разгрузки и соответствующего снижения гидростатического давления при нарушении разрывами экранирующих свойств покровов гидрогеологического комплекса.

Анализ полученных роз-диаграмм позволил выделить семь систем разломов с азимутами простирания: 359 и 89°; 17 и 287°; 26 и 296°; 35 и 305°; 45 и 315°; 62 и 332°; 77 и 347°, определенных с точностью $\pm 2^\circ$, а также наметить систему 52 и 322°. При несомненном сходстве розы-диаграммы имеют и отличительные черты. Сопоставление интенсивности проявления линейных элементов по-

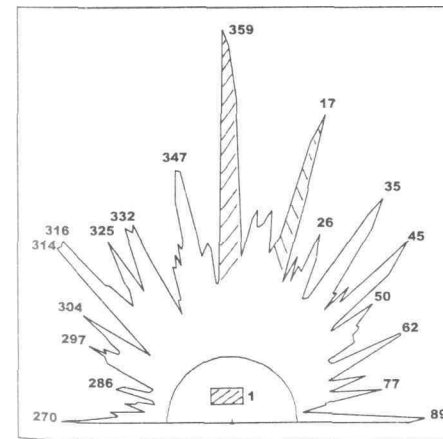


Рис. 37. Роза-диаграмма азимутального распределения спрямленных границ вендских отложений

1 — преобладающие направления простирания границ вендских отложений

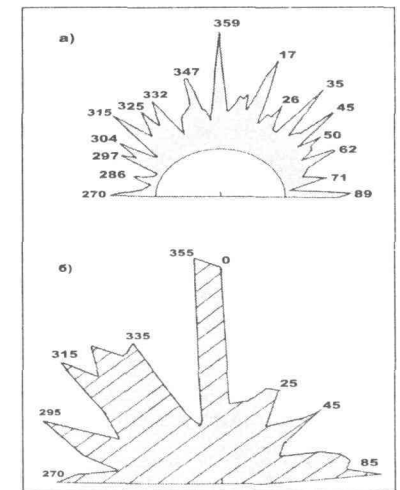


Рис. 38. Розы-диаграммы:

а) спрямленных отрезков геологических границ вендских отложений; б) парных направлений трещин взрыва

казывает, что в геопотенциальных полях преобладают разломы северо-западного простирания. Розы-диаграммы гидросети и КФС более изотропны. Это связано, вероятно, с наследованием в осадочном чехле не только северо-западных нарушений, связанных со структурной перестройкой фундамента в рифее (Гриб, 1986), но и структур северо-восточного простирания, обусловленных более поздними этапами активизации. Как правило, одно из направлений в любой из вышеперечисленных систем и количественно и качественно преобладает над ортогональным ему. Так, если структуры северо-восточного простирания фиксируются в основном как зоны нарушения корреляции гравимагнитных аномалий и границы областей с разной морфологией поля, то северо-западные — градиентными ступенями и осями региональных аномалий. Безусловно, эти особенности указывают на различие тектонических режимов и специфику разноориентированных разломов в рамках одной системы. Иными словами, система разломов представляет собой динамо-пару, работающую в режиме растяжения-сжатия (Кутинов, 1991 б).

Сопоставление азимутов простирания элементов-индикаторов тектонических нарушений с розой-диаграммой спрямленных участков геологических границ (рис. 37, 38) убедительно показывает, что преобладающие простирания совпадают. Таким образом, подтверждается контроль распространения осадочных отложений тектоническими структурами. На это указывают и другие исследователи (Станковский, Якобсон, 1986).

Наличие крупных флексур в осадочном чехле сопровождается образованием зон трещиноватости. Поскольку приуроченность локальных структур к флексурам осадочного чехла повсеместна, а флексуры отображают крупные разломы фундамента (Изучение тектонических структур, 1984), то скорее всего большинство зон является приразломными структурными формами, поэтому наличие тектонических дислокаций в осадочном чехле можно считать установленным.

3.2.1. Методика обработки топографических материалов

В работе намеренно уделялось повышенное внимание анализу рельефа территории на основе топокарт масштаба 1:200000. При этом учитывалось следующее:

— топографические карты, обладая высокой степенью генерализации, содержат морфологическую и морфометрическую характеристики района. Последняя в значительной мере связана с физическими полями за счет тесной связи процессов изостазии и высот современного рельефа (Волчанская, Сапожникова, 1990);

— при исследовании новых районов не всегда удается применить критерии локализации кимберлитового магматизма, выделенные по геолого-геофизическим данным, по чисто «техническим» причинам — отсутствию аналогичных по детальности работ.

Применение анализа рельефа в прогнозных целях имело два основных аспекта. Во-первых, являлось вспомогательным методом, позволяющим при сравнительно малых затратах выделять древние геологические структуры, проявляющиеся в современном рельефе благодаря следующим факторам: неотектонической унаследованности структурных планов более древнего заложения (Губин, Коркин, 1986; Кутинов, 1991 а; Милашев, 1979; Тяпкин, Кивелюк, 1982) (конформности неоструктурного плана), за счет процессов препаирования агентами денудации зон повышенной проницаемости либо за счет так называемого эффекта просвечивания — приспособления поверхностных экзогенных процессов к границам скрытых глубинных масс различной плотности (Кутинов, 1991 а, б). Во-вторых, применение подобных методик имеет и самостоятельное значение, поскольку многие структурные формы, в том числе и рудоконтролирующие, устанавливаются лишь с помощью геоморфологических методов (Волчанская, Сапожникова, 1990; Милашев, 1979, 1984 а, б, 1990).

Проявление кимберлитового магматизма невозможно представить без нарушения недр, предопределяющих доставку магмы с больших глубин на поверхность. А поскольку магматизм на ограниченных изометричных площадях, именуемых кимберлитовыми полями, носил массовый характер, то следует полагать, что нарушение фундамента и чехла достаточно интенсивно и степень нарушения возрастает сверху вниз.

Практика изучения Якутской провинции позволила установить приуроченность кимберлитовых полей к блокам, характеризующимся повышенной плотностью и изотропностью мегатрещиноватости (Милашев, 1979, 1984 а, б, 1990).

Авторами были отстроены карты плотности, изотропности и специфичности гидросети, т. к. анализ показал определенную

«консервативность» разрывных дислокаций и длительную историю их развития, что нашло свое отражение в строении осадочного чехла и дневной поверхности.

Использование для этой цели карт осей локальных аномалий проводимости (Кутинов, 1991 а) показало их достаточно хорошую сходимость. В то же время на карты изотропности, плотности и специфичности зон повышенной проводимости существенное влияние оказывают методика проведения исследований (рис. 11) и отсутствие сводных карт на всю территорию.

Таким образом, использование гидросети в качестве индикатора степени дезинтеграции земной коры является обоснованным.

Розы-диаграммы строились путем осреднения по 10-градусным интервалам наблюдаемой длины и ориентировки спрямленных отрезков гидросети, снятой с топокарт масштаба 1:200000 методом скользящего «окна». Учитывая размер рудных узлов и их ориентировку в субмеридиональном направлении, размер «окна» был принят 8 x 10 км с перекрытием 50% по вертикали и горизонтали.

Для вычисления изотропности гидросети применялась формула

$$q = \sqrt{l\sqrt{n}} : L, \text{ где } L — \text{длинная и } / — \text{перпендикулярная к ней короткая}$$

оси круговой диаграммы, n — число лучей в «розе» при 10-градусном интервале разбивки. Плотность (b) рассчитывалась как суммарный показатель длины спрямленных участков гидросети в «окне». Обобщающий показатель специфичности (p) определялся как произведение плотности на показатель изотропности: $p = b \times q$.

Для более четкого выделения разноранговых структур и геологических неоднородностей в строении площади исходные поля подвергались дальнейшей обработке, заключающейся в выделении их региональной и локальной составляющих различными «окнами» фильтрации — 8 x 10, 16 x 20 и 24 x 30 км. Наиболее информативными оказались данные, сглаженные «окном» 16 x 20 км.

Достоинством данной методики является следующее:

— возможность выделения на количественной основе как площадных, так и линейных структур не только осадочного чехла, но и фундамента и, по-видимому, более глубинных горизонтов земной коры. Тектонический рельеф, наличие, размер и конфигурация разнородных блоков фундамента проявляются на уровне современного эрозионного среза в региональной картине преобладающих

простираций мегатрещиноватости и в локальных нарушениях ее структурного рисунка;

— возможность выделения малоамплитудных дислокаций, слабо проявленных в потенциальных полях;

— отсутствие необходимости проведения дорогостоящих работ.

При использовании карт в прогнозных построениях принимались как перенос моделей Якутской провинции, так и ситуаций, выделенных эмпирическим путем в Зимнебережном районе. Для реализации первого подхода выделялись площади, характеризующиеся совпадением аномалий повышенной плотности и изотропности гидросети, которые рассматривались как перспективные на поиски кимберлитовых полей. Дальнейшее сопоставление материалов показало, что этой эмпирической закономерности подчиняется не более 40% трубок взрыва.

Поэтому для переноса ситуации, характерной для магматических тел Зимнебережного района, авторами использовалась собственная методика совместного анализа плотности и специфичности гидросети как индикаторов современного состояния тектонических напряжений в верхних частях разреза земной коры.

При этом выделялись площади, которые по значениям вышеуказанных параметров наиболее характерны для большинства участков с известными трубками взрыва. Для этого были построены вариограммы значений плотности (b), изотропности (q) и специфичности (p) гидросети для участков с известными проявлениями кимберлитового магматизма (рис. 39). На вариограммах выбирались b , q , p , присущие наибольшему количеству (не менее 2/3 от общего числа) диатрем. Для каждого отдельного параметра оценивалась перспективность площади в узлах сети 4x5 км по принципу дихотомии. Перспективность в точке (Р) принималась равной 1 при значении в ней поля в пределах выделенных на вариограммах интервалов и равной 0 при величинах, не входящих в эталонную выборку. Путем суммирования значений перспективности, определенных по отдельным параметрам в каждой точке (Р_b, Р_q, Р_p), определялся суммарный критерий перспективности $R_{\text{сум.}} = R_b + R_q + R_p$. Числовые значения были представлены в виде карты изолиний. Площади с $R_{\text{сум.}} \geq 2$ выделялись как наиболее сходные по сумме значений плотности, изотропности и специфичности гидросети участками.

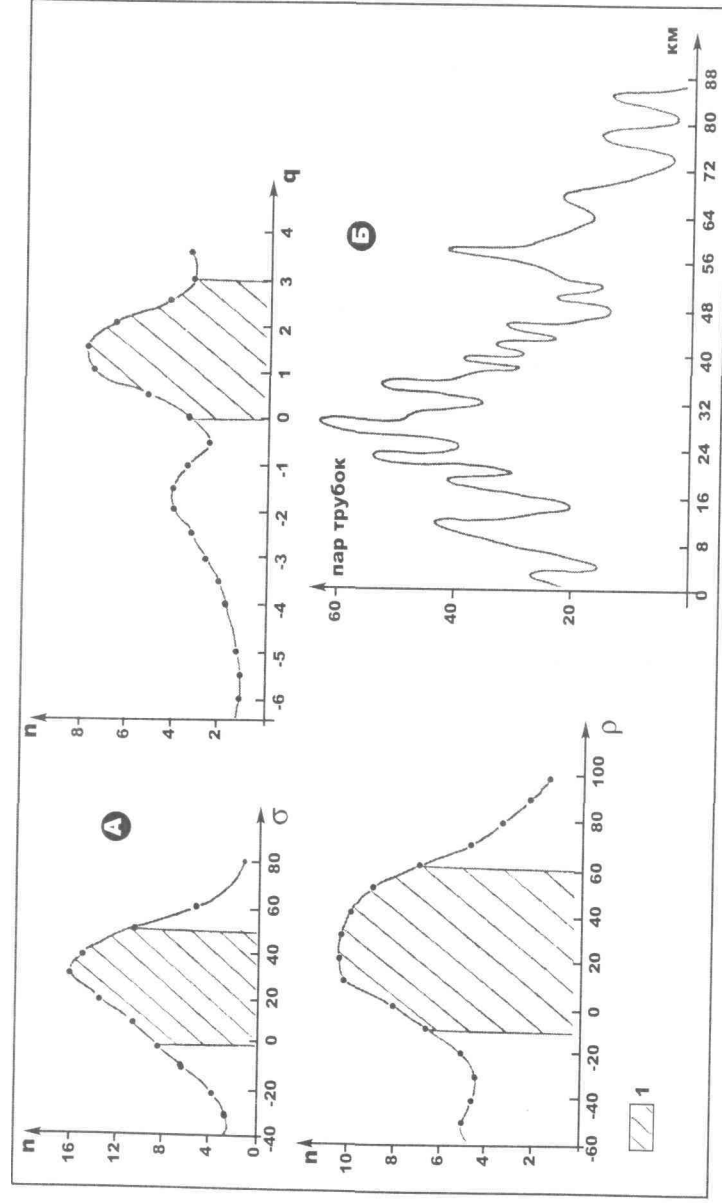


Рис. 39. Поисковые признаки кимберлитовых полей
 А — графики распределения значений гидросети: плотности (σ); изотропности (q); специфичности (p); n — количество трещок взрыва; Б — спектр парных расстояний между трещками взрыва.
 I — интервал значений, принятый как перспективный при прогнозировании

3.2.2. Составление структурно-тектонической карты района

Тектонические карты являются одним из исходных геологических документов для подсчета потенциальных запасов различных полезных ископаемых. На этих же материалах базируется разработка генеральных планов перспективного планирования поисков почти всех видов минерального сырья. Поэтому любое региональное геологическое исследование, претендующее на полноту и обоснованность выводов, должно сопровождаться составлением различных тектонических карт.

Их разработка является активным способом геолого-структурного анализа, т. к. только с его помощью исследователь может создать логическую, внутренне непротиворечивую схему иерархии пространственного расположения разнообразных и разновозрастных структур района и воссоздать историю их развития.

Созданию структурно-тектонической карты предшествовало составление карты поверхности кристаллического фундамента, базирующееся на анализе априорного геолого-геофизического материала. Процесс заключался в критическом рассмотрении результатов аналогичных работ и использовании их и новых данных, не учтенных при их проведении.

В качестве исходных были приняты данные бурения, сейсморазведки КМПВ и МОВ, а также количественные расчеты, проведенные по материалам грави- и магниторазведки. С этой целью на карту выносились значения глубин залегания фундамента, полученные в результате предшествующих исследований. При этом данные сейсморазведочных работ и структурно-параметрического бурения использовались для оценки точности построения и расчетов как наиболее достоверные.

В суммарном гравитационном влиянии различных аномалообразующих факторов основным является дифференциация состава и плотности земной коры. Работами в районах Восточно-Европейской платформы, не подвергшихся тектоно-магматической активизации, показано, что амплитуда аномалий, вызванных возмущающими массами гравитационно-активного слоя верхней части консолидированной коры мощностью 10—15 км, составляет 70—80% общей амплитуды (Геофизическая характеристика..., 1988). Как показали данные ГСЗ, в районах расположения кимберлитовых полей Сибири (Фельдман, 1988) и Зимнебережного района степень

неоднородности сейсмологического разреза и поэтому геоплотностного, в пределах земной коры вплоть до верхней мантии, увеличивается сверху вниз. Таким образом, аномальное гравитационное поле несет в основном информацию о распределении масс внутри земной коры. Задача определения глубины залегания фундамента решается по гравиметрическим данным менее успешно, так как в большинстве районов платформы отсутствует тесная закономерная связь между интенсивностью аномалий силы тяжести и рельефом фундамента из-за преобладающего влияния его состава. Это положение подтверждается результатами корреляционного анализа, выполненного по 17 профилям ГСЗ и КМПВ в различных районах Восточно-Европейской платформы (Геофизическая характеристика..., 1988). Они показывают, что корреляционная связь наиболее значима и близка к линейной лишь на участках крутых склонов прогибов и впадин, где резкое изменение глубин создает достаточно интенсивные аномалии силы тяжести. Но и в этих относительно благоприятных условиях глубина залегания поверхности фундамента определяется по аномалиям силы тяжести с погрешностью не менее 20—25%.

Наиболее многочисленные определения глубин залегания кровли кристаллических пород имеются по данным крупномасштабных магниторазведочных работ. Общепринятым считается, что благодаря эрозионным процессам, нивелировавшим поверхность фундамента, массивы магнитных пород выходят непосредственно на эту поверхность или залегают близко к ней, т. е. определяемая глубина до магнитных пород отождествляется с глубиной поверхности фундамента (Гафаров, 1981; Геологическое строение СССР... Т. 1, 1985). Определенная сложность в совместном использовании этих данных состояла в том, что расчеты выполнялись разными исполнителями по различным методикам. Для их оценки и сопоставления был выполнен повторный расчет глубин по 37 магнитным аномалиям, расположенным достаточно равномерно по площади работ. Расчеты выполнялись методом касательных в модификации А. К. Вейнберга и полумаксима (Инструкция по магниторазведке, 1981), надежность которых подтверждена предшествующими работами (Чистова, 1996). Анализ полученных результатов показал, что расхождения составляют в среднем 15—17% и являются удовлетворительными для данного метода. Учитывая, что некоторые аномалообразующие объекты могут быть приурочены к осадочному чехлу (Кутинов, Чистова, 1987 а, б) или залегать глубже кровли фундамента (Геофизическая характеристика..., 1988), результаты, резко отличающиеся от значений в опорных точках или выпадающие из общего ряда, были исключены из построений и рассматривались отдельно. Для восточной части площади учитывались также определения глубины фундамента, выполненные по методу регрессии (данные В. Н. Коца) с использованием материалов грави-, магниторазведки и сейсморазведки. При построениях учитывались как характер потенциальных полей, так и пространственное положение систем разломов.

Следующим этапом являлось выделение вещественных неоднородностей в составе фундамента. Существуют два подхода к расчленению пород кристаллического фундамента. Одни исследователи выделяют стратифицированные комплексы по возрасту седиментации, другие полагают, что в силу неоднократной глубокой переработки пород процессами метаморфизма и метасоматоза первичный состав и структура не сохранилась, поэтому возрастом пород фундамента следует считать возраст их последней консолидации. Оба подхода правомерны, но для разных целей. При составлении традиционных геологических карт используется первый подход. Он может быть использован при разработке геолого-формационных основ металлогенического районирования. Для выяснения тектонической структуры фундамента и его районирования чаще используется второй подход.

Площадь исследований находится в едином архейском Беломорском геоблоке (Геологическое строение СССР... Т. 1, 1985). Исходя из этого, в составе фундамента выделялись стратифицированные комплексы по возрасту седиментации. Характер потенциальных полей позволил провести районирование фундамента на сравнительно однотипные участки, которым соответствуют крупные структурно- и вещественно-однородные комплексы пород фундамента. В качестве основы были использованы результаты предыдущих работ (данные ПГО «Архангельскгеология» и «Невсгеология» за 80—90-е годы), в которых для Балтийского щита были проведены пересчеты грави- и магнитных аномалий на высоты 1—3 км, что соответствует глубинам фундамента Зимнебережного района. Эти пересчеты дали возможность представить ту или иную аномалию в условиях глубокого залегания геологических тел под осадочным чехлом. Границы вещественных неоднородностей в со-

стае фундамента были уточнены авторами по крупномасштабным картам потенциальных полей.

Основной упор был сделан на выделение тектонических структур и исследование их роли в формировании строения региона. При картографическом изображении разломных зон на карту выносились именно магистральные разломы или их осевые линии, а строение ЗДВР опускалось, но учитывалось при прогнозных построениях. В силу высокой степени генерализации разломы в их полном объеме отражались на картах масштаба 1:1000000, а дизъюнктивы, выделенные по картам потенциальных полей масштаба 1:200000, построенным на основе данных крупномасштабных работ, в основном соответствовали магистральным разломам. По структурному значению разломы подразделялись на ранги в зависимости от структур, ими разграниченных. Кроме того, ряд дизъюнктивов по прямым или совокупности косвенных признаков выделялись авторами как глубинные.

3.2.3. Составление карты геометрического прогноза

Как указывалось ранее, трубки взрыва Зимнебережного района пространственно тяготеют к узлам тектонических нарушений (Кутинов, 1991 а, б), аналогичная ситуация была отмечена и в Якутской алмазоносной провинции (Цыганов и др., 1988 б). Существование подобной закономерности двух пространственно удаленных регионов говорит о существовании генетической связи этих явлений. В связи с принципиальной возможностью привлечения разломов для прогнозирования и поисков кимберлитовых тел, закономерности планового положения дизъюнктивов давно привлекают внимание исследователей. К этим закономерностям можно отнести сложную иерархическую соподчиненность разломов и их пространственную упорядоченность. Под последней подразумевается наличие симметрии в их расположении, выраженной в образовании разломами правильных систем, и наличии гармонической составляющей в пространственном расположении («шаг») разломов (Кац, Полетаев, 1984; Тяпкин, Кивелюк, 1982; Тяпкин, 1986; Четвериков, 1990).

Вывод об упорядоченном делении земной коры неоднократно отмечался (в том числе и авторами данной работы) в многочисленных опубликованных и фондовых материалах. Практически все геологические структуры построены иерархически. Всем иерархиче-

ским уровням свойственна определенная повторяемость. Процессы повторяются как в пространстве, так и во времени.

Характерной чертой геологических систем является та их особенность, что это системы открытые, диссипативные, постоянно обменивающиеся с внешней средой энергией и веществом. И если в равновесных системах диссипативные процессы уничтожают любую упорядоченность и в них устанавливается термодинамическое равновесие, то в открытых системах диссипация выступает в совершенно иной роли (Кнорринг, Деч, 1989). Ее действие приводит к возникновению упорядоченных структур, т. е. открытые системы способны к самоорганизации. Земная кора обладает как минимум двумя важными свойствами для возникновения самоорганизации:

— дискретностью, которая выражается в том, что земная кора является не сплошным агрегатом, а раздробленным на отдельные разного масштаба. Примечательно, что кривая распределения этих отдельных частей носит полимодальный характер и не зависит от физико-химических свойств пород, обуславливающих отдельности. При этом организуется иерархическая последовательность мод, характерных для кривой распределения: отношение моды, приуроченной к более крупным отдельностям, к последующей за ней моде имеет значение, практически близкое к постоянному, равное $3,5 \pm 0,9$ (Кнорринг, Деч, 1989);

— постоянство движений колебательного типа (Губерман, 1987). При поступлении извне энергии Земля, как открытая многокомпонентная система, воспринимает (транспортирует) и преобразовывает (трансформирует) эту энергию. В результате, если сконцентрировать внимание на механических движениях, возникающих при перераспределении энергии, блоки испытывают смещение относительно друг друга.

В геологических процессах, развивающихся в условиях далеких от равновесия, в частности термодинамического, важнейшую роль среди принципов отбора движения играет принцип минимума Диссипации энергии, или, что тоже самое, принцип минимума роста (или максимума убывания) энергии. Он заключается в следующем: среди множества форм реализации процесса, согласующихся с законами физики, реализуется та, при которой энтропия системы Растет наиболее медленно (Кнорринг, Деч, 1989). В локальных масштабах энтропия может и уменьшаться. Этот принцип выделя-

ет наиболее экономный способ движения, при котором диссипация энергии минимальна.

Особенность геометрии геологических процессов заключается в том, что она непосредственно не связана с вещественной, физико-химической стороной геологической среды и протекающих процессов (Четвериков, 1990), являясь универсальным свойством природных образований. Если продолжить построения, то получается следующая внутренне непротиворечивая логическая связь явлений: разломы—системы разломов—выдержанный «шаг», простираение нарушений и разломы—узлы—кимберлиты. Таким образом, теоретически вытекает геометрическая закономерность пространственного положения трубок взрыва. К одному из основных свойств геокинематики относится следующее; в тех случаях, когда генезис геологического объекта определяется действием ряда генетических факторов, каждый из которых имеет свою геометрию, в характеристической симметрии генезиса сохраняются только те элементы, которые оказываются общими для геометрии всех факторов. В данной ситуации одна из сторон многофакторного процесса образования кимберлитовых тел нашла свое отражение в геометрии систем разломов, в первую очередь подчиняясь гармонической компоненте их размещения. В то же время объяснять все закономерности проявления эксплозивного магматизма геометрией разломов — заведомо упрощать сложившуюся геологическую ситуацию.

С целью реализации данного подхода авторы использовали методику, предложенную в свое время сотрудниками Новодвинской ГФЭ С. П. Александровым, В. Л. Третьяковым и М. Г. Губайдуллиным.

Отсутствие строгой геометрической упорядоченности обуславливает необходимость статистического подхода к симметрии. На первом этапе определялись геометрические координаты (X_n , Y_n) 53 магматических тел и вычислялись все парные расстояния между поисковыми объектами. Для установления характера расположения диатрем был рассчитан с шагом 1 мм в масштабе карты и построен спектр парных расстояний (рис. 38).

Наличие хорошо выраженных аномальных «пиков» на спектре парных расстояний (рис. 40) достаточно убедительно свидетельствует о существовании закономерности пространственного размещения кимберлитовых тел и дает возможность использовать данное свойство симметрии геологического процесса при прогнозных построениях.

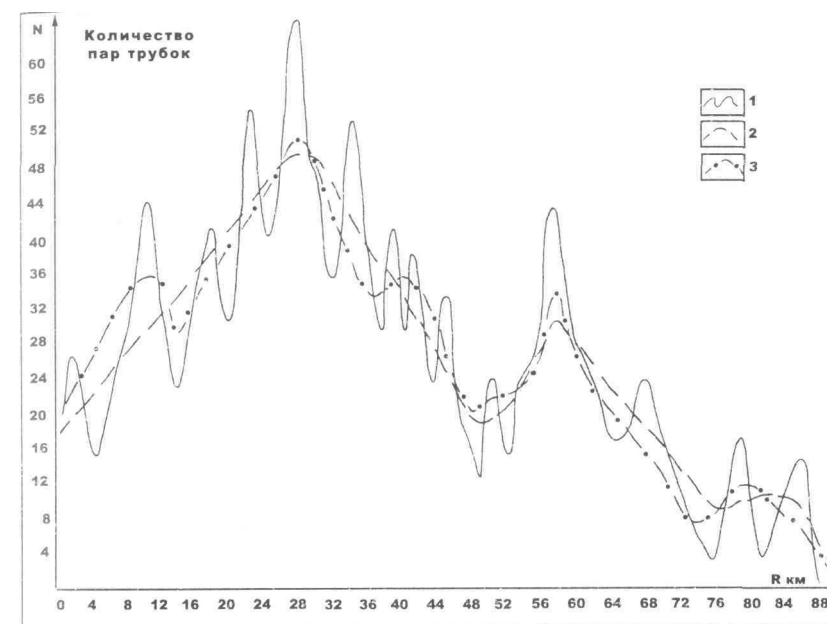


Рис. 40. График спектра парных расстояний между трубками взрыва ! — кривая спектра парных расстояний; 2, 3 — сглаженные кривые спектра парных расстояний

При этом учитывались следующие положения геокинематики: геологическая среда как существовала в прошлом, так и существует в настоящий момент, но в качестве геологического объекта; наложение на геометрию геологической среды геометрии генетических процессов не может увеличить симметрию вновь возникающей геологической среды (Четвериков, 1990).

Анализ спектра парных расстояний показывает достаточно сложный характер выделяемой закономерности. Это связано в первую очередь с суммирующим эффектом данной кривой, обусловленной положением геометрии нескольких систем разломов и наличием нескольких уровней контроля кимберлитовых тел. Помимо локальной составляющей достаточно отчетливо выделяются два низкочастотных «пика» с радиусами 28 и 56 км.

Алгоритм расчета «поля» повышенной вероятности обнаружения поисковых объектов заключался в следующем: для прямоугольной области с расположенными на ней трубками взрыва строилась

сетка с шагом X , Y и граничными координатами X_n , Y_n и X_k , Y_k . Координаты сетки и данные о расположении трубок взрыва брались в единой системе координат. Для каждой точки сетки последовательно определялись расстояния до каждой трубки взрыва.

Точкам присваивались соответствующие значения из ранее отстроенного «спектра» по известным трубкам (N), которые затем суммировались по формуле (1):

$$K_{ij}^r = \sum_{l=1}^m N_{rlij}, \quad (1)$$

где K_{ij}^r — полученные значения «поля» вероятности; i, j — текущие точки сетки, l — номер эталонного объекта, m — общее количество эталонных объектов; N_{rlij} — значение количества парных расстояний, взятое из соответствующего «спектра».

В результате создавалась матрица значений K_{ij}^r , последние нормировались на максимальные встреченные значения и из нормированных значений выделялась локальная составляющая (методом осреднения скользящим «окном»). Была отстроена карта по парным расстояниям в масштабе 1:200000.

3.2.4. Методика обработки геохимических данных

С целью реализации комплексного подхода к прогнозированию проявлений кимберлитового магматизма были использованы результаты геохимических работ в Зимнебережном районе (Главатских, 1992). При исследовании ставились следующие задачи: выявление геохимических признаков кимберлитовых тел и определение их места в ряду прогнозных факторов; районирование территории и выделение площадей, перспективных на поиски трубок взрыва.

В целом для Зимнебережного района по геохимическим параметрам четко выделяются 2 группы пород: первая — породы, слагающие трубки взрыва; вторая — перекрывающие и вмещающие их отложения венда, палеозоя и кайнозоя. Несмотря на вариации вещественного состава магматических тел, в целом выделяются общие черты их геохимической специализации. Исследования показали значительные отличия кимберлитов от осадочных пород района по группе сидерофильных элементов, особенно по хрому и никелю (Главатских, 1992). Особенностью элементов этой группы

является тесная связь с основными первичными минералами кимберлитов, и, как следствие, повышенные содержания элементов в трубках взрыва постоянны и устойчивы. Внутри групп существует также возрастная и литологическая специализация пород. Резко контрастный химический состав кимберлитовых тел по сравнению с вмещающими породами является предпосылкой возникновения геохимических ореолов, элементный состав которых имеет широкий спектр и меняется от трубки к трубке. Постоянными остаются повышенные содержания Ni, Mn, Cr, Co, Zn.

Первичные ореолы развиты согласно рудным телам. Максимальная их ширина приурочена к уровню эрозионного среза трубок взрыва и достигает 100 м для никеля, хрома и кобальта и 1 км для марганца и цинка (Главатских, 1992; Кутинов, 1992).

Элементный состав первичных ореолов наследуют в перекрывающих отложениях и вторичные ореолы. Последние прослеживаются практически по всему разрезу, достигая дневной поверхности, выдержаны по площади и превосходят размеры тел.

Довольно интересна гидрогеологическая ситуация района. Грунтовые и подземные воды четвертичных отложений имеют повсеместное распространение и относятся к ультрапресным и пресным. Такой же показатель имеют и воды карбона. Довольно пестры по составу и минерализации подземные воды вендских водоносных горизонтов. Минерализация их увеличивается с глубиной от 1 г/л до 27 г/л (Родионов и др., 1987). Подземные воды венда напорные.

Воды кимберлитовых брекчий обычно напорные, по химическому составу хлоридные кальциевые и натриевые с минерализацией от 7 до 20,9 г/л. Слабая водопроницаемость брекчий среди более обводненных пород протерозоя, особенности химического состава вод дают основание исследователям (Малов, 2003) предположить, что кимберлитовые тела являются локальными «барражами» в вертикальном разрезе естественных потоков подземных вод вмещающих пород. Обводнение брекчий осуществляется по зонам повышенной трещиноватости.

Исходя из ситуации, можно сделать ряд предположений и выводов: узлы и зоны тектонических дислокаций сопровождаются подъемом вод венда, снижение минерализации которых должно происходить в зоне контакта последних с пресными водами карбона и палеозоя; узлы и зоны разломов должны сопровождаться геохимическими аномалиями, причем более вероятны слабоконтрастные; Трубки взрыва и группы трубок сопровождаются повышенной тре-

щиноватостью и могут служить источником геохимических аномалий.

При этом возникает следующий вопрос: отличаются ли по составу воды протерозоя от вод брекчий трубок взрыва? Учитывая, что на большинстве трубок повсеместно развита кора выветривания, в пределах которой породы сильно выветрены и разрушены, то можно ответить положительно.

Материалы гидрогеохимических исследований указывают на достаточно резкое отличие химического состава вод кимберлитовых трубок от вод, вмещающих и перекрывающих их пород СГ , Na^+ , общей жесткости и минерализации, а также на существование вертикальной зональности в содержаниях тех же компонентов при переходе от пород падунской свиты к усть-пинезжской. Так как перекрывающие отложения и породы падунской свиты не являются источниками повышенных значений СГ , Na^+ , общей жесткости и минерализации, то причиной наличия в поверхностных водах аномальных значений указанных компонентов могут быть как воды глубинных горизонтов, проникающих по зонам трещиноватости, так и связанные с трубками взрыва. Наличие ореолов минерализованных вод вблизи магматических тел подтверждается материалами электрокаротажа скважин и ЗСБЗ (Родионов и др., 1987). Таким образом, несомненно наличие процесса выноса элементов из трубок взрыва, в то же время отличить по геохимической специализации эти воды от протерозойских на данном уровне исследования довольно сложно.

Для решения прогнозных задач было проведено обобщение материалов геохимических работ. Сложность этой задачи определялась различиями в методах исследований, детальности для различных частей территории, а также применением разных методик обработки данных у различных исследователей. Работы по обобщению и переинтерпретации геохимических материалов выполнялись сотрудниками ЦХП Новодвинской ГФЭ под руководством С. П. Главатских и Н. Г. Гуляевой.

Учитывая, что наиболее изученными из геохимических критериев являются потоки рассеяния, а первичные ореолы, в связи с их небольшими размерами, являются малопригодными для среднemasштабного прогнозирования, первым была отведена основная роль при решении поставленных перед геохимией задач. Использовались также результаты гидрогеохимических и биогеохимических

исследований. Поскольку объектами исследований являются слабоконтрастные геохимические аномалии, с целью усиления их контрастности и уменьшения влияния случайных ошибок применялись многокомпонентный и мультипликативный методы обработки. В обоих случаях определялись геохимический фон и аномальное содержание. Проводились вычисление статистических параметров (средних значений, дисперсий, установление законов распределения и корреляционных связей между элементами) и разделение геохимических данных на выборки. Из сформированных выборок исключались аномальные значения (превышающие средние на 3 σ). После исключения аномальных объектов производился расчет и снятие фона и дисперсии. Расчет параметров фоновых распределений производился отдельно для каждой площади работ и внутри площадей для партий проб, проанализированных в разные годы. Затем производилось выявление аномальных содержаний «методом голосования» — путем сравнения значений элементов в каждой пробе с рассчитанными величинами минимально-аномальных содержаний различной значимости.

Для усиления слабоконтрастных аномалий применяется метод мультипликативных аномалий: $\text{Ni} \times \text{Co} \times \text{Cr}$ и $\text{Zn} \times \text{Si} \times \text{V} \times \text{Mn}$.

Аномальные потоки были сгруппированы в геохимические узлы, перспективность которых оценивалась путем сравнения их с узлами известных групп магматических тел.

С целью учета влияния минерализованных вод венда и более корректного использования геохимических данных, в качестве вспомогательной была построена схематическая карта минерализации и содержания хлора в подземных водах вендских отложений. В качестве исходных использовались данные химических анализов вод из скважин, вскрывших вендские отложения, и родников, выходящих из этих отложений. Из-за неравномерности опробования территории построение карт по свитам венда практически невозможно, поэтому была сделана попытка составления карты по всей толще вендских отложений. На топооснову масштаба 1:200000 были вынесены точки опробования и результаты анализов. В связи с тем, что для построения карты в изолиниях фактического материала явно недостаточно, было проведено районирование территории по величине минерализации (интервалы: $< 0,5$; $0,5—1,0$; $1,0—2,0$ и $> 2,0$ г/л) и отражено изменение содержания хлор-иона в подземных водах.

3.3. Региональные геолого-геофизические критерии

Размещение региональных проявлений кимберлитового магматизма определяется следующими факторами: мощностью и составом земной коры, позволяющими процессу эволюции глубинных магм достигать определенного уровня; наличием линейных деформаций на поверхности мантии и в земной коре, инициирующих при определенных условиях формирование мантийных диапиров, над которыми развивается алмазообразование; историей развития алмазоносных структур.

Роль первого фактора достаточно общепризнанна и подтверждается отсутствием кимберлитов и лампроитов за пределами докембрийских платформ, что позволяет рассматривать их в качестве территорий распространения — алмазоносных провинций. Поэтому самая глобальная минерагеническая единица — кимберлитовая провинция — в тектоническом отношении выделяется по границам соответствующей древней платформы. В настоящее время Архангельская провинция большинством исследователей рассматривается в качестве лишь одного из узлов ареала позднедевонского щелочного магматизма, охватившего как минимум всю северную часть Восточно-Европейской платформы (Архангельская алмазоносная..., 1999). Северо-западнее располагается Кольская провинция щелочных пород, среди которых известны многочисленные дайки и трубки ультраосновных фойдитов, оливиновых мелилититов и алмазоносных кимберлитов (Калинкин и др., 1993), известны три трубки оливиновых мелилититов на Среднем Тимане (Мальков, Холопова, 1995), открыты трубки взрыва на территории Финляндии (Копинское поле и др.) (Богатиков и др., 2002). Учитывая связь кимберлитового магматизма с пространственным размещением авлакогенов, следует отметить, что на Восточно-Европейской платформе раннерифейские авлакогены развивались преимущественно в центре, в девонское время новообразованные авлакогены смещались к периферии платформы (Богатиков и др., 2002). В то же время Восточно-Европейская платформа не сохранилась полностью, а была срезана Уральским подвижным поясом. В этой связи раннерифейский центр платформы не отвечает современному, а смещен к востоку. Исходя из этих предпосылок, в результате поисковых работ была показана высокая перспективность центральных регионов платформы на поиски кимберлитов (Ваганов, 2000). Таким образом, можно говорить о Русской алмазоносной провинции.

В пределах последних могут быть выделены кимберлитовые субпровинции, основой которых обычно считают ядра архейской стабилизации или мегаблоки (геоблоки) преимущественно мафического состава земной коры (Духовской и др., 1986), которые характеризуются повышенной мощностью земной коры и широким распространением высокоплотных пород амфиболитовой, гранулитовой и чарнокит-эндербит-гранулитовой ассоциаций. Такие геоблоки интерпретируются как глыбовые элементы тектоносферы, отражающие ее специфическую делимость на крупные структуры, обладающие характерными чертами литогенеза, магматизма и метаморфизма, а также относительно автономной историей геологического развития. Как указывалось ранее, в геолого-геофизическом аспекте проблема делимости («дискретности») земной коры связана с выделением блоковых структур и обоснованием их субгоризонтальной расслоенности. В основе выделения субпровинций лежит картирование (трассирование) региональных зон глубинных разломов, представляющих планетарную сеть ограничений блоковых (объемных) структур.

Мегаблоки являются крупными плотностными и сейсмическими неоднородностями литосферы (рис. 41). Как показал опыт работ на Балтийском щите (Строение литосферы..., 1993), гео- и мегаблоки отчетливо выражаются в гравитационном поле по характерной морфологии и интенсивности аномалий, которые отражают влияние плотностных неоднородностей, находящихся на глубинах 80—100 км.

Необходимость выделения субпровинции в составе Архангельской (Русской) алмазоносной провинции подтверждается также и минералогическими данными (Соболев, 1991). Так, результаты минералогических исследований показали, что трубки взрыва на севере Восточно-Европейской платформы хотя и имеют кимберлитовую природу, но на минералогическом уровне относятся к альнеит-кимберлит-карбонатитовой формации и отличаются не только от трубок Якутии и Африки, но и от сопредельных регионов (Терский берег Кольского полуострова, Тиман).

В качестве субпровинции авторами рассматривается территория Беломорского геоблока, характеризующегося в основном повышенными значениями поля A_g и мафическим (ультрамафическим) характером земной коры. По результатам ГСЗ, земная кора региона разделена на три слоя (Строение литосферы..., 1993): осадочный

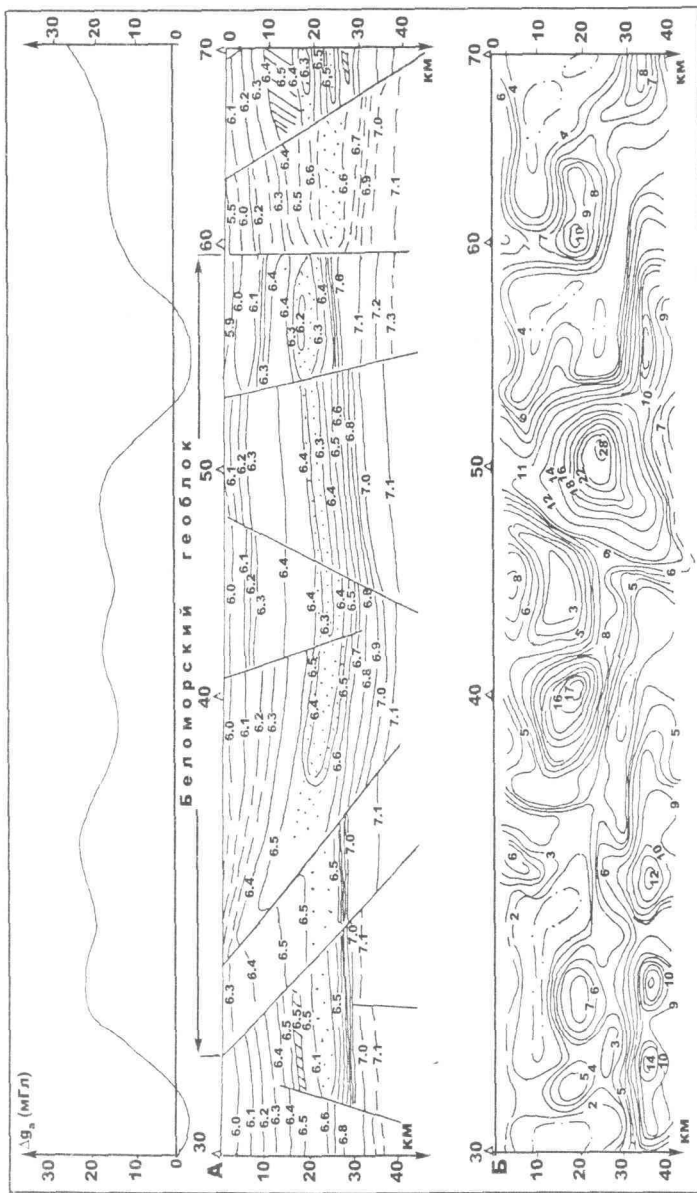


Рис. 41. Фрагмент интерпретации профиля ГСЗ-МОВЗ Вага—Белое море (по материалам Н. Г. Топорковой, 1990 г.)

А — унифицированный разрез Vp; Б — расчетные параметры сейсмонасыщенности (Z_c) — количество преломляющих границ и точек обмена в элементарной ячейке разреза ($H = 10$ км, $x = 10$ км).

1 — зоны повышенных значений параметров; 2 — зоны инверсии

чехол, гранито-гнейсовый и базальтовый слои. В пределах двух последних выделяется ряд дополнительных границ, характеризующих толщи с различными скоростными параметрами (рис. 3, 4). По соотношению мощности гранито-гнейсового и базальтового слоев выделяются три типа земной коры: мафический, мафически-салический («переходный») и салический, выделяемый в районе Предтиманского прогиба и Тимана. Принципиально разное строение земной коры и верхней мантии в пределах каждого геоблока трудно объяснить только глубиной эрозионного среза. По-видимому, единственным объяснением может служить первичная неоднородность литосферы (Геологическое строение СССР... Т. 1, 1985), во многом определившая автономность геологической истории развития гео- и мегаблоков. Различная геологическая позиция геоблоков в раннем докембрии свидетельствует, что уже в то время существовала первичная неоднородность земной коры. В дальнейшем эти особенности оказывали большое влияние и на характер последующих тектоно-магматических проявлений. Так, «мафический» тип коры, ввиду большего различия в физико-механических свойствах слагающих его комплексов пород, был первоначально более проницаем, чем «салический». В этом случае при подъеме магмы на границах слоев с различной плотностью за счет разницы в давлении может возникать «магморазрыв», сходный с гидроразрывом, и формироваться промежуточная магматическая камера (Сычев, 1985). Подтверждение этого предположения получено при анализе материалов по профилю ГСЗ-МОВЗ № 3 (Строение литосферы... 1993), имеющего субширотное простирание и практически на всем своем протяжении находящегося в Зимнегорском авлакогене (рис. 4, 42). Рассматривая волновые характеристики земной коры, следует отметить наличие непосредственно в пределах Золотицкого рудного поля внутрикоровых локальных высокоскоростных аномалий (блоков) в сочетании с низкоскоростными аномалиями, которые располагаются гипсометрически выше. Наличие этих аномалий в земной коре может быть интерпретировано как промежуточная магматическая камера (Фельдман, Олофинский, 1991). Подобный вывод подтверждается данными геоплотностного моделирования (Строение литосферы..., 1993) (рис. 3, 4).

Кроме того, проявления Зимнебережного комплекса расположены между двумя гравитационными аномалиями второго порядка: Одномозерским (Зимнебережным) и Усть-Мезенским миниму-

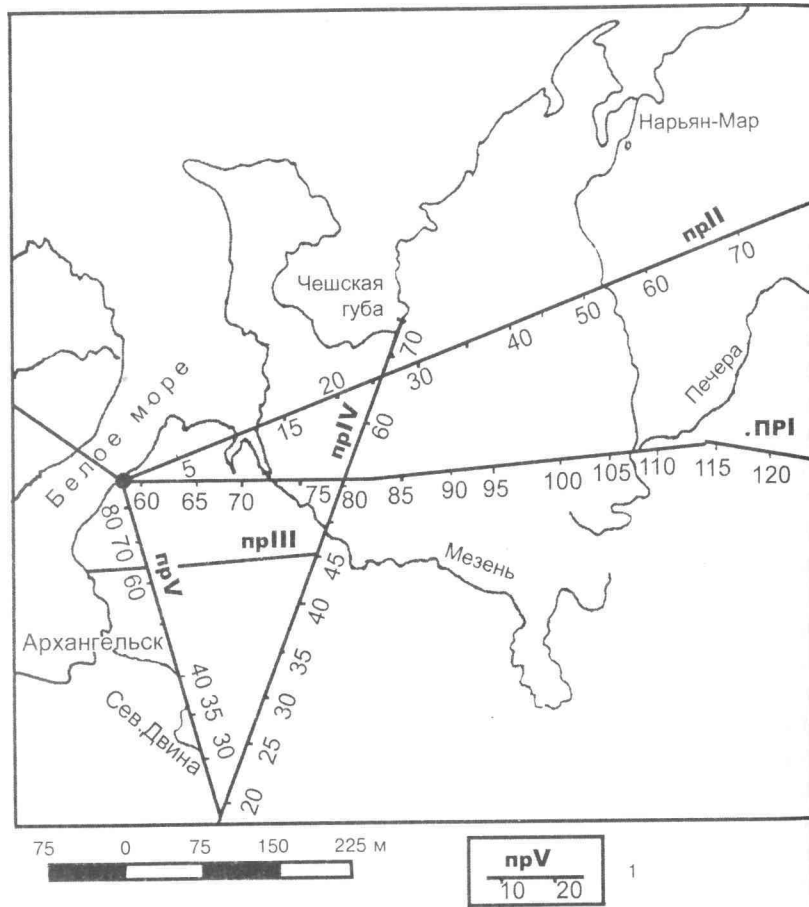


Рис. 42. Схема расположения региональных сейсмических профилей ГСЗ-МОВЗ

I — Мурманск—Кызыл; II — Белое море—Воркута; III — Двинская губа—Мезень; IV — Онега—Чешская губа; V — Вага—Белое море

мами гравитационного поля, которые при трансформации последнего сливаются в одну область повышенных значений поля силы тяжести, включая и Канинский гравитационный максимум (рис. 43). Такое строение поля можно трактовать как наличие крупного мантийного астенолита.

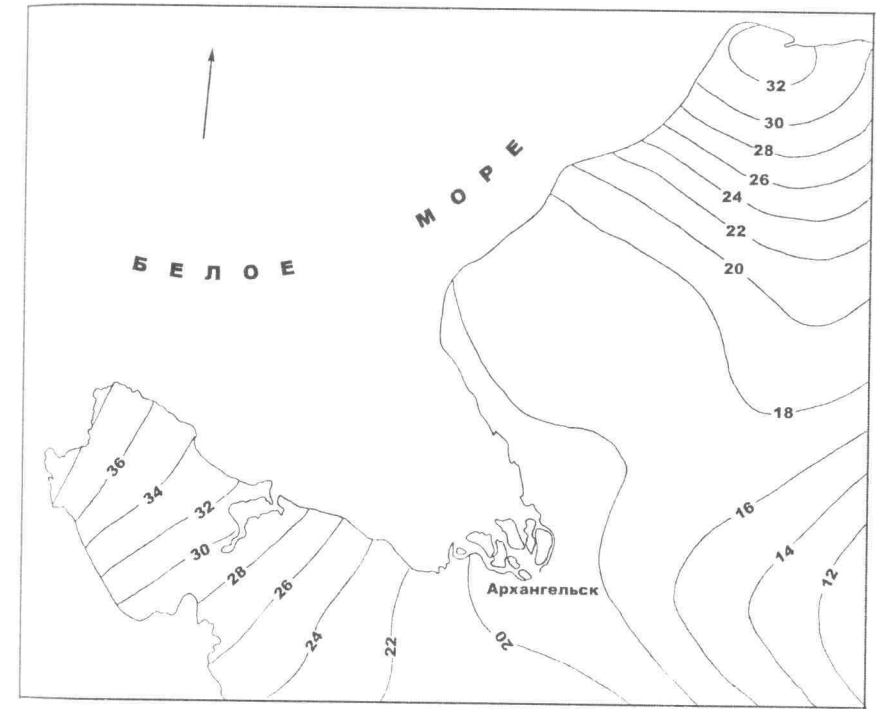


Рис. 43. Фрагмент карты осредненного поля Δg ($\Delta g_{ср} = 100$ км)

В работах, посвященных изучению закономерностей размещения кимберлитового магматизма, уделяется мало внимания рассмотрению геологической природы — кимберлитоконтролирующих поясов и методам их выявления, исключая, может быть, исследования А. А. Фельдмана (Фельдман, Олофинский, 1991). Тем не менее в литературе неоднократно указывалось, что кимберлитовые поля в ряде алмазоносных провинций мира размещаются в виде линейных Цепочек. Характерным примером служит Алакитское, Далдынское и Верхне-Мунское кимберлитовые поля среднепалеозойского возраста в восточной части Сибирской платформы, которые вытянуты в цепочку северо-восточного простирания. После проведения в этом районе сейсморазведочных работ установлено, что линейное расположение кимберлитовых полей обусловлено крутопадающей широкой зоной разрывных нарушений северо-восточного простирания, создающей повышенную проницаемость для мантийных расплавов.

Различные гипотезы по данному вопросу неоднократно выдвигали и исследователи американского континента (Crough et al., 1980; Parrish, Levin, 1982; Sykes, 1978).

С позиций глубинного строения, рассматриваемый регион, как уже отмечалось выше, относится к Беломорскому геоблоку с повышенной плотностью литосферы. Изолинии глубин до поверхности верхней мантии (граница М) в плане образуют специфический рисунок, указывающий на непосредственную связь основных структур земной коры, представленных поясами тектоно-термальной переработки, поясами повышенной проницаемости и рифейскими авлакогенами с особенностями строения верхней мантии (рис. 44).



Рис. 44. Структурно-геофизическая схема размещения поясов повышенной проницаемости (по материалам А. А. Фельдмана, Л. Н. Олофинского, 1991; Ю. Г. Кутинова, 1992)

1 — авлакогены рифейского возраста; 2 — пояса повышенной проницаемости северо-западного простирания; 3 — интрузии щелочно-ультраосновного состава палеозоя; 4 — базит-гипербазитовые интрузии верхнего архея — нижнего протерозоя; 5 — участки проявлений кимберлитового магматизма; 6 — базит-гипербазитовые дайки; 7 — изогипсы поверхности верхней мантии (поверхность М), в км

В свое время В. Е. Хаин и Н. А. Божко (Хаин, Божко, 1988) на территории Балтийского щита выделяли Лапландско-Беломорский пояс тектоно-термальной переработки, образовавшийся в поздне-архейское-раннепротерозойское время. Гранулитовый пояс представлен беломоридами, которые протягиваются вдоль юго-восточного побережья Белого моря, скрываясь далее под осадочным чехлом Русской плиты. При значительной протяженности пояса его ширина варьирует от 30—40 до 100 км. Образование Лапландско-Беломорского пояса связано с процессом раскола и раздвига Кольско-Карельского региона, что привело к деструкции сопредельных континентов и заложению поясов повышенной проницаемости, которые служили каналами для внедрения базит-гипербазитовых интрузий. Пояса повышенной проницаемости, охарактеризованные на западе (Балтийский щит) и на востоке (Предуралье (Богданова, Гофаров, 1978)), уверенно прослеживаются по геофизическим данным в пределах Русской плиты.

Развитые на площади региона рифейские авлакогены северо-западного простирания унаследовали структуры древнего этапа развития. Вдоль Лапландско-Беломорского пояса заложилась система грабенов и прогибов. В пределах рассматриваемой территории прослеживаются два авлакогена северо-западного простирания — Зимнегорский и Онежский, или Кандалакша-Двинской рифт, ветвями которого они являются. Эта структурно-генетическая связь разновозрастных тектонических структур в значительной мере способствует устойчивой диагностике местоположения поясов повышенной проницаемости и их более уверенному трассированию по простиранию.

В рельефе кристаллического фундамента, по данным буровых работ и сейсморазведки, авлакогены проявляются в виде протяженных грабенообразных депрессий, осложненных структурами второго порядка (рис. 5). В Зимнегорском авлакогене мощность осадочных образований на отдельных участках превышает 3—4 км, а ширина достигает 60 км. В Онежском авлакогене мощность осадочных пород не превышает 3,5 км, а ширина его изменяется от 10 до 40 км.

Авлакогены относятся к пассивным рифтам континентального типа. Предполагается, что континентальные рифты соответствуют зонам растяжения материковой литосферы при раздвижении литосферных плит. Причем Онежский и Зимнегорский авлакогены от-

носятся к отмершим рифтовым зонам. Используя при их реконструкции характерные признаки, установленные при изучении современных рифтов, следует учитывать те изменения в структуре отмерших рифтов и, соответственно, в физических полях, которые произошли после окончания рифтогенеза. Так как омоложение структур происходит из глубины по направлению к поверхности Земли, то с течением времени латеральные неоднородности в нижних частях литосферы, за исключением «гранитного» слоя, почти полностью нивелируются.

Наиболее наглядно это видно на субмеридиональном профиле ГСЗ п. Ручьи—Шенкурск (Литосфера и гидросфера., 2001), который пересекает Керецкий и Онежский грабены. Из сопоставления характера изменений гравитационного поля и данных ГСЗ видно, что кривая поля наиболее хорошо коррелирует с распределением скорости продольных волн в верхнем слое до глубины 10—15 км. При этом под опущенными блоками фундамента отмечаются низкоскоростные (5,9—6,0 км/с) блоки коры: в Керецком грабене — до верхней преломляющей границы, в Онежском — низкоскоростной разрез прослеживается до глубины 8 км. В зонах, прилегающих к этим структурам, выделяются блоки пород с повышенными значениями скоростей продольных волн (до 6,30 км/с), коррелирующиеся с гравитационными максимумами второго порядка.

Кроме того, здесь же до глубины 10—12 км появляются две дополнительные границы по обменным волнам, отсутствующие в Керецком грабене. Указанные значения продольных скоростей соответствуют гранито-гнейсам и гранодиоритам (5,9—6,0 км/с) и диоритам (6,25—6,30 км/с).

В геофизических полях авлакогены выделяются неоднозначно. Гравиметрические и магнитометрические аномалии, регистрируемые над авлакогенами, отражают суммарный эффект всех тектономагматогенных, метаморфогенных процессов и преобразований, происходивших не только в период рифейского авлакогенеза, но и в предшествующий ему чрезвычайно активный доавлакогенный период развития. Все они в значительной мере претерпели переработку в позднем архее — раннем протерозое. Тектоническая переработка выразилась в неоднократно наложенных процессах регионального метаморфизма, диафореза, метасоматоза и соответствующих им явлениях радиологического омоложения пород. Проведенные исследования геопотенциальных полей и сейсмиче-

ских данных (Юдахин и др., 2004) показывают, что грави- и магнитные поля являются интегральным отражением сложных тектонических процессов, многократно проявлявшихся в течение геологической истории региона. Разделение аномальных эффектов от преобразований какой-либо конкретной эпохи — задача неоднозначная, имеющая несколько инвариантных решений.

В гравитационном поле авлакогенам отвечают линейные среднечастотные (период от 25 до 50 км) отрицательные аномалии интенсивностью от 4 до 15×10^{-5} м/с² (рис. 45).

В магнитном поле им соответствуют линейные зоны аномально повышенного поля интенсивностью в среднем 300—400 нТл, прослеживающиеся почти на всем их протяжении (рис. 46).

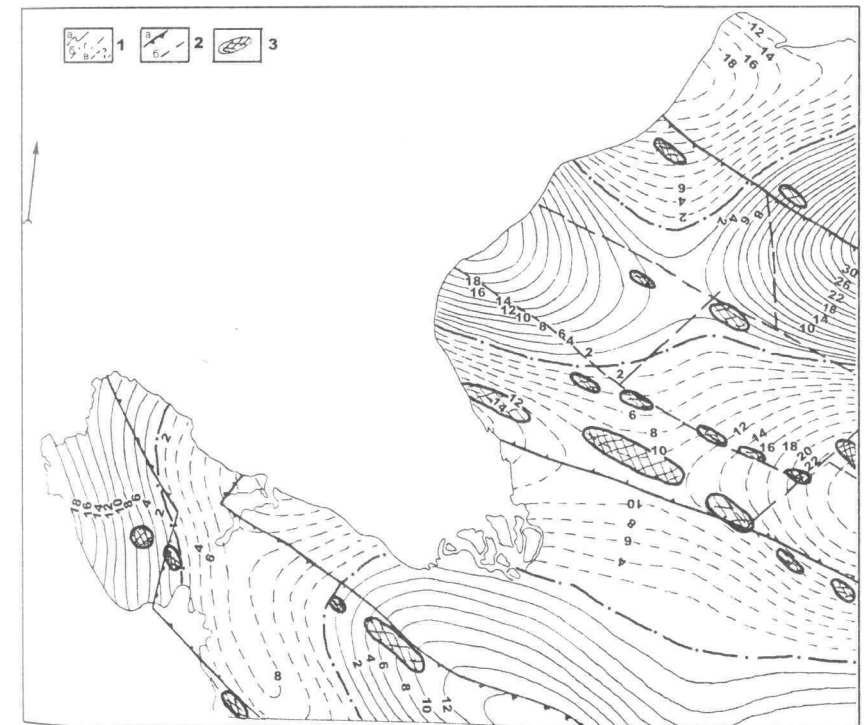


Рис. 45. Фрагмент карты разностного поля $\Delta g_{\text{лок}} = (\Delta g_{R1} - \Delta g_{R2})$ ($R_1 = 10$ км; $R_2 = 50$ км)

- 1 — изолинии $\Delta g_{\text{лок}}$: а) положительные, б) нулевые, в) отрицательные;
2 — разломы фундамента: а) ограничивающие авлакогены, б) второго порядка

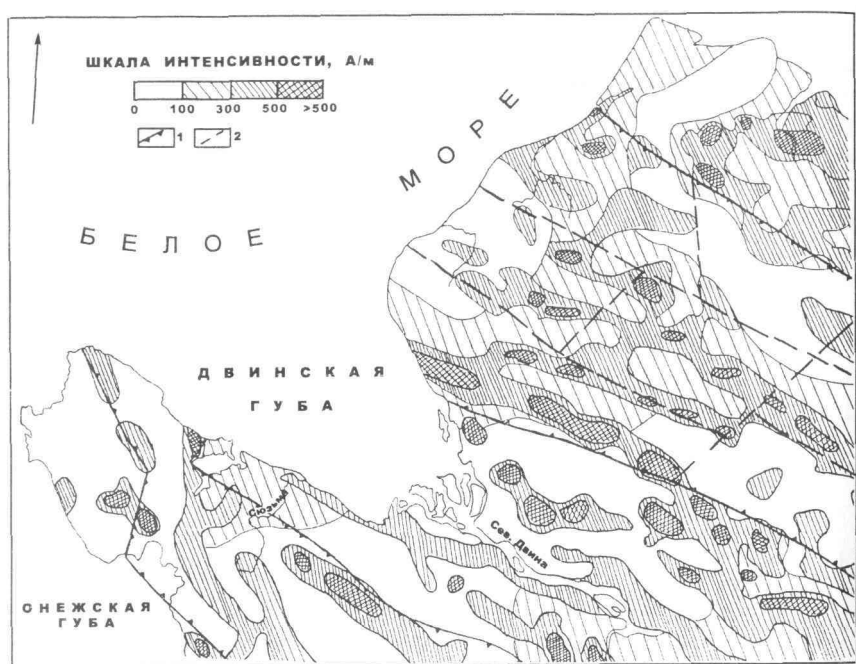


Рис. 46. Фрагмент схемы намагнитченных образований поверхности фундамента

1 — разломы фундамента, ограничивающие рифейские авлакогены; 2 — разломы фундамента, ограничивающие структуры 2-го порядка

Как уже отмечалось выше, вдоль этих аномальных зон установлены зоны пониженных скоростей продольных волн ($V_p = 5,9$ км/с на фоне 6,2 км/с). Наличие региональных магнитных аномалий в верхней части коры нельзя объяснить метасоматозом при рифтообразовании, т. к. при рифтовом режиме обычно не отмечается значительного прогрева земной коры и метаморфизма (Добрынина, 1991).

Принимая во внимание, что образование магнетита и, следовательно, повышение магнитной восприимчивости пород обычно происходит в среднюю стадию гранитизации и кремнево-щелочного метасоматоза при ультраметаморфизме, а все остальные виды метаморфизма ведут в основном к потере магнитных свойств (Добрынина, 1991), можно предположить, что магнитные аномалии

вызваны образованными в процессе метаморфизма чарнокитами архейских тектоно-термальных поясов.

Рифейские грабены (авлакогены) ограничены зонами повышенной проницаемости, характеризующимися высокой плотностью разрывных нарушений с азимутами простирания 296°, 305 и 315°. Подобные структуры осложняют также строение самих грабенов, подразделяя их на прогибы и выступы второго порядка. Эти зоны являются благоприятными для внедрения магматического расплава, что подтверждается результатами крупномасштабных геофизических работ. Основная роль в формировании грабенов принадлежит системе 305 и 35°, направлению — 305° (Кутинов, 1991).

Активная жизнь разломов рифейской активизации привела к формированию сложной клавишной системы относительно опущенных и приподнятых блоков фундамента, сгруппированных по простиранию в протяженные мегавалы и мегаграбены.

Тектоническая активизация разломов прослеживается вплоть до кайнозоя включительно. Это подтверждается сопоставлением разрезов венда на горстах и в прогибах (Станковский, Якобсон, 1986); строением кровли вендских отложений, где они фиксируются флексурами в осадочном чехле, характером роз-диаграмм элементов-индикаторов разломов (рис. 33). Сопоставление геолого-геоморфологических материалов убедительно свидетельствует о наличии мощных зон трещиноватости, пронизывающих породы осадочного чехла.

Таким образом, на исследуемой территории еще с архея существовали длительные (вплоть до кайнозоя) устойчивые связи верхних частей земной коры с глубинными подкоровыми горизонтами. Зимнегорский и Онежский авлакогены можно рассматривать как региональные долгоживущие проницаемые зоны, имеющие глубокие корни, претерпевшие несколько этапов активизации в истории своего развития и нашедшие отражение в геолого-геофизических материалах.

В рассматриваемом регионе все проявления среднепалеозойского щелочно-ультраосновного (в т. ч. и кимберлитового) магматизма размещаются в пределах поясов повышенной проницаемости (кимберлитоконтролирующих поясов с позиций минерагенического районирования) северо-западного простирания, совпадающих с рифейскими авлакогенами. Последние достаточно уверенно выделяются в геофизических материалах.

3.4. Среднемасштабные геолого-геофизические критерии

Учитывая, что кимберлитовые поля и районы по характеру размещения месторождений относятся к области «нелинейной» (Щеглов, 1990) металлогении, то наличия отдельных проницаемых зон недостаточно для объяснения закономерностей пространственного размещения кимберлитового магматизма. Чтобы рассмотренные высокопроницаемые зоны обеспечивали «сквозную» мантийно-коровую проницаемость, необходимо их пересечение или совмещение. В этом случае возникает вертикальная высокопроницаемая область, которая обеспечивает коро-мантийное взаимодействие и формирование благоприятных условий для размещения кимберлитовых полей (Фельдман, 1989).

Для Зимнебережного кимберлитового района такую роль выполняет Балтийско-Мезенская разломно-блоковая зона (Карта разломов., 1982), которая представляет собой буферную активизационную структуру. Она прослеживается от п-ва Канин, через акваторию Белого моря, а также Онежского и Ладожского озер до берега Финского залива. Ее суммарная протяженность 1500 км при ширине 150—300 км. Т. В. Билибиной (1986) зона рассматривается как единая геотектоническая структура, имеющая сложное многоярусное строение в результате влияния активизаций — байкальской, вендской и герцинской — в условиях неоднократного поднятия и погружения блоков. Главной особенностью всей геоструктуры является тесное сочетание и взаимосвязь разрывных нарушений преимущественно глубинных и подвижных блоков.

Строение Балтийско-Мезенской зоны в целом определяется сочетанием разноуровневных блоков докембрийского фундамента и эпикратонных активизационных и собственно платформенных структур, заложившихся на докембрийском складчатом основании. Время их формирования — вепсий-рифей-венд и девон-карбон-пермь.

Те части региона, в том числе и Зимнебережный район, где отмечается эта зона и узлы ее сопряжения с разрывными нарушениями иных направлений, характеризуются наиболее высокой блоковой делимостью, а следовательно и проницаемостью земной коры (рис. 47). Им свойственны повышенная сейсмичность (Чистова, 1996) и аномальные значения теплового поля (Металлогения., 1980).

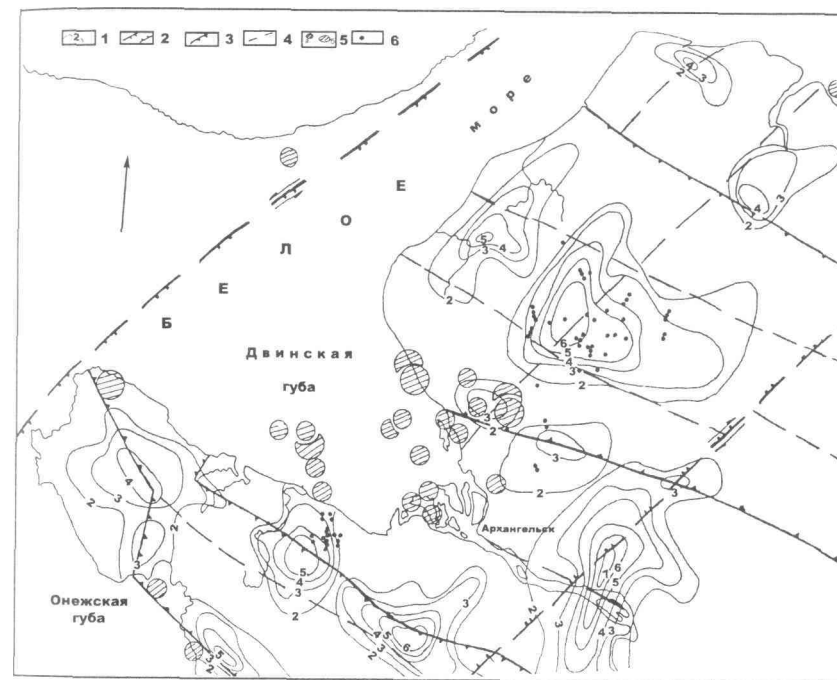


Рис. 47. Схема сопоставления материалов

1 — изолинии плотности глубинных разрывных нарушений; 2 — границы Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны; 3 — разломы фундамента, ограничивающие авлакогены; 4 — разломы 2-го порядка; 5 — эпицентры землетрясений: а) с магнитудой $M \leq 5$; б) с магнитудой $M \geq 5$; 6 — магматические тела

В аналогичной по строению и простиранию Хибинской разломно-блоковой зоне, особенно в узлах пересечения разломов, размещаются крупные интрузии центрального типа, сложенные щелочными ультраосновными породами и карбонатитами (Ковдорская, Вуориярвинская, Турьемысская) и нефелиновыми сиенитами (Хибинская, Ловозерская), а также протяженные пояса и рои даек щелочных лампрофиров (Канда-Рябиновый, Умбинский) и трубки, образованные щелочными базальтоидами (Савицкий и др., 1986). Балтийско-Мезенская зона контролирует проявления основного магматизма (базальты и их туфы) и щелочно-базальтоидного магматизма (Металлогения., 1980). Однако о масштабности этих процессов судить трудно, так как сведения о них скудны и неоднозначны.

По мнению А. В. Савицкого и др. (1986), палеозойские этапы разломообразования протекали в режиме тектоно-магматической активизации (в условиях чередующихся растяжения и сжатия). Она синхронно проявилась в восточной части Балтийского щита, в фундаменте и осадочном чехле Русской плиты. Наиболее мощно и широко разломообразование имело место в девоне и карбоне, а также перми. Господствующее простирание палеозойских разрывных нарушений — северо-восточное и субширотное. Существенно подновлялись субмеридиональные и северо-западные разломы.

Наличие различных формаций глубинных plutонических пород в северо-восточных разломно-блоковых зонах является надежным показателем весьма большой глубины заложения самих зон. Проявление магматогенной деятельности, связанной с зонами, свидетельствует о большой длительности формирования разломно-блоковых зон от позднего архея до неотектонических движений по ним, проявленных в особенностях геоморфологии.

В свое время был сделан важный вывод о выдержанности геотектонических условий при проявлении кимберлитового магматизма (Милашев, 1979), который приурочен к крупным структурам, характеризующимся длительным, медленным и устойчивым вздыманием. Таким образом, к временным факторам можно отнести следующее: все диатремы приурочены к поверхностям несогласий, т. е. трубки взрыва формируются во время перерывов в седиментации, в континентальных геодинамических обстановках, на положительных тектонических структурах. В истории эволюции осадочного чехла исследуемой территории, по геологическим данным, выделяются три основных перерыва в осадконакоплении: ранний рифей — предшествующий авлакогенной стадии, ранний венд — предшествующий синеклизной стадии, и ранний палеозой — начало плитной стадии. Каждому из перерывов соответствует начало крупной структурной перестройки в строении региона, а также временные интервалы полного или частичного отсутствия коррелятивных структурно-вещественных комплексов.

Нетрудно заметить, что началом активизации Зимнегорского авлакогена и Балтийско-Мезенской зоны и являются основные перерывы в осадконакоплении. Рифейский возраст грабенообразных структур северо-западного простирания считается общепризнанным и не вызывает сомнения. Развитие рифейской рифтовой системы завершилось в позднем рифее (глава 1). Началу вендской седимен-

тации предшествовали длительный перерыв в осадконакоплении и тектоническая перестройка на рубеже около 650—680 млн лет, обусловившая заложение платформенного бассейна седиментации. Наличие в разрезе на разных уровнях покрова кварцевых долеритов и горизонтов туффилов убедительно свидетельствует о достаточно длительной активизации разломов на этом этапе развития региона. В структурном плане венда наиболее отчетливо выражена система северо-восточных нарушений, которые определяют внешнюю границу вендского бассейна седиментации и создают систему вендских грабенов на юго-восточном склоне Балтийского щита (Гриб, 1986). Это подтверждается и анализом азимутального распределения спрямленных границ венда (рис. 37), где преобладающими направлениями последних являются структуры с азимутами простирания 359° и 17° (Кутинов, Чистова, 2001).

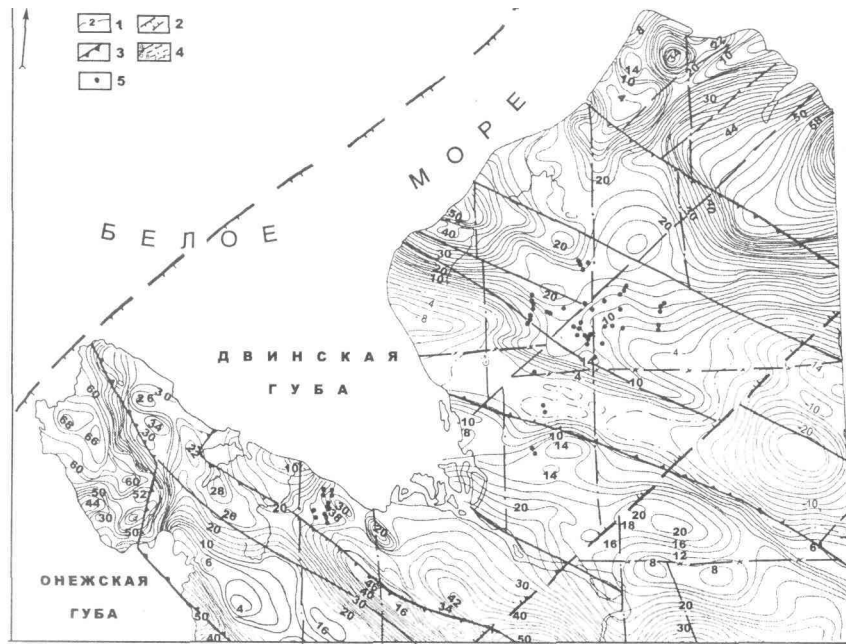
По-видимому, на площади пересечения Зимнегорского авлакогена и Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны возникал вертикальный глубинный стволочной канал повышенного тепло- и массообмена.

Характеристика авлакогенов в геофизических материалах показана выше.

Что касается Балтийско-Мезенской зоны, то в целом она в гравитационном поле фиксируется резким изменением направления изоаномал в участках их пересечения отдельными разрывами зоны. Именно здесь образуются пережимы и раздувы локальных аномалий поля силы тяжести, вызванные вертикальными смещениями масс по отдельным тектоническим клиньям (рис. 48).

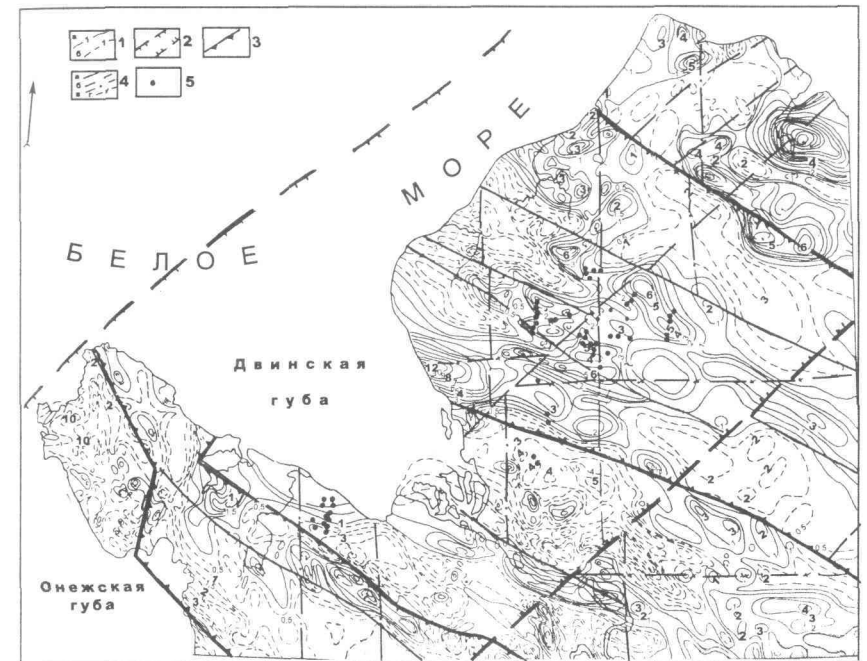
В магнитном поле этим зонам отвечают области смещения простирания осей магнитных аномалий и цепочки локальных аномалий северо-восточного простирания. Наблюдаются зоны интерференции осей магнитных аномалий северо-восточного и северо-западного направлений (рис. 49).

В тектоническом отношении — Зимнебережный кимберлитовый район размещается в пределах Северо-Двинского архейского массива (Фельдман, Олофинский, 1991). В региональном структурном плане район приурочен к узлу пересечения пояса высокой проницаемости северо-западного простирания с поперечной структурой повышенной проницаемости северо-восточной ориентировки. Кроме того, позиция района в пределах кимберлитоконтролирующего пояса подчеркивается интенсивной положительной гравита-

Рис. 48. Фрагмент карты поля Δg

1 — изолинии поля Δg ; 2 — границы Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны; 3 — разломы, ограничивающие авлакогены; 4 — глубинные разломы 2-го порядка: а) северо-западного простирания, б) северо-восточного, в) субмеридионального, г) субширотного; 5 — магматические тела

ционной аномалией на его северо-западном фланге, которая, вероятно, связана с залегающей на глубине 2—4 км докембрийской базит-гипербазитовой интрузией. Кимберлитовый район достаточно отчетливо проявлен и в типичных геофизических аномалиях (рис. 48, 49) (Чистова, Кутинов, 1997). Протяженные гравитационные, среднечастотные, линейные аномалии в сочетании с небольшим количеством высокочастотных составляющих, присущих кимберлитоконтролирующему поясу, сменяются в пределах кимберлитового района аномалиями изометричной формы (от овальной до серповидной) и линейными аномалиями повышенной частоты (период 10—16 км), ориентированными в основном в северо-западном, реже в субмеридиональном направлениях. Меняется не только морфология, но и общий уровень гравитационного поля, который

Рис. 49. Фрагмент карты магнитного поля ΔT_a

1 — изолинии поля ΔT_a : а) положительные, б) отрицательные; 2 — границы Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны; 3 — разломы, ограничивающие авлакогены; 4 — глубинные разломы 2-го порядка: а) северо-западного простирания, б) северо-восточного, в) субмеридионального, г) субширотного; 5 — магматические тела

снижается на $(6 - 8) \times 10^5 \text{ м/с}^2$. Центральной части кимберлитового района соответствует аномалия относительно повышенных значений. Магнитное поле в центре объекта относительно повышенное, а на его периферии — отрицательное.

Понижение уровня гравитационного поля, вероятно, связано с повышенной трещиноватостью и, как следствие, разуплотнением горных пород земной коры, возникшего в период внедрения протокимберлитовой магмы. В первую очередь повышенная раздробленность пород обусловлена пересечением глубинных тектонических структур (рис. 47). Сходные результаты были получены при исследовании Якутской провинции (Мало-Ботуобинский район), где образование Джункун-Хампинской северо-восточного и Вилуйско-

Мархинской меридионального простирания зон глубинных разломов привело к разуплотнению земной коры (минимум $\Delta g = (4-8) \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$), что подтверждается сейсмическими исследованиями и результатами плотностного моделирования (Молчанов, Саврасов, 1985; Фельдман, 1989).

Зимнебережный кимберлитовый район включает следующие кимберлитовые поля: Мельское, Золотицкое, Верхотинское, Соянское, Кепинское, Пачугское, Суксомское, Ижмоозерское, Турьинское, Полтинское, Верхнесоянское, Ежугское, Чидвинское (рис. 50). В пределах Онежского района на данный момент наиболее известно Нёнокское поле, и авторами по геофизическим данным прогнозировалось наличие Белозерского поля (Чистова, 1991; 1996), характеристика которого будет приведена ниже.

Следует отметить, что задача, связанная с изучением таких минерагенических таксонов, как кимберлитовые поля, чрезвычайно сложна. Вопрос о границах кимберлитовых полей, имеющий большое научное и практическое значение, является наименее изученной и почти не освященной в печати частью общей проблемы о границах рудных полей. Под названием кимберлитового поля часто понимают сближенные в географическом отношении группы трубок взрыва и даек, которые обычно очерчиваются контурами, не имеющими геолого-геофизического обоснования. Основной недостаток такого подхода в отсутствии геолого-структурных принципов и критериев районирования: границы таксонов проводят условно на произвольном расстоянии от крайних выходов этих пород. То есть до сих пор отсутствует сформированное на основе традиционных структурных методов понятие «поле». Связано это, вероятно, с тем, что причиной возникновения полей являются магматические очаги, удаленные от поверхности на расстояния, превышающие точность большинства используемых методов.

Несмотря на попытки положить в основу выделения кимберлитовых полей структурно-тектонические (Кутинов, 1992), вещественные (Главатских, 1992), историко-генетические (Фельдман, Олофинский, 1991) признаки полей и отражение их в геолого-геофизических материалах (Чистова, 1996), кимберлитовые поля разными исследователями были оконтурены по-разному, варьирует и их количество — от 12 (Кутинов, 1992) и 7 (Архангельская алмазоносная..., 1999), до 2 (Фельдман, Олофинский, 1991). Вопрос этот

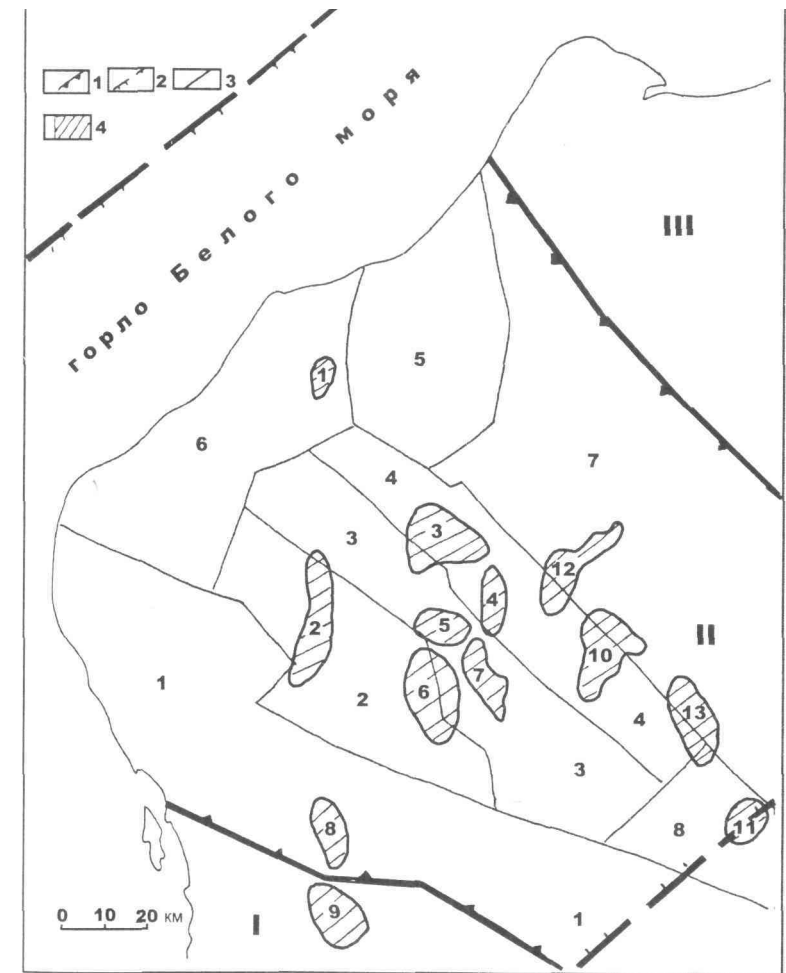


Рис. 50. Схема размещения кимберлитовых полей Зимнебережного района
Структуры фундамента: а) первого порядка: I — Архангельский выступ, II — Зимнегорский авлакоген, III — Кулойский выступ; б) второго порядка: впадины: 1 — Керещкая; 7 — Кепинская; 3 — Лешуконская; поднятия: 2 — Золотицкое; 4 — Мегра-Полтинское; 8 — Полтинское; 5 — Чубальская ступень; 6 — Ручьевский выступ. Условные обозначения: 1 — границы структур 1-го порядка; 2 — границы Балтийско-Мезенской зоны; 3 — границы структур 2-го порядка; 4 — кимберлитовые поля и их номера (1 — Мельское; 2 — Золотицкое; 3 — Верхотинское; 4 — Соянское; 5 — Кепинское; 6 — Пачугское; 7 — Суксомское; 8 — Чидвинское; 9 — Ижмоозерское; 10 — Турьинское; 11 — Полтинское; 12 — Верхнесоянское; 13 — Ежугское)

имеет немаловажное значение, так как от принятой схемы размещения и оконтуривания полей во многом зависят выделяемые факторы их локализации и отражение последних в геолого-геофизических материалах.

В данном исследовании авторы приняли схему, изложенную в работе (Кутинов, 1992) и отображенную на рисунке 50.

Не касаясь доказательств, изложенных ранее (Кутинов, 1992), отметим, что несмотря на все существующие разногласия большинство авторов в качестве определяющих факторов группирования кимберлитовых полей приводят следующие: пространственную и возрастную близость; близкую величину эрозионного среза; одинаковые тектонические условия образования; сходные алмазонасность и качество кристаллов; единый магматический очаг.

Все трубки взрыва Зимнебережного кимберлитового района (независимо от количества выделяемых полей) имеют близкий возраст внедрения (девон-карбон), причем на настоящий момент не существует достоверных данных и возможностей для более дробного их стратиграфического деления; характеризуются близким по значениям минимальным эрозионным срезом.

Пространственная близость без числовой меры этого параметра вряд ли может являться критерием для группирования. Тем не менее проведенный нами анализ спектра парных расстояний между трубками взрыва (рис. 40) говорит о наличии гармонических составляющих нескольких периодов, что может служить косвенным обоснованием принятия более детальной (дробной) схемы размещения кимберлитовых полей.

По степени алмазонасности только трубки Золотицкого поля (рис. 50) относятся к промышленно-алмазонасным. Тела Верхотинского (исключая трубку им. В. П. Гриба) и часть диатрем Кепинского и Ижмозерского полей относятся к слабо- и убогоалмазонасным, трубки взрыва, слагающие остальные поля, — неалмазонасны. тела Полтинского и Ежугского полей относятся к базальтоидам.

Кроме того, на диаграммах серии кимберлитовых пород разделяются на алмазонасные и неалмазонасные (рис. 51, 52).

Сходная картина наблюдается при изучении структурно-чувствительных магнитных характеристик ферритмагнетиков из трубок взрыва (рис. 53) (Веричев и др., 1991).

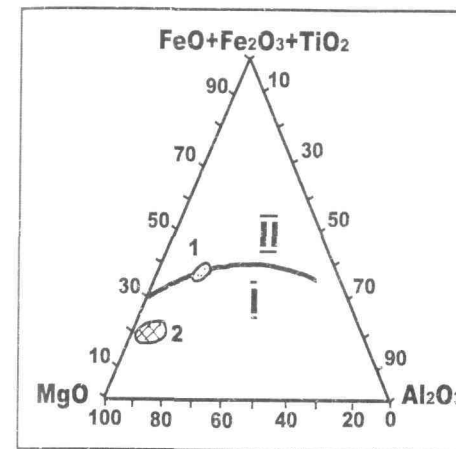


Рис. 51. Петрохимическая диаграмма в координатах для автилитовых брекчий и автилитов (Веричев и др., 1991)
1—2 — поля: 1 — алмазонасное Золотицкое, 2 — убогоалмазонасное Кепинское; I—II — области пород: I — магнезиально-глиноземистых, II — железо-титанистых

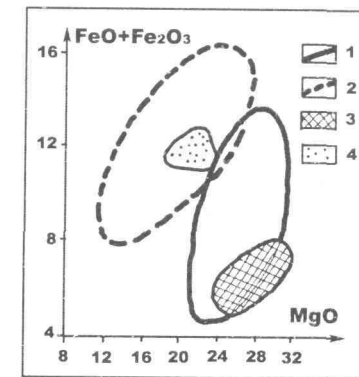


Рис. 52. Петрохимическая диаграмма в координатах для автилитовых брекчий и автилитов (Веричев и др., 1991)

1—4 — кимберлиты: 1—2 — Якутская провинция: 1 — алмазонасные, 2 — неалмазонасные; 3—4 — Архангельская провинция: 3 — алмазонасные (Золотицкого поля), 4 — неалмазонасные (Кепинского поля)

Площадь исследований характеризуется наличием многочисленных и протяженных зон северо-западного простирания, слагающих внутреннее строение Зимнегорского авлакогена и заложившихся еще в архее и неоднократно подновлявшихся в последующие геологические эпохи. На территории еще в докембрийское время существовали устойчивые связи с подкоровыми горизонтами.

Зимнегорский авлакоген формировался в условиях растяжения. На это указывают: наличие валообразных поднятий поверхности Мохо, оконтуривающих рассматриваемую структуру, коническая система глубинных тектонических нарушений, что, по мнению ряда исследователей (Гринсон, 1984; Зайченко, Чернышев, 1987), является признаками палеорифтового режима (рис. 54).

С поднятием мантийного вещества связано и возникновение положительных структур фундамента, осложняющих строение Зимнегорского авлакогена. Об этом говорит тот факт, что практически все структуры II порядка находят свое подтверждение в строении глубинных горизонтов по данным ГСЗ (Строение литосфе-

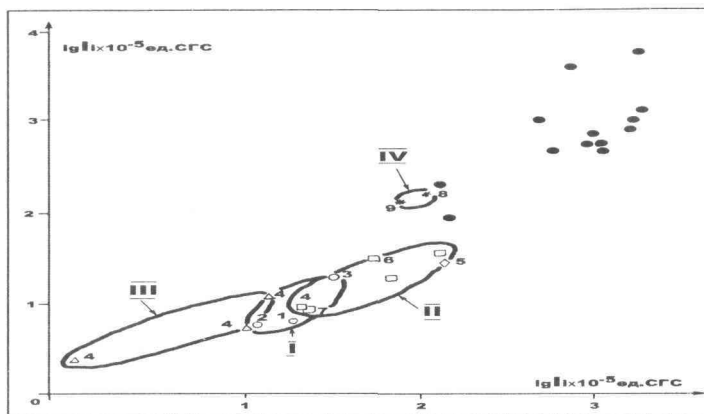


Рис. 53. Диаграмма lgJ_i - lgJ_n основных типов пород Зимнебережного комплекса

Трубки взрыва: 1 — Архангельская; 2 — Ломоносовская; 3 — Пионерская; 4 — Снегурочка; 5 — 685; 6 — 781; 7 — 772; 8,9 — 1026. Условные обозначения: 1 — туфопесчаники; 2 — ксенотуфобрекчии и туфобрекчии; 3 — кимберлитовые брекчии; 4 — автолитовые кимберлитовые брекчии; 5 — брекчии субщелочных базальтоидов; 6 — базальтоидные брекчеевидные кимберлиты Якутии; 7 — поля распространения пород

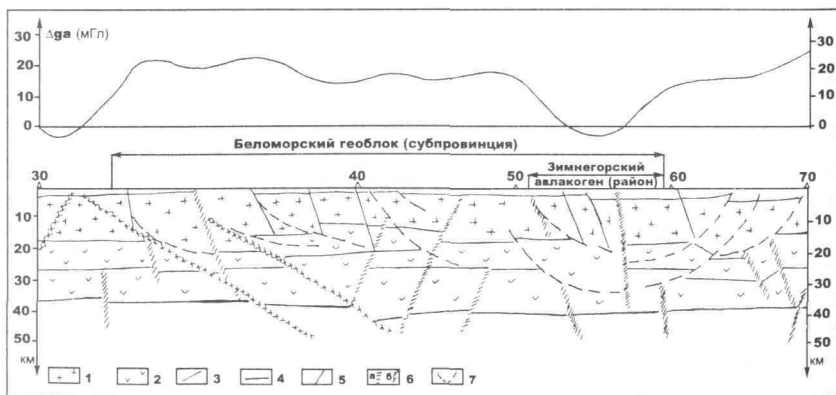


Рис. 54. Интерпретационный геологический разрез по профилю ГСЗ Вага—Белое море (по материалам Н. Г. Топорковой, 1991 г.)

1 — гранито-гнейсовый слой; 2 — базальтовый слой; 3 — граница М; 4 — внутрикоровые разломы; 5 — мантийные разломы: а) крутопадающие, б) пологопадающие; 7 — конические

ры., 1993). Так, по профилю ГСЗ-МОВЗ № 3 Золотицкое поднятие фундамента фиксируется локальным осложнением (увеличение мощности на 3 км) высокоскоростного слоя, слагающего нижнюю часть базальтового слоя (рис. 3).

Кимберлитовые поля Зимнебережного района приурочены к сквозным разломам северо-западного простирания на участках их пересечения с северо-восточными дислокациями (Кутинов, 1992), аномальность которых очевидна. На таких структурах, как правило, происходят резкая смена, смещение или стыки элементов основного тектонического плана, иногда они играют барьерную роль по отношению к некоторым дизъюнктивным структурам. Фактически они служат блокоразделами в глубоких этажах земной коры.

В потенциальных полях северо-западным разломам соответствуют градиентные зоны, узкие положительные аномалии высокой интенсивности, обусловленные магматическими телами основного-ультраосновного состава, вытянутые контуры отрицательных аномалий, которые своим происхождением обязаны прогибам в структуре фундамента, выполненным слабомагнитными и однородными в плотностном отношении осадочными породами или гранитизированными толщами фундамента. Местами разломы совпадают с прямолинейными границами пород различной намагниченности, что свидетельствует о резкой смене литологии пород фундамента по разлому (рис. 48, 49). То есть это крупные структурообразующие дизъюнктивы фундамента.

Северо-восточные разломы подтверждались путем анализа вторичных деформаций грави- и магнитных полей, фиксируемых в виде разрывов, смещений магнитных аномалий, затяжек и крутых поворотов изодинам (рис. 46, 49). Выделяемые в составе фундамента Русской плиты границы разновозрастных частей обычно совпадают с зонами северо-западных разломов. Безусловно, эти особенности указывают на различие тектонических режимов и специфику разноориентированных разломов в рамках одной системы.

Комплексные грави- и магнитные аномалии, обусловленные пересечением тектонических структур, обычно наложены на линейные среднечастотные магнитные аномалии, вызванные рифейскими грабенообразными структурами в кристаллическом фундаменте. В этом случае линейные аномалии деформируются, образуя участки с повышенной дисперсией поля. Хотя эти признаки при диагностике местоположения кимберлитовых полей достаточно

надежны, тем не менее практика поисково-разведочных работ в Якутской алмазонасной провинции показала, что прогноз кимберлитовых полей только по гравиметрическим и магнитометрическим данным зачастую неоднозначен (Фельдман, 1989).

В реальной обстановке наиболее важная задача — геолого-структурный анализ всех геолого-геофизических данных. В частности, необходимо изучать структурную позицию участка (рудного района), в котором возможно нахождение нового кимберлитового поля. Среди тектонических структур, формирующих позицию поля, наиболее важны зоны высокой проницаемости и растяжения верхней мантии и земной коры, образованные в связи с заложением авлакогенов и активизацией их в период кимберлитобразования. Такие структуры прослеживаются по данным сейсморазведки, а также по линейным аномалиям в потенциальных полях. На участках пересечения верхнемантийных зон высокой проницаемости со сквозными разломно-блоковыми зонами, образованными в период заложения и активизации авлакогенов, возникает вертикальная стволовая высокопроницаемая структура, благоприятная для подъема восстановленных мантийных флюидов и образования кимберлитовых полей (Металлогения., 1984). На подобных структурах возникают участки повышенной дисперсии поля.

Кимберлитовые поля Архангельской провинции пространственно совпадают со среднечастотными положительными магнитными аномалиями, интерпретируемыми как магматические тела в составе фундамента. Полученный результат не противоречит теоретическим данным. В качестве частного случая этот механизм рассматривался при объяснении подъема с глубины кимберлитовых магм (Сычев, 1985). При этом было отмечено, что помимо избыточной силы AP при входе расплава в трещину (канал) с длиной L и сохранении условий меньшей плотности расплава по отношению к вмещающей среде (ρ_r) возникает дополнительная сила $\Delta F = \rho_r g L$, действующая с тем же знаком. Однако соотношение сил будет иным, если расплав по трещине внедряется в менее плотную среду. Тогда по мере подъема расплава начинает действовать и расти сила, обусловленная разностью плотности расплава и вмещающей среды и определяемая по величине приведенной выше формулой, но с отрицательным знаком. При разности плотностей $0,1 \text{ г/см}^3$ столб расплава в канале высотой 10 км вызовет силу $0,1 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$. В таких условиях в окрестностях нижней границы слоя с меньшей

плотностью вероятен разрыв стенок канала с образованием горизонтальных трещин растяжения. Образование последних обуславливается механизмом магморазрыва, сходного с гидроразрывом, при котором формируются преимущественно горизонтальные трещины. Подтверждением способности кимберлитовой магмы внедряться не только по вертикальным каналам, но и распространяться по горизонтали служат интрузии силлов, связанные с трубками взрыва.

Таким образом, если поднимающийся из недр Земли относительно легкий материал переходит в расплав, то дальнейшее поведение последнего будет зависеть от соотношения плотностей жидкой фазы и твердой среды. В случае однородных пород менее плотные расплавы, если их избыточное давление превышает прочность среды, будут быстро подниматься по образующимся трещинам. Иная ситуация возникает, если в породах имеются соответствующие границы изменения плотности. Тогда поднимающиеся расплавы могут попасть в среду с меньшей плотностью (граница фундамента — осадочный чехол). В этом случае в основании слоя с меньшей плотностью возникнут трещины растяжения, по которым, учитывая пульсирующий характер внедрения, будут внедряться расплавы более поздних фаз согласно механизму гидроразрыва. То есть, выделенный эмпирически критерий находит свое теоретическое подтверждение.

На настоящий момент достаточно четко наметились два методологических подхода к региональному — среднемасштабному прогнозу (Итоги научно-исследовательских работ., 1990). При первом («концептуальном») в основу прогнозных построений кладется та или иная теоретическая концепция, принимаемая автором. Такой подход позволяет развивать строго логичную систему, увязывающую в едином ключе прогноз разномасштабных таксонов. Однако корректность подхода целиком и полностью определяется достоверностью исходных теоретических концепций и может быть определена только на самой заключительной стадии работ.

Другой подход («эмпирический») основан на методе аналогий, т. е. выделении аномалий различной природы, соответствующих таковым у известных объектов (таксонов). Здесь естественно возникает вопрос разбраковки аномалий (на этой стадии в качестве критериев разбраковки привлекаются и различные геолого-генетические концепции). При данном подходе прогнозные построения являются проверяемыми на всех стадиях геологоразведочных ра-

бот. Таким образом, «эмпирический» подход, несмотря на присущие ему недостатки, является более «гибким» и контролируемым, чем «концептуальный».

При выборе приемов и методик обработки материалов (разд. 3.1) авторы учитывали, что в связи с отсутствием на данном уровне знаний модели алмазообразования создание обоснованных концептуально-теоретических критериев прогноза является дискуссионным. Более перспективно выделение эмпирических закономерностей локализации проявлений кимберлитового магматизма. Выход видится в создании моделей во временном пространстве, т. е. моделей структурно-тектонического развития региона во времени, хотя при этом необходимы строгие по формулировкам модели рудогенеза.

На настоящий момент их заменой могут служить статистические модели размещения кимберлитового магматизма. При этом разломы можно рассматривать как случайные явления, не зависящие друг от друга, или как большое число случайных экспериментов, а кимберлиты — как случайные события в этих экспериментах. С такой точки зрения возможно применение теории вероятностей и статистики для выявления статистических связей между расположением кимберлитов и линейными структурами. Основанные на эмпирических закономерностях, они опосредованно отражают существующие в природе генетические связи процессов через сложный механизм наследования последних во времени. Примененные методики обработки фактических данных были направлены на выделение этих связей и использование их при среднемасштабных прогнозных построениях. С другой стороны, разломы представляют сложную иерархически соподчиненную самоорганизующуюся систему, особенности которой необходимо учитывать при прогнозных построениях.

Анализ существующих гипотез и взглядов на критерии контроля разноранговых таксонов кимберлитового магматизма, проведенный авторами (разд. 2.1), позволяет в качестве основного прогнозного фактора рассматривать структурно-тектонические критерии контроля. Поэтому одной из основных задач при выделении кимберлитовых полей было выделение с максимально возможной точностью, достоверностью и объективностью и в полном объеме сквозных малоамплитудных тектонических дислокаций как фундамента, так и осадочного чехла.

Полученные в результате выводы не противоречат данным по Якутской провинции, где отмечалась пространственно-генетическая

связь щелочно-ультраосновного магматизма с малоамплитудными разломами (Милашев, 1979; 1984 а, б; 1990), активизация которых не сопровождалась внедрением значительных по объему порций магматического расплава.

Большинство работ, проведенных в Зимнебережном районе, было нацелено как на поиски диатрем, так и на выделение связей платформенного магматизма с тектоническими структурами фундамента, в основном контрастными. При этом почти не изучалось тектоническое строение плитного комплекса. Это обусловлено тем обстоятельством, что отложения осадочного чехла слабо магнитны и слабо дифференцированы в плотностном отношении (рис. 10), основная магнитоактивная и геоплотностная границы приурочены к кровле кристаллических пород.

Практика составления прогнозных карт по Якутской провинции показала, в частности, что связь проявлений щелочно-ультраосновного магматизма со структурами фундамента действительно имеет место, но далеко не однозначна и не всегда достаточна для объяснения причин наблюдаемого размещения тел (Милашев, 1979; 1984 а, б; 1990). Учитывая то обстоятельство, что фундамент региона перекрыт достаточно мощным осадочным чехлом (0,5—4,0 км), а изучения только строения нижнего структурного этажа не дает полной информации о закономерностях локализации кимберлитового магматизма, необходимы комплексные исследования как фундамента, так и осадочного чехла. Особое значение здесь приобретают сквозные разломы, отражающиеся на всех структурных этажах. Кроме того, в потенциальных полях слабо отражаются или не отражаются вовсе малоамплитудные дислокации и зоны дробления.

Статистический анализ по результатам аэроэлектроразведочных работ показал, что 80% известных на исследованной площади тел расположены в пределах зон повышенной проводимости, выделенных формализованным путем (Кутинов, 1991 а). Объекты, не попавшие в зоны, представлены в основном силлами. Исследование вероятной связи размещения проявлений магматизма, проводившееся путем сопоставления ориентировки длинных осей трубок взрыва и простираций главных систем разломов, свидетельствует об их совпадении. Таким образом, можно говорить о наличии структурно-тектонического контроля для подавляющего большинства тел юго-восточного Беломорья (96% в региональном и 80% в локальном плане).

Надо отметить, что подавляющее большинство геологических процессов, в том числе и тектонических, носит сложный характер и требует статистической обработки, позволяющей получить некоторые усредненные характеристики наблюдаемых закономерностей.

Результаты статистической обработки данных позволяют сделать следующие выводы: а) подавляющее большинство трубок взрыва (96%) находится в зонах региональных разломов, среди которых ведущая роль на этапе герцинской тектоно-магматической активизации принадлежит нарушениям ортогональной системы; в) выделяется определенная геометрическая закономерность («шаг») в пространственном размещении трубок взрыва, где помимо локальных составляющих на спектре парных расстояний (рис. 40) отчетливо выделяются два низкочастотных пика с радиусами 28 и 56 км; на розе-диаграмме парных расстояний трубок взрыва выделяются направления, совпадающие с азимутами систем разломов (рис. 38).

Основой для выделения кимберлитовых полей Зимнебережного района, помимо геофизических материалов, явились также среднemasштабные карты: плотности и изотропности гидросети, систем разломов и их элементов-индикаторов геохимических работ, шлихового опробования и схема минерализации подземных вод, структурно-тектоническая карта района.

В результате примененной авторами комплексной интерпретации впервые для региона были установлены значения геолого-геохимических, геоморфологических и геометрических параметров, характерные для большинства известных полей щелочно-ультраосновного магматизма, которые были приняты в качестве поисковых признаков. К ним отнесены: а) сочетания значений плотности и изотропности гидросети, характерные для большинства участков распространения трубок взрыва (рис. 39); б) узлы пересечения, сочленения и осложнения зон тектонических нарушений; в) зоны раздела блоков различной плотности и изотропности гидросети как индикаторы скрытых разломов, а также узлы пересечения и осложнения этих зон; г) геохимические ореолы по потокам рассеяния; д) аномальные значения поля вероятности (параметра «К») по геометрическому прогнозу.

Во вторую очередь рассматривались критерии, полученные по материалам исследований, выполненных на ограниченных площадях с недостаточной степенью детальности. К ним отнесены гидрохимические и биогеохимические аномалии, ореолы и отдельные находки минералов-спутников алмазов.

Результаты прогноза по различным методам выносились на схему сопоставления материалов, которая использовалась для выделения площадей, перспективных на проявление щелочно-ультраосновного магматизма.

Анализ схемы сопоставления материалов позволяет сделать следующие выводы: а) для большинства участков с известными проявлениями щелочно-ультраосновного магматизма характерно совпадение 4 и более прогнозных критериев, что, по-видимому, указывает на их единую геологическую природу; б) абсолютное большинство трубок взрыва приурочено к зонам разрывных нарушений, к узлам их пересечения, сочленения и осложнения, которые находят свое отображение в полях плотности и изотропности гидросети, а также сопровождаются геохимическими аномалиями.

Нетрудно заметить, что все перечисленные критерии являются индикаторами тектонического строения региона и взаимосвязаны между собой. В то же время они отражают разные стороны явления, усиливая его достоверность и значимость в прогнозных построениях.

При этом основным критерием являются узлы пересечения разломов как участки, благоприятные для возникновения вертикальной стволочной проницаемой структуры. Зоны, выделяемые по плотности и изотропности гидросети, не только облегчают трассирование скрытых малоамплитудных разломов, выделение которых по геофизическим материалам затруднено, но и являются индикаторами сквозных структур, прослеживаемых в разрезе осадочного чехла. Аналогичную нагрузку несут и геохимические аномалии. Учитывая, что источником последних во многих случаях являются минерализованные воды глубоких горизонтов вендских отложений (Родионов и др., 1987; Малов, 2003), наличие геохимических аномалий указывает на нарушения сплошности осадочного чехла. В этом случае возникают зоны пьезоминимумов в результате разгрузки вод и снижения гидростатического давления.

Учет участков аномальных значений поля вероятности (параметра «К») по геометрическому прогнозу в количестве одного из критериев дает возможность привлечь такой показатель, как оптимальный для проявлений эксплозивного магматизма «шаг» разломов.

При составлении карты прогноза размещения проявлений щелочно-ультраосновного магматизма все установленные критерии учитывались как равноценные. Выделение полей проводилось пу-

тем их суммирования, и участки, для которых отмечалось совпадение более трех критериев, выделялись как первоочередные для постановки поисковых работ. При выборе уровня прогнозирования учитывалось, что 70% известных тел щелочно-ультраосновного магматизма приурочено к площадям, на которых наблюдается совпадение 4 и более прогнозных факторов.

К тому же выбранный порог значимости позволяет избежать выделения участков по сочетанию факторов, находящихся в тесной корреляционной зависимости. Определенный интерес, как объекты второй очереди, могут представить площади совпадения 2—3 прогнозных критериев, если они приурочены к региональным разломам меридионального и широтного простирания и узлам их пересечений. Необходимо отметить, что все промышленно-алмазонасные трубки приурочены к площадям, на которых наблюдается совпадение 5—6 прогнозных факторов. Все трубки, расположенные на участках совпадения небольшого числа (1—3) критериев прогноза, являются неалмазонасными или убогалмазонасными.

В результате построений было выделено 17 участков, перспективных на обнаружение щелочно-ультраосновного магматизма (рис. 55), 3 из них, расположенные на востоке региона, представляют скорее теоретический интерес, так как сложены, скорее всего, базальтоидами. Эталонном при прогнозировании служили тела девон-карбонového возраста, наличие более молодого магматизма в связи с отсутствием критериев данного типа тел не учитывалось. Восточные участки характеризуются повышенной мощностью осадочных отложений, что делает работы экономически нецелесообразными.

Остальные 14 участков можно подразделить на две группы: площади, расположенные на территории развития вендских отложений, и перекрытые палеозойским комплексом пород. В первом случае предполагаемые трубки взрыва могут картироваться отрицательными локальными магнитными аномалиями и участками повышенного сопротивления. Кроме того, в связи с увеличением эрозионного среза размеры аномалий могут быть небольшими.

Не исключена возможность выделения магматических тел на этих площадях высокоточными гравиметрическими работами, о чем свидетельствуют опыт исследований экспедиции № 17 ПГО «Невскгеология» и результаты изучения Нёнокского поля (Чистова и др., 1990; Чистова, 1991).

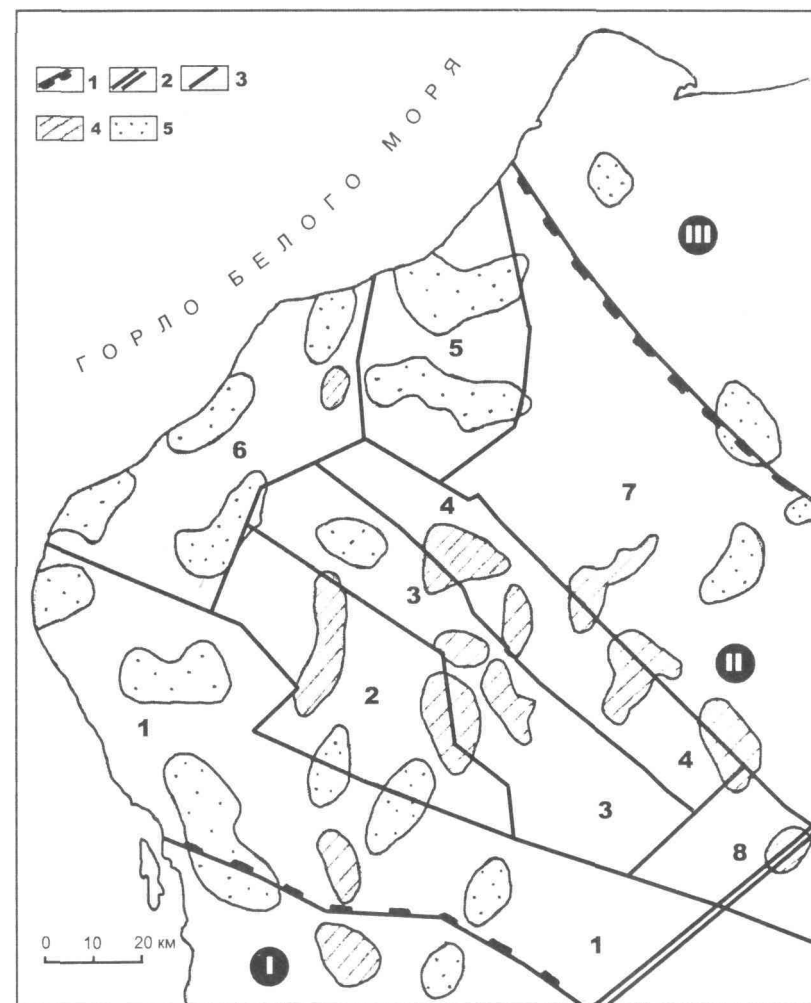


Рис. 55. Схема размещения кимберлитовых полей

Структуры фундамента: а) первого порядка: I — Архангельский выступ, II — Зимнегорский авлакоген, III — Кулойский выступ; б) второго порядка: впадины: 1 — Керещкая; 7 — Кепинская; 3 — Лешуконская; поднятия: 2 — Золотицкое; 4 — Мегра-Полтинское; 8 — Полтинское; 5 — Чубальская ступень; 6 — Ручьевский выступ.

Условные обозначения: 1 — границы структур 1-го порядка; 2 — границы Балтийско-Мезенской зоны; 3 — границы структур 2-го порядка; кимберлитовые поля: 4 — известные, 5 — прогнозируемые

3.5. Локальные геолого-геофизические критерии

Региональное распределение кимберлитов (районы, поля) контролируется долгоживущими глубинными тектоническими структурами, в то время как локальные дизъюнктивы контролируют местоположение и конфигурацию в горизонтальной плоскости отдельных кимберлитовых тел, что подтверждается характером роздиаграмм частот встречаемости кимберлитовых тел (рис. 56). Так частоты встречаемости трубок взрыва в региональных и локальных разломах отличаются не только количественно, но и качественно. При переходе к разломам другого ранга меняется их роль в контроле кимберлитовых тел.

В пределах кимберлитовых полей Архангельской провинции авторами выделяются (Чистова и др., 1990; Чистова, 1991) три типа пространственного взаимного расположения магматических тел: линейная группировка в виде «цепочки» преимущественно субмеридионального простирания; локальные относительно изометричные участки — «кусты» тел и одиночные тела (рис. 5, 6). Первые два типа выражены в той или иной степени во всех известных рудных полях. Преобладающее линейное расположение трубок наиболее характерно для Золотицкого поля. Нёнокское рудное поле включает в равной мере оба типа размещения диатрем (рис. 57). В строении остальных преобладает второй тип взаимного расположения тел.

Размещение трубок взрыва внутри кимберлитовых полей определяется положением контролирующих и вмещающих кимберлиты дислокаций (Милашев, 1990). В полях, где системы дислокаций относятся к сетчатому типу, кимберлитовые тела находятся в узлах пересечения контролирующих и локализирующих дислокаций, распределяясь без видимых закономерностей (подчиняясь сложному внутреннему строению тектонических нарушений более высоких рангов). Поля с субпараллельными системами дислокаций построены по единому плану, что проявляется в наличии сходных по ориентировке и сближенных в пространстве линейных групп кимберлитовых трубок, трассирующих локализирующие их системы дислокаций. Поля наименее распространенного типа с субпараллельными системами дислокаций, как правило, размещаются на флангах линейных зон повышенной проницаемости, где разрывные нарушения имеют четко выраженную однонаправленность.

5.5. Локальные геолого-геофизические критерии

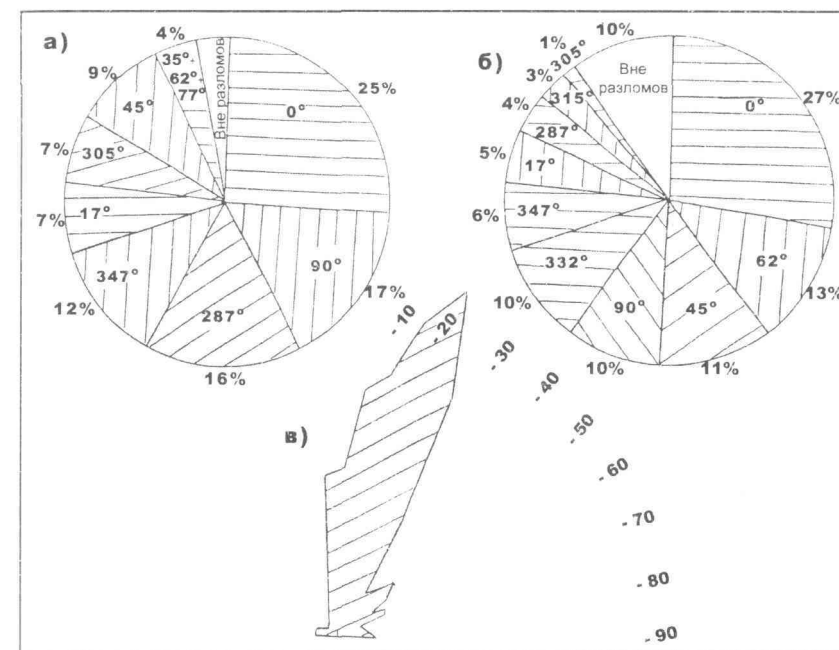


Рис. 56. Статистические параметры трубок взрыва

Частоты встречаемости тел: а) в региональных; б) в локальных разломах; в) роздиаграмма ориентировки длинных осей трубок взрыва

Линейное пространственное расположение трубок взрыва в первую очередь обусловлено приуроченностью к тектоническим нарушениям субмеридионального простирания и их оперяющим нарушениям. «Цепочки» включают в себя от 2 до 9 тел, удаленных друг от друга на 0,5—3,0 км. Внутри «цепочки» выделяются звенья сближенных трубок взрыва. В каждом звене выделяется наиболее крупная диатрема. Расстояние между однотипными трубками в звене порядка 1,5 км. Между ними при изменении масштаба поисковых работ можно обнаружить еще 1—2, реже 3 тела, но значительно меньших размеров и интенсивности (Чистова, 1996). Трубки высокой интенсивности достаточно уверенно картируются магнитной съемкой масштаба 1:25000. Остальные тела по каждому звену можно обнаружить наземными работами масштаба 1:10000, 1:2000.

На розах-диаграммах юго-восточного Беломорья и ее частей

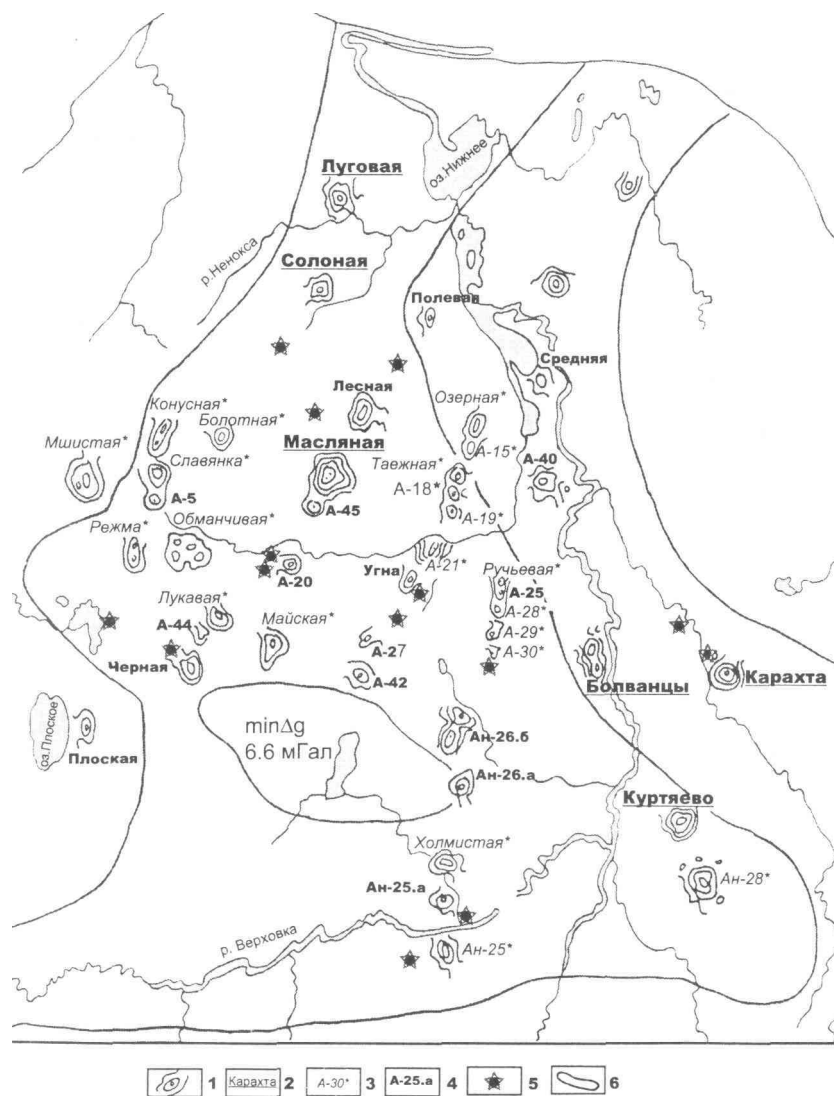


Рис. 57. Поле развития локальных тел Нёнокского комплекса
 1 — контуры магнитных аномалий; 2 — трубки, выявленные магнитной съемкой масштаба 1:25000; 3 — то же масштабов 1:5000—1:2000; 4 — аномалии над возможными трубками; 5 — участки, перспективные на наличие трубочных тел; 6 — локальный гравитационный минимум

четко выделяются элементы ортогональной системы (рис. 33), как на уровне фундамента, так и осадочного чехла. Это преобладание не только качественное, но и количественное, что видно из роз-диаграмм частот встречаемости элементов-индикаторов разломов. Разломы этой системы менее ярко выражены в потенциальных полях, чем нарушения северо-западного простирания, которые они осложняют. Вероятная форма их проявления — малоамплитудные глубинные разломы, слагающие активизированные тектонические зоны.

Дизъюнктивы широтного и меридионального направлений, совокупность которых принято называть ортогональной системой, в пределах юго-восточного Беломорья известны давно. Тем не менее их роль в строении региона изучена недостаточно. На абсолютном большинстве разномасштабных карт региона, за редким исключением, основное внимание уделено структурам северо-западного простирания.

Характер роз-диаграмм спрямленных участков геологических границ венд-палеозойских отложений свидетельствует о руководящей роли разломов с азимутом простирания 359°. Следовательно, разломам ортогональной системы принадлежит существенная роль в герцинской тектоно-магматической активизации. Распределение частот встречаемости эксплозивных тел (81% для юго-восточного Беломорья и 42% для Зимнебережного района) доказывает их приуроченность на локальном уровне к тектоническим структурам ортогональной системы, в основном меридионального простирания (54% и 25% соответственно) (Кутинов, 1991 б; Кутинов, 1992; Кутинов, Чистова, 1996). Кроме того, в ориентировке длинных осей трубок взрыва преобладающими являются азимуты 0° и 17° (Кутинов, Чистова, 1991; 2001) (рис. 56). То есть магма при внедрении использовала те из систем, которые на протяжении герцинского тектоно-магматического этапа находились в состоянии растяжения. Не исключено, что разломы меридионального простирания в конце венда—начале палеозоя являлись как бы суммирующим вектором динамопары разломов диагональных систем, что подтверждается результатами тектоно-физического моделирования.

Активизация разломов «уральского» типа, в первую очередь находившихся в состоянии растяжения разломов меридионального простирания, вызывала оживление ранее существовавших систем, создавая в локальных узлах пересечения вертикальную стволую

структуру, благоприятную для проявления эксплозивного магматизма. Такой механизм характерен для кустов (групп) кимберлитовых тел, в первую очередь Золотицкого, Чидвинского и Ижмозерского полей. В целом для кустов характерно наличие отрезков зон высокой проницаемости в сочетании с непротяженными сдвигами.

Суммируя вышеизложенное, следует отметить, что требуется длительный и достаточно сложный этап тектонической активизации разнонаправленных систем разломов, формирующихся в чередующихся режимах растяжения—сжатия. Необходимо временное и пространственное сочетание региональных и локальных факторов. На уровне районов и полей — пересечения долгоживущих проницаемых структур северо-западного простирания с активизированными северо-восточными зонами. На более локальном — сочетание отрезков разрывных нарушений, находящихся в режиме растяжения, с поперечными сдвигами.

Не исключено, что в этом процессе довольно значительно влияние и самого расплава. Известно, что для областей активизации платформ и щитов характерны разрывные нарушения, обусловленные механической активностью внедренного магматического расплава (Яковлев, 1987). Поднятие магмы под напором в виде столба по каналу, определяемому пересечением крутопадающих разрывов, приводит к образованию в вышележащей толще концентрических и радиальных разломов. Наложение всех этих многочисленных тектонических факторов и создает сложную, во многом индивидуальную ситуацию для каждого отдельно взятого поля или группы тел.

Таким образом, авторами предлагается в качестве основы прогноза и поиска кимберлитовых образований рассматривать иерархический ряд (провинция, субпровинция, пояс, район, поле, куст, трубка) проявлений кимберлитового магматизма в Архангельской (Русской) провинции, контролируемых тектоническими нарушениями разного порядка и фиксируемых в потенциальных полях. Этот подход позволяет усовершенствовать научно-методологическую основу прогноза и достоверности выделения кимберлитового магматизма по геофизическим признакам.

Достоверность анализа подтверждается результатами сейсмических исследований, выполненных ЗГТ (субпровинция, район); дешифрирования космоматериалов (Серокуров и др., 1992) и гео-

плотностного моделирования (Строение литосферы..., 1993; Литосфера и гидросфера..., 2001).

Предлагаемый методологический подход позволяет значительно сократить объемы поисковых работ и перейти от экстенсивного пути к более эффективному целевому изучению разноранговых кимберлитовых образований в их естественных геологических границах.

На основе выявленных закономерностей по геофизическим данным авторами прогнозируются 29 новых объектов на площади развития Нёнокского комплекса и в пределах Солзенской ступени был выделен новый участок, перспективный на обнаружение трубок взрыва (Белоозерское поле) (Чистова, 1991), в пределах которого в дальнейшем были обнаружены трубки взрыва.

В результате комплексных геофизических исследований, проведенных при личном участии одного из авторов, на площади Нёнокского поля выявлено значительное количество локальных магнитных аномалий, интерпретируемых как тела трубчатого типа. Буровыми и горными работами было открыто более 30 трубок взрыва. Таким образом, появилась возможность перейти от характеристик аномалий, обусловленных телами щелочно-ультраосновных пород, к анализу поля их развития, т. е. изучению особенностей его строения и проявления в геопотенциальных полях для установления признаков, позволяющих прогнозировать поля, перспективные на обнаружение трубок взрыва по принципу аналогий.

Анализ структурно-тектонической ситуации показал, что форма проявления щелочно-ультраосновного магматизма и ее отражение в потенциальных полях Архангельской алмазоносной провинции имеют определенные отличия. Так, трубки Зимнебережного комплекса в региональном плане тяготеют к субмеридиональной зоне перехода от области отрицательных к положительным значениям в гравиметрических полях. Тела Нёнокского комплекса пространственно приурочены к гравитационному минимуму порядка $5 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$, совпадающему с областью относительно пониженных значений ΔT (до 300 нТл), вероятно, обусловленному относительно опущенным блоком в пределах структуры первого порядка — Онежского авлакогена (Чистова, 1996). Подобное объясняется, вероятно, тем, что первая группа тел расположена на площади архейского кратона, вторая — в зоне повышенной проницаемости фундамента — «межи», по К. О. Кратцу (Шукин и др., 1984). Воздей-

ствии поднимающегося расплава по-своему отразилось в каждой из структур, вызвав различия в глубинном строении и, как следствие, в потенциальных полях. В дальнейшем это обстоятельство учитывалось авторами при прогнозировании новых перспективных проявлений магматизма (Чистова, 1991).

Общая структура геопотенциальных полей, структурно-тектоническая и геологическая обстановки (рис. 47, 48, 58) отличаются следующими чертами. Региональное гравитационное поле, имеющее ярко выраженное зональное строение, по характеру и интенсивности аномалий разделяется на две области: гравитационной ступени с амплитудой $26 \times 10^5 \text{ м/с}^2$ (северо-восточный борт Онежского грабена) и относительно пониженных значений силы тяжести (Солзенская ступень II) с локальными экстремумами, включая региональный Кудемский минимум Π_2 . Региональное магнитное поле в основном соответствует гравитационному и охватывает область плавного понижения значений АТ в юго-западном направлении с градиентом до 100 нТл/км , а также область относительно пониженных значений магнитного поля с аномальными зонами на северо-западе и юго-востоке, обусловленными блоковым строением фундамента.

Кудемская гранитоидная интрузия (Π_2), картируемая одноименным гравитационным минимумом, делит Солзенскую ступень (II) на северную и южную части со сходными характеристиками в потенциальных полях из-за близкого геологического строения. В пределах данной структуры нами выделены четыре блока фундамента (Нёнокский- Π_6 , Пихкальский- Π_3 , Сальский- Π_5 и Белоозерский Π_4) с тектоническими границами сбросового типа (Кутинов, Чистова, 1987 а).

Трубки Нёнокского комплекса приурочены к одноименному блоку фундамента, характеристики которого в гравимагнитных полях позволяют интерпретировать его как опущенный участок развития пород беломорского комплекса архея в пределах Солзенской ступени, по-видимому, в значительной мере гранитизированный или мигматизированный.

Практическое использование вывода о связи трубок взрыва с тектоническими структурами с учетом всех следственных выводов; особенностей и закономерностей известных форм проявления щелочно-ультраосновного магматизма и их отражения в потенциальных полях, на площади развития Нёнокского комплекса позволило авторам уверенно прогнозировать 15 новых трубок, картируемых

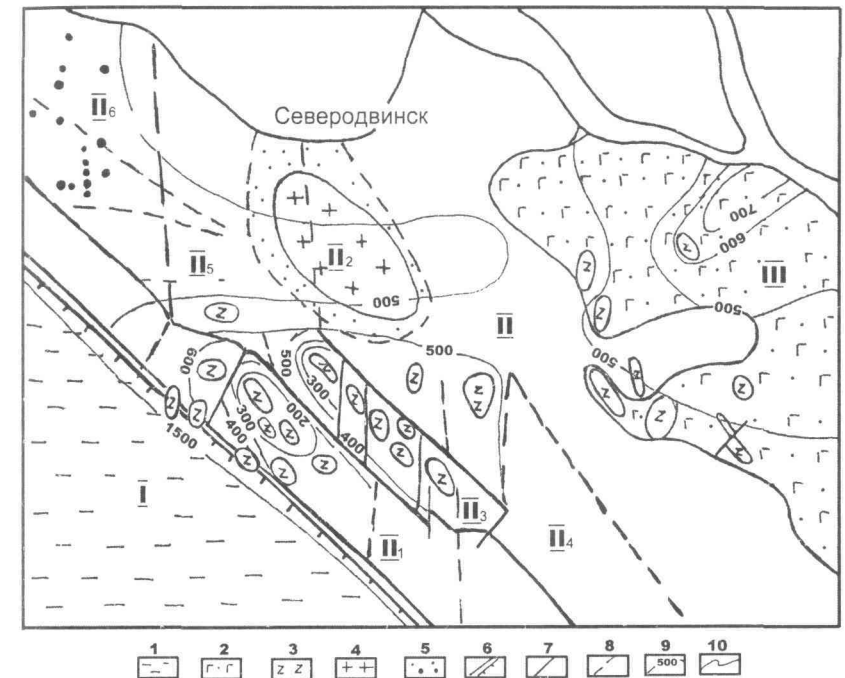


Рис. 58. Структурно-тектоническая ситуация поля расположения магматических тел Нёнокского комплекса

Основные структуры фундамента: I — Онежский грабен; II — Солзенская ступень; Π_1 — Синегорский блок; Π_2 — Кудемская интрузия; Π_3 — Пихкальский блок; Π_4 — Белоозерский блок; Π_5 — Сальский блок; Π_6 — Нёнокский блок; III — Архангельский мегавал.

1 — осадочные отложения нёнокской и солзозерской свит рифея; 2 — вулканогенно-осадочный комплекс; 3 — интрузивные породы основного состава; 4 — гранитоиды; 5 — контактовые изменения пород; 6 — борт Онежского грабена; разломы: 7 — хорошо выраженные в потенциальных полях; 8 — слабо выраженные; 9 — изопакиты осадочного чехла; 10 — геологические границы

магнитными аномалиями: А-5, А-20, Лесная, Плоская, Средняя, А-40, А-27, А-42, Угна, Черная, Полевая, А-44, А-45, Ан-26, Ан-25а. Кроме того, перспективными на обнаружение новых объектов являются еще 14 участков (рис. 57).

Анализ фактических материалов на основании принципа аналогий геолого-геофизических особенностей с позиций регионального распределения кимберлитовых образований позволил выделить но-

вую перспективную площадь (Белоозерскую) в пределах одноименного блока, расположенного на Солзенской ступени (рис. 59).

Белозерский блок имеет практически идентичные Нёнокскому характеристики в геопотенциальных полях: гравитационный минимум с амплитудой $(4 - 5) \times 10^5$ м/с² и относительно пониженные значения (100—200 нТл) магнитного поля. Региональные магнитные аномалии в пределах блоков практически отсутствуют, что указывает на относительную однородность и стабильность тектономагматического режима. Подобные закономерности неоднократно отмечались для Якутской провинции, где они отражены в гравитационном и магнитном полях в виде изометричных аномалий пониженных значений, обусловленных наличием серпентизированных ультраосновных пород мантийного диапира с низкими значениями плотности и магнитной восприимчивости (Фельдман, 1989).

В пределах Белозерского блока съемкой масштаба 1:25000 выделены аномалии интенсивностью от 17 до 52 нТл, размерами от 250 x 250 до 550 x 800 м, формой и взаимным расположением подобные нёнокским. Учитывая однотипность блоков, благоприятные геолого-структурные предпосылки, подобие аномалий и их взаимного расположения, данный район еще в отчете 1986 года был объявлен как перспективный и требующий дальнейшего подробного изучения. Учитывая увеличенную мощность (по сравнению с Нёнокским блоком) осадочного чехла и пониженную интенсивность выявленных аномалий (близкую к аномалиям над телами Зимнебережного щелочно-ультраосновного комплекса), предполагалось, что аномалии Белозерского блока (рис. 59) могут быть обусловлены телами, отличными по вещественному составу от оливиновых меллититов Нёнокского блока. Новая перспективная площадь составляет порядка 100 км². Исследованиями сотрудников Северного отдела ЦНИГРИ в дальнейшем здесь были обнаружены минералы спутники трубок, что существенно укрепило достоверность прогноза на основе геофизических данных. На данной площади была проведена аэромагнитная съемка масштаба 1:10000 с последующей наземной детализацией выявленных магнитных аномалий. Площадь была рекомендована к заверке буровыми работами, которыми были вскрыты трубочные тела.

В понятии «месторождение» наиболее доминантно отражается двойственность трактовки понятия «геологический объект» — как совокупность геологических границ, определяемых природой, и гра-

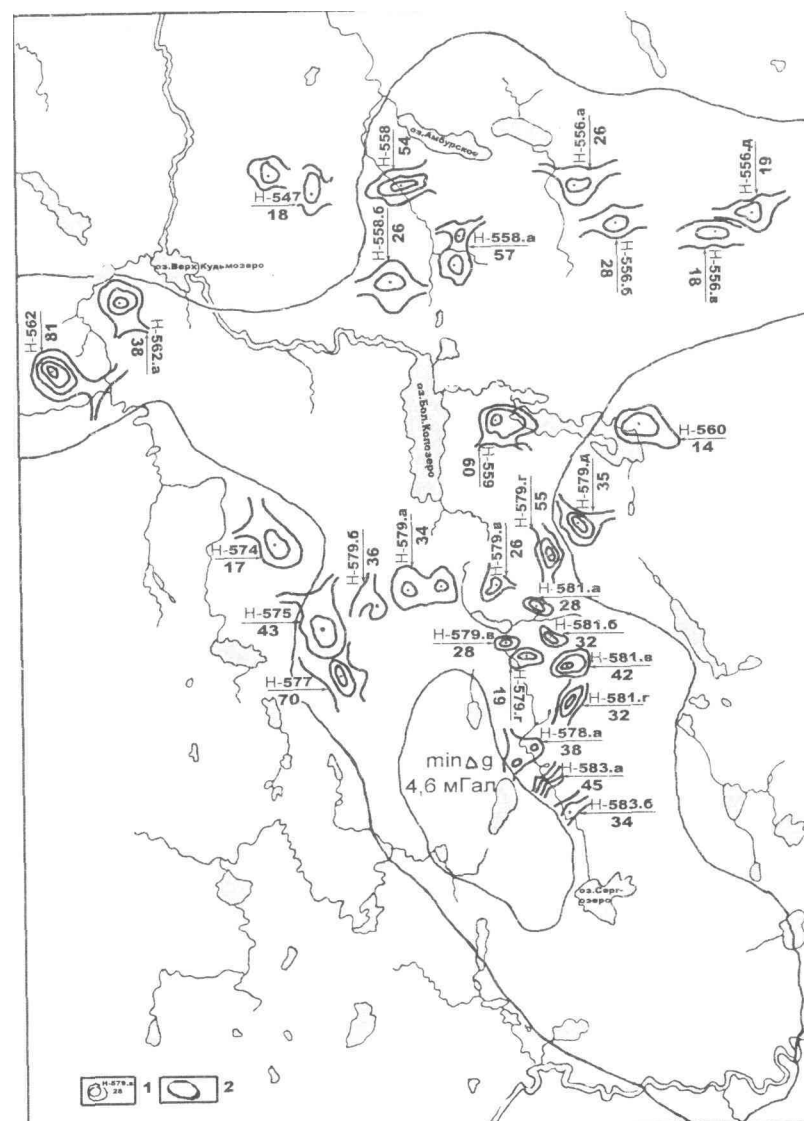


Рис. 59. Перспективные аномалии в пределах Белозерского блока
1 — аномалии, их номера/расчетная глубина; 2 — локальный гравитационный минимум

ниц, обусловленных инженерно-техническими и инженерно-геологическими задачами (Бродовой, 1994). При этом естественные (природные) границы — объективная реальность, целевые границы определяются целевыми задачами. На территории региона известны два месторождения алмазов — им. М. В. Ломоносова и В. П. Гриба. В первом случае границы природных тел не совпадают с целевыми геологическими, т. к. в качестве основного критерия последних являлась пространственная близость промышленно-алмазоносных тел. В этой конкретной ситуации к целевым границам наиболее близки природные границы куста («цепочки») кимберлитовых тел.

Все 10 кимберлитовых трубок Золотицкого рудного поля являются в разной степени алмазоносными, образуя месторождение алмазов имени М. В. Ломоносова.

Продуктивные трубки вытянуты в субмеридиональном направлении (северо-северо-восток), слагая цепочку тел. Вмещающие породы — вендские отложения. Трубки перекрыты среднекаменноугольными и четвертичными образованиями. Время возникновения всех тел месторождения — поздний девон-средний карбон. Тела, представленные туфами, туффитами, туфобрекчиями, образовались в процессе кимберлитового магматизма в несколько стадий (Веричев и др., 1991). В диатремах отчетливо видны от одного до трех типов кимберлитовых пород. Слабая эрозия тел подтверждается горизонтальной зональностью. Морфология, размеры и внутреннее строение тел месторождения показаны на рисунке 60. Обобщенная геологическая модель — на рисунке 61.

Пространственное расположение разновидностей кимберлитовых пород в трубочном теле определяется последовательностью их формирования. Это относится как к жерловой, так и к кратерной фациям. При этом туфобрекчии (продукты ранних этапов извержения) залегают на периферии трубок взрыва, а в однофазных трубках полностью слагают их жерла. Чаще всего тела автолитовых брекчий расположены внутри туфобрекчий (последние как бы окаймляют автолитовые брекчии со всех сторон, трубки Пионерская, Карпинская и др.), иногда залегают между туфобрекчиями и вмещающими вендскими породами (тр. Ломоносовская).

На основе около 400 химических анализов автолитовой брекчии установлено, что она характеризуется высокими содержаниями Mg, Ni, Cr и низкими — Ti, Al, Ca, щелочей, общего железа и Mn (Веричев и др., 1991). Алмазоносные трубки содержат в сред-

нем (мас. %) 27,5 MgO; 7,41 FeO + Fe₂O₃; 3,18 Al₂O₃; 0,91 TiO₂, средние содержания редких элементов составляют (г/т) 12 Sc; 2,9 V; 4,4 Hf, менее 2 Ta. То есть кимберлиты месторождения им. М. В. Ломоносова соответствуют магнезиально-глиноземистым разностям, типичным для алмазоносных кимберлитов.

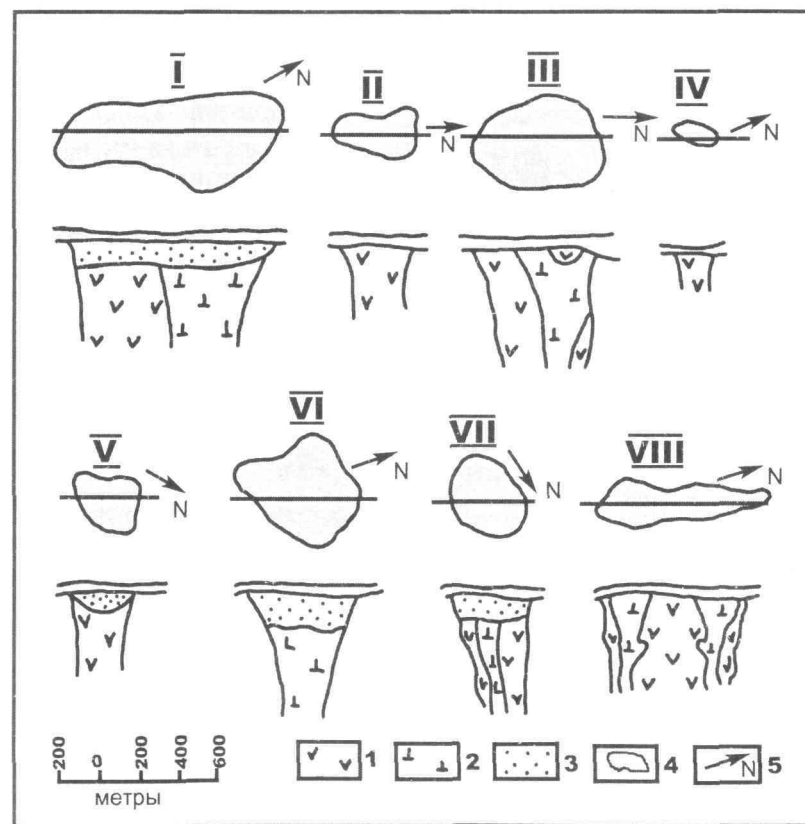


Рис. 60. Морфология и внутреннее строение кимберлитовых трубок Золотицкого поля (Веричев и др., 1991)

1—2 — породы: 1 — первой фазы внедрения диатремовой фации; 2 — второй фазы; 3—4 — отложения: 3 — кратерной фации; 4 — перекрывающие трубку (каменноугольные, четвертичные); 5 — направление на север.

I—VIII — трубки взрыва: I — Пионерская; II — Поморская; III — Ломоносовская; IV — Кольцовская; V — Снегурочка; VI — Архангельская; VII — Карпинского-1; VIII — Карпинского-2

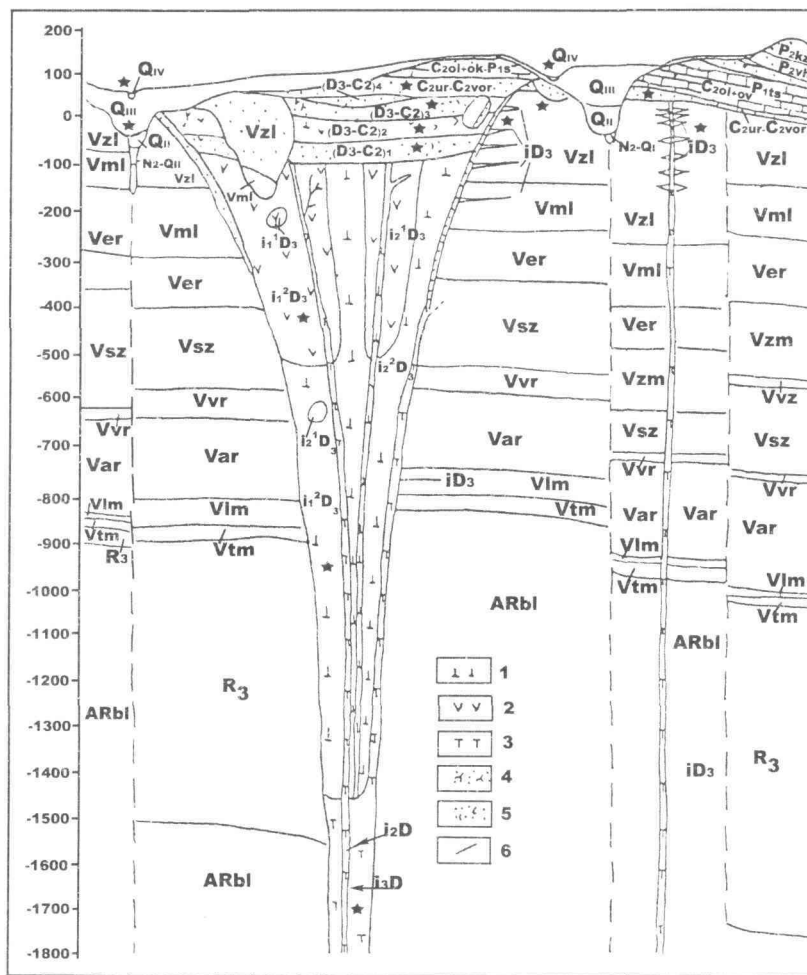


Рис. 61. Геологическая модель трубки взрыва Золотицкого кимберлитового поля

Туфогенно-осадочные отложения: $(D_3-C_2)_3$ — верхняя толща. Туфопесчаники и песчаники; $(D_3-C_2)_2$ — средняя толща. Туфы, туффиты; $(D_3-C_2)_1$ — нижняя толща. Туфопесчаники, песчаники; iD_3 — кимберлиты; i_1D_3 — ксенотуфобрекчии второго этапа; i_2D_3 — автолитовые кимберлиты. Дайки; i_3D_3 — порфировые кимберлиты подводящего канала. Жилы, дайки.

1 — автолитовые брекчии; 2 — ксенотуфобрекчии; 3 — порфировые кимберлиты; 4 — туфопесчаники, туффиты; 5 — песчаники с примесью кимберлитового материала; 6 — геологические границы

Слабо- и убогоалмазоносные кимберлиты соответствуют железо-титанистой серии пород.

Эти две серии пород, резко отличные по алмазонасности, отчетливо разделяются на бинарной диаграмме в координатах $MgO - FeO + Fe_2O_3$ (рис. 5!), где также оконтурены поля составов алмазоносных, неалмазоносных и убогоалмазоносных кимберлитов из трубок Якутской провинции.

В направлении от кимберлитов месторождения им. М. В. Ломоносова к базальтоидным телам (по данным более 500 анализов) алмазонасность пород падает, а окислительный потенциал возрастает. Количество титаномагнетита растет, фиксируя активность окислительного потенциала среды минералообразования. Наблюдается закономерный тренд изменения состава шпинелидов из связующей массы кимберлитов (увеличение отношения $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$ и уменьшение отношения $Cr/(Cr + Al)$ при переходе от алмазоносных трубок к слабо-, убогоалмазоносным и неалмазоносным трубкам территории.

Как известно, магнитная восприимчивость горных пород определяется главным образом концентрацией в ней ферромагнитных минералов (Геофизические методы... 1982). При этом ультраосновные породы, к которым относятся и кимберлиты, характеризуются слабой магнитностью неизменных разностей, так как большая часть железа в них входит в состав силикатов. Но при серпентинизации этих пород происходит развитие оливина по серпентину и освобождается часть железа, за счет которого образуется магнетит. Все типы кимберлитовых пород Зимнебережного района практически нацело сложены минералами легкой фракции: серпентинитом, гидрослюдами и минералами палыгорскит-сепиолитовой группы. При этом отмеченные выше различия составов пород, слагающих трубки взрыва, отразились на интенсивности магнитных аномалий, вызванных последними, что достаточно хорошо видно на петромагнитных моделях (рис. 62—64).

В целом, можно отметить, что от алмазоносных кимберлитов Золотицкого поля к базальтоидным телам интенсивность магнитных аномалий растет.

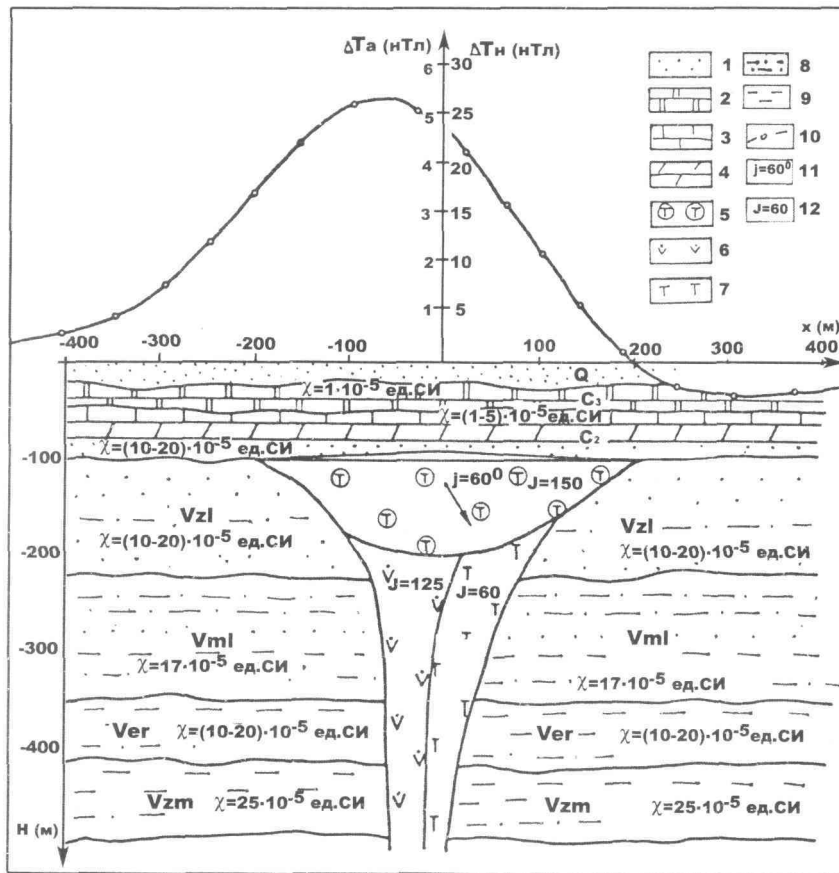


Рис. 62. Обобщенная петромагнитная модель трубки взрыва Золотицкого поля

Q — четвертичные отложения; P — отложения перми; C₃ — отложения верхнего карбона; C₂ — отложения среднего карбона; терригенные отложения венда: Vz1 — золотицкие слои; Vml — мельские слои; Ver — ергинские слои; Vz2 — зимнегорские слои.

1 — пески, песчаники; 2 — доломиты; 3 — известняки; 4 — глинистые известняки; 5 — туфогенно-осадочные отложения; 6 — ксенотуфобрекчии; 7 — автолитовые брекчии; 8 — алевролиты; 9 — аргиллиты; 10 — кривая ΔTa; 11 — наклонения вектора суммарной намагниченности; 12 — величина суммарной намагниченности (J_i + J_n) × 10⁻³ А/м

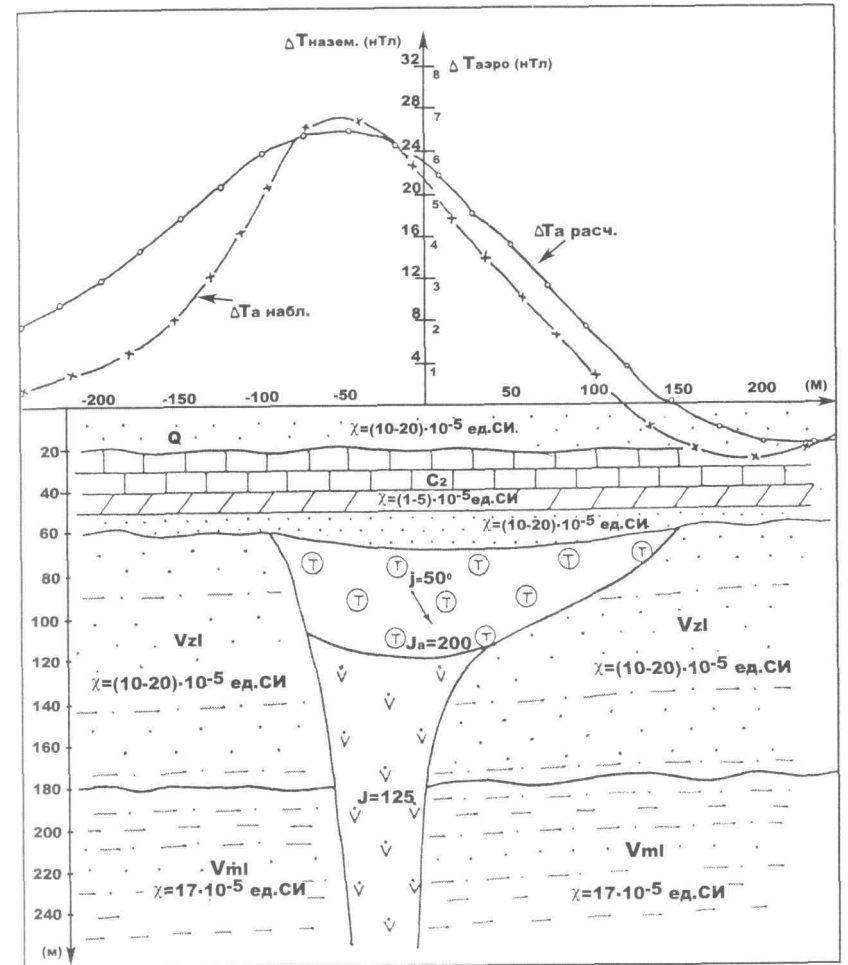


Рис. 63. Обобщенная петромагнитная модель трубки взрыва Верхотинского поля

Условные обозначения см. рис. 62.

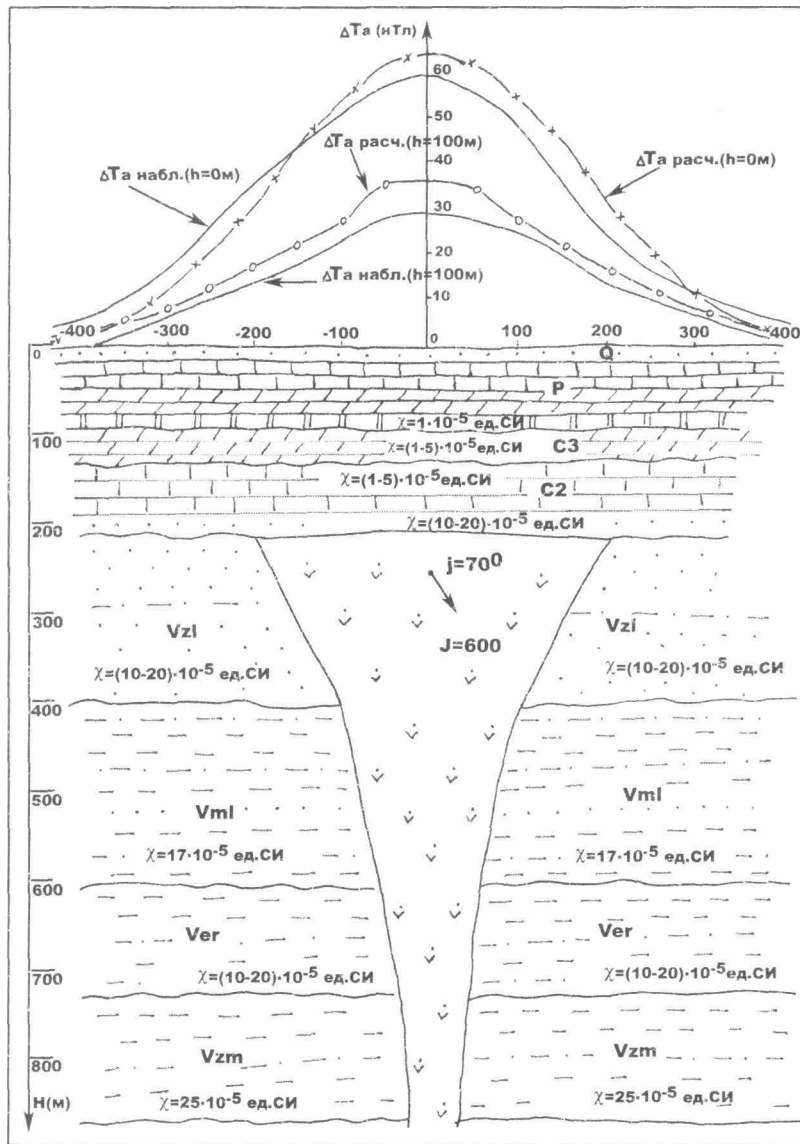


Рис. 64. Обобщенная петромагнитная модель трубки взрыва базальтоидного комплекса
Условные обозначения см. рис. 62.

Глава 4 ТРУБКИ ВЗРЫВА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Трубка взрыва, являясь начальной единицей ряда кимберлитовых проявлений, представляет собой не только основной, но и единственный (при сложившейся методике) поисковый объект на настоящий момент.

Как и для любого поискового объекта, основное значение имеют его внутреннее строение, размеры, а также наличие геологических признаков, обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого эффекта. Причем к последнему относятся требования как практической реализуемости, так и экономической целесообразности в большей мере, чем к остальным таксонам кимберлитового магматизма.

Для изменения существующего положения при поисках трубок взрыва необходимо: резкое увеличение объема данных, изменение методов поисков трубок взрыва, появление новых данных, требующих уточнения или переформулировки сложившейся концепции.

На настоящий момент принципиального изменения методики как выявления аномалий, так и их заверки не наблюдается и, к сожалению, не предвидится (см. гл. 2), не отмечается также резкого возрастания объема данных, необходимого для увеличения степени детальности и сложности модели.

Следует также отметить, что, как парадоксально это ни звучит, с определенного уровня для построения моделей сам по себе объем материала наблюдений, по-видимому, не имеет принципиального значения. Построение модели — это прежде всего формулировка концепции. И все дело в том, что принципиально нового добавляет к нашей концепции увеличение объема материала и насколько это облегчает формулировку новой теоретической концепции.

Возможности иерархического подхода нами рассмотрены ранее (глава 3).

Рассмотрим с вышеперечисленных позиций имеющиеся фак-

тические данные. Сравнение гистограмм частот встречаемости кимберлитовых трубок с различными размерами площадей сечения мира и юго-восточного Беломорья (рис. 9) показывает некоторые расхождения. В целом распределение в обоих случаях носит явно выраженный логнормальный характер, со значительной долей мелких тел в общей генеральной совокупности. Но для юго-восточного Беломорья характерно отсутствие тел с площадью сечения менее $0,01 \text{ км}^2$ ($\sim 100 \times 100 \text{ м}$), а в совокупности, характеризующей трубки взрыва мира, их доля составляет 64% от общего числа (Кимберлиты..., 1990). Из этого факта возможны два вывода: а) тела этого размера отсутствуют на территории; б) они пропущены в процессе поисков, т. е. концепция, лежащая в основе поисковой методики дает сбой.

Вероятность обнаружения цели при исследовании вдоль множества линий может быть определена из геометрических соображений (Дэвис, 1990). Вероятность открытия связана с относительным размером цели сравнительно с пространственной схемой опробования. На вероятность также оказывает влияние вид цели и расположение линий поиска. В нашем случае цель имеет эллиптическую форму (Белов, 1991) ($a/l=0,559$), а поиск ведется по параллельным линиям или по прямоугольной сети (расстояние между профилями 100 м, между точками 25 м, АМР 1:10000), и можно вычислить вероятность того, что линия пересечет скрытую цель (для параллельных линий), невзирая на то, где она расположена внутри исследуемой площади.

При этом наибольший интерес представляют дополнительные вероятности, т. е. вероятности того, что случайно расположенная цель будет пересечена один или большее число раз множеством линий, вложенных в прямоугольную сеть.

Общее уравнение имеет вид:

$$P = Q (D_1 + D_2 - Q) / D_1 \times D_2,$$

где $Q = 2 ((a^2 + b^2)/2)^{1/2}$, а и b — полуоси эллипса, D_1 — расстояние между параллельными линиями сети, D_2 — расстояние между перпендикулярным множеством разрезов.

Параметры эллипса нами вычислялись исходя из следующего: максимальная площадь $10\,000 \text{ м}^2$, отношение осей 1:1,8. Площадь эллипса вычисляется по формуле:

$$S = \pi ab, \text{ т. е. } 10\,000 = \pi \times 1,8X \times X = \pi \times 1,8 X^2 = 42 \text{ м.}$$

Таким образом, $a = 76 \text{ м}$, $b = 42 \text{ м}$.

$$P = 122,8 (100 + 25 - 122,8) / 100 \times 25 = 0,11,$$

т. е. вероятность невелика.

Результаты сопоставления аэромагнитной съемки масштабов 1:5000 с 1:10000 показали, что на площади около 1000 км^2 выделяется 7 ранее не зафиксированных аномалий, причем 2 из них могут представлять поисковый интерес (размеры 150×150 и $120 \times 120 \text{ м}$, интенсивность 6 нТл) (данные ПГО «Севзапгеология»). Установлено, что даже при аэромагнитной съемке масштаба 1:5000 с воздуха отражается около 60% наземных аномалий. Как правило, последние имеют интенсивность по локальной составляющей не менее 3 нТл, с преобладанием размеров менее $100 \times 100 \text{ м}$. Таким образом, реален пропуск слабоинтенсивных аномалий малых размеров высокоточной магниторазведкой не только масштаба 1:10000, но и 1:5000.

Принятый в регионе комплекс геофизических методов ориентирован на поиски кимберлитовых тел по двум наиболее устойчивым признакам дифференциации их от вмещающих пород — повышение намагниченности и электрической проводимости. На настоящий момент из всей существующей генеральной совокупности трубок взрыва обнаружены те из них, которые обладали либо повышенной намагниченностью, либо пониженным сопротивлением, а также сравнительно повышенными размерами. Т. е. выборка взрывных тел из существующей генеральной совокупности по своим индикационным параметрам не является строго случайной, а избирательна по применяемым поисковым методам. Оценка подобных данных, проведенных в Якутии (Цыганов и др., 1988 а), позволила по характеру статистических параметров предположить наличие еще не обнаруженных малококонтрастных тел и оценить генеральную совокупность. В результате был получен вывод о соизмеримости общего объема кимберлитовых пород в группах тел, площадь которых отличается на порядок. По геолого-геофизическим данным большинство наиболее интересных в промышленном отношении трубок взрыва обладает физическими параметрами, сходными с характеристиками вмещающих комплексов пород. Итак, возможно ли наличие немагнитных трубок взрыва на площади юго-восточного Беломорья? Ряд косвенных данных говорит о такой

возможности. Исследования петрофизических моделей показали, что повышенной намагниченностью характеризуется верхняя кратерная часть тела (рис. 14). т. е. эрозии, в первую очередь, подвергается сильномагнитная часть интрузивного комплекса. С неизбежностью следует, что сильноэродированные перспективные объекты (особенно в пределах поля развития протерозойских пород) не будут отличаться заметной магнитной аномалией. Особенности геологических разрезов вмещающих пород (преобладание аргиллитов и алевролитов на западе и резкое увеличение мощности перекрывающих отложений на востоке провинции) не позволяют локализовать подобные кимберлитовые тела электроразведочными методами (рис. 20—26).

Проведенные расчеты показали, что в зависимости от конкретных петромагнитных разрезов трубки взрыва могут проявляться в виде: а) положительных изометричных аномалий, обусловленных телами типа «вертикальный цилиндр, бесконечный на глубину» (одна фаза внедрения); б) положительной субизометричной аномалии, обусловленной телами типа «вертикальный цилиндр, ограниченный на глубину» или «пластины»; в) слабо выраженных цепочек локальных аномалий, обусловленных превалирующим влиянием приконтактной части первой фазы внедрения; г) отрицательных локальных аномалий интенсивностью до 10 нТл, связанных с преобладающей суммарной намагниченностью золотицких слоев.

В зависимости от геоэлектрического разреза трубки взрыва могут выделяться: а) аномалиями повышенной проводимости; б) аномалиями пониженной проводимости; в) в районах развития низкоомных отложений усть-пинезской свиты возможны оба варианта в зависимости от величины эрозионного среза диаметром; г) в определенных геологических условиях трубки взрыва могут не фиксироваться аномалией электропроводимости.

Анализ материалов показал, что часть магнитных аномалий, связываемых с трубками взрыва, имеет к ним весьма косвенное отношение, и, если бы не результаты электроразведочных работ, объекты могли бы быть пропущены (трубки Пионерская, Архангельская) (Чистова, 1996; Кутинов, Чистова, 2002).

Изучение терромагнитных свойств брекчий трубки им. М. В. Ломоносова (Выручаев, 1991) показало, что «слабомагнитные» автолиты устойчиво характеризуют интервалы автолитовых эруптивных брекчий зеленого цвета, почти не содержащих ксеногенного

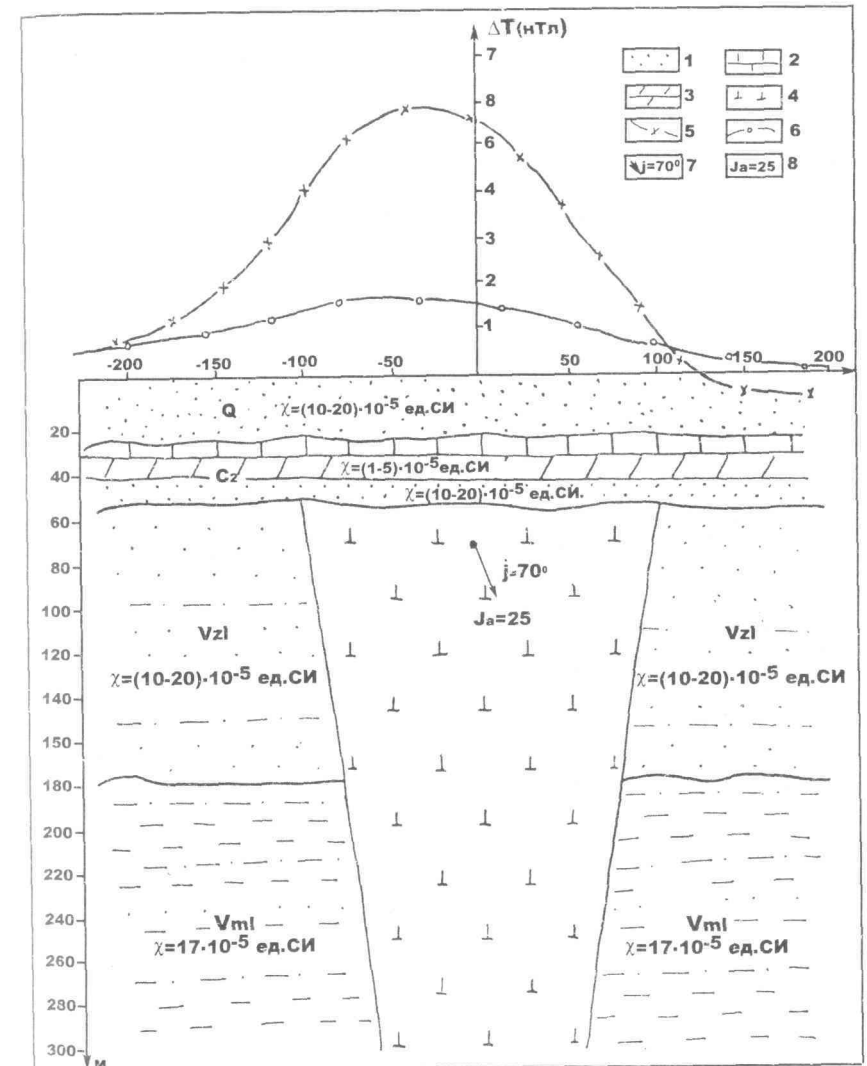


Рис. 65. Гипотетическая модель автолитовой трубки взрыва
 Q — четвертичные отложения; C₂ — породы среднего карбона; венд: Vz1 — золотицкие слои; Vm1 — мельские слои. 1 — пески, песчаники; 2 — известняки; 3 — доломиты; 4 — автолитовая брекчия; 5 — расчетная кривая ΔT_а (уровень дневной поверхности); 6 — расчетная кривая ΔT_а (уровень 100 м от дневной поверхности); 7 — наклонение вектора суммарной намагниченности; 8 — величина суммарной намагниченности (J_i+J_n)×10⁻³ А/м

материала. Был сделан вывод, что туфобрекчии и ксенотуфобрекчии, содержащие в своей магматической составляющей (автолиты) титаномагнетит с точками Кюри от 380 до 410°, — признак равновесного состояния (отстаивание) магмы на высоких уровнях земной коры, — вероятно, должны быть менее продуктивными, чем автолитовые эруптивные брекчии, не содержащие титаномагнетита. Этот вывод подтверждается данными поисково-оценочных и разведочных работ.

Ожидаемый аномальный эффект от автолитовой трубки взрыва составляет максимум 6 нТл на земле, на высоте 100 м аномалия практически не фиксируется (рис. 65). Таким образом, наличие слабо- или практически немагнитных трубок взрыва в юго-восточном Беломорье весьма реально.

При этом возникает вопрос: каково их количество, хотя бы в процентном выражении?

Оценить соотношение магнитных и слабомагнитных тел в регионе прямыми подсчетами невозможно, поскольку опосредованное территории выполнено исключительно по данным аэро- и наземной магниторазведки. Геологические работы сводились в основном к заверке магнитных аномалий. Таким образом, оценку можно провести только по косвенным данным. Результаты статистической обработки данных за рубежом показывают, что количество немагнитных и слабомагнитных трубок составляет 15—37% от общего числа (Прокопчук, 1982).

В Западной Якутии, анализируя данные по Молодинскому, Мерчимденскому, Далдынскому, Алакит-Мархинскому и Мало-Ботубинскому кимберлитовым полям, исследователи (Саврасов, 1976) пришли к выводу, что при поисках с применением методов магниторазведки 20% кимберлитовых тел из-за их слабой магнитности могут быть не обнаружены. Такой процент, по-видимому, отражает в какой-то мере реальное соотношение слабомагнитных и магнитных кимберлитовых тел. Следует отметить, что по имеющимся данным слабой намагниченностью обладают обычно мелкие кимберлитовые тела (Балакшин, Саврасов, 1971). Крупные трубки диаметром более 150—200 м и слабой магнитностью в Якутии пока не обнаружены. В то же время, на Зимнем берегу такая диаграмма известна (тр. Пионерская), т. е. возможно наличие слабомагнитных крупных тел.

Таким образом, пропуск около 20% трубок реален. Причем в

данном случае мы сталкиваемся с новым классом геологических тел, имеющим иные характеристики в геофизических материалах, чем те, что были эмпирически получены на уже известных трубках взрыва. Поиск подобных тел требует как больших затрат, так и создания новой (хотя бы теоретической) концепции.

4.1. Анализ поисковых предпосылок и признаков трубок взрыва

Проведенный анализ имеющихся материалов показал, что для исследуемого региона давно назрела необходимость создания модели трубки взрыва в признаковом пространстве. Исходя из этого вывода, нами рассматривались поисковые предпосылки и признаки как уже выделенные (эмпирические) на известных объектах, так и те, которые, возможно, будут сопутствовать гипотетическим трубкам взрыва. Возможность наличия таких тел рассмотрена в предыдущем разделе.

Все предпосылки и признаки подразделялись на стратиграфические, тектонические, геометрические, минералогические, геохимические, геоморфологические, геофизические.

4.1.1. Стратиграфические предпосылки

Под стратиграфическими предпосылками подразумевалось использование возраста геологических образований и условий их формирования для прогноза и поисков трубок взрыва. В истории развития земной коры выделяются эпохи максимального накопления определенных видов экзогенных и эндогенных полезных ископаемых. Не являются исключением из этого правила и коренные источники алмазов. Исследованиями было установлено, что якутские трубки насчитывают не менее 5 возрастных интервалов в пределах 450—146 млн лет: позднеордовикский, позднесилурийский, позднедевонский, пермо-триасовый и позднеюрский (Аристов, 1975). Все наиболее богатые трубки Малоботубинского и Далдын-Алакитского районов относятся к третьей группе, причем внутри группы разброс достигает всего 20 млн лет.

Все диатремы приурочены к поверхностям несогласий, т. е. трубки взрыва формируются во время перерывов в седиментации,

в континентальных геодинамических обстановках, на положительных тектонических структурах (Милашев, 1990). Приуроченность выявленных на исследуемой территории трубок к герцинскому этапу тектоно-магматической активизации, сопровождавшемуся перерывом в осадконакоплении, не вызывает сомнений. Учитывая размеры территории, захваченной воздыманием, можно сделать вывод, что стратиграфические предпосылки носят региональный характер и более пригодны для прогноза кимберлитовых субпровинций — кимберлитовых районов, а не более мелких таксонов. В то же время они играют немаловажную роль при разработке тектонических критериев, что будет показано позднее.

К более локальным признакам можно отнести тот факт, что более 50% трубок, в том числе и все продуктивные, приурочены к геологическим границам, разделяющим карбон и венд, карбон и пермь, т. е. к границам структурных подъярусов (рис. 6, 7). Однако попытки сосредоточить поиски по границам структурных подъярусов пока результата не дали. Значит, последние не являются достаточными при поисках трубок взрыва.

4.1.2. Минералогические предпосылки и признаки

Сущность минералогических предпосылок и признаков заключается в использовании характера минералогических полей и аномалий для прогноза и поисков трубок взрыва (Аристов, 1975).

Минералогические предпосылки и признаки подробно рассмотрены в ряде работ (Соболев, 1991; Богатиков и др., 2002). В результате обобщения материалов общеминералогического изучения кимберлитовых брекчий установлено, что во всех разновидностях пород, вследствие глубоко зашедших процессов вторичных изменений, роль породообразующих играют минералы легкой фракции (Соболев, 1991). Средний выход тяжелой фракции варьирует от 0,69 в автолитовой брекчии до 5,01 кг/т в туфах и туффитах, причем повышенные содержания тяжелой фракции обуславливаются либо ксеногенными либо постмагматическими минералами.

Характерной чертой всех промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел оказалось исключительно низкое содержание индикаторных минералов кимберлитов (≤ 100 г/т). К поисковым признакам относятся: находки кристаллов алмазов; высокохромистых пиропов, хромшпинелидов и хромдиопсидов; пикроильменитов;

обломки кимберлитов и кимберлитоподобных пород в промежуточных коллекторах; минералов легкой фракции во вторичных коллекторах (сапонита, флогопита с хлоритовой каймой). Промежуточными коллекторами являются: среднекаменноугольный (урзугская свита), верхнепермский (вихтовская свита), четвертичный (N — Q_{II}; Q_{III}; Q_{IV}), аллювиальные и прибрежно-морские отложения.

Вышеперечисленные критерии не однозначны в силу широкого развития в регионе аллохтонных водно-ледниковых образований и противоречивых представлений о возможности транспортировки материала ледником. Широкое площадное развитие четвертичных отложений мощностью от первых до 200 м (при средней 40—70 м) затрудняет равномерное опробование промежуточных коллекторов. К тому же хорошо сохранившиеся на многих трубках взрыва туфогенно-осадочные толщи, широкое развитие сапонита, зон окварцевания и монтмориллонита, а также значения ряда геохимических коэффициентов (Главатских, 1992) указывают на слабое развитие эрозионных процессов. По мнению некоторых исследователей, эрозионный срез на трубках достигает только 100—300 м, что обусловило незначительное поступление алмазов и минералов-спутников в промежуточные коллекторы.

4.1.3. Геохимические предпосылки и признаки

Сущность геохимических предпосылок и признаков заключается в использовании характера геохимических полей и аномалий для прогноза и поисков трубок взрыва.

Наиболее подробно геохимические предпосылки и признаки разноуровневых таксонов кимберлитового магматизма для региона рассмотрены в работе С. П. Главатских (1992). В ней, в частности, отмечено, что ореолы кимберлитовых полей, узлов и трубок обладают сквозными чертами сходства, обусловленного единством геологических позиций их проявления и структуры геохимического поля. Кимберлитовые тела фиксируются эндо- и экзоконтактовыми ореолами и потоками рассеяния широкого круга элементов-индикаторов кимберлитового магматизма, образующими сложную пространственно и генетически связанную аномальную зону.

Модель кимберлитовой трубки в геохимических формулах и факторах приведена на рис. 66.

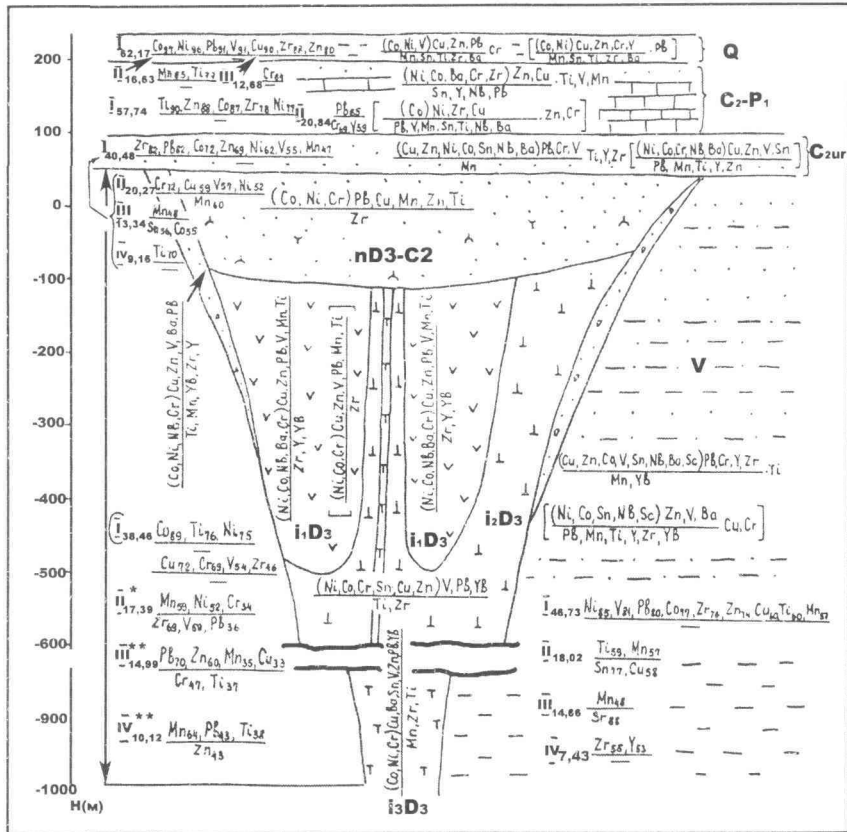


Рис. 66. Модель кимберлитовой трубки взрыва в геохимических формулах и факторах (по материалам С. П. Главатских)

nD₃-C₂ — туфоогенно-осадочные отложения; i₁D₃ — ксенотуфобрекчия кимберлитов; i₂D₃ — автолитовые брекчии кимберлитов; i₃D₃ — порфириновые кимберлиты

а) $\frac{(Ni, Co) Cu, Zn, V}{Zr}$ — геохимические формулы: а) продуктивных кимберлитовых тел; б) рудных кимберлитовых тел

б) $\frac{(Ni, Co) Cu, Zn, V}{Zr}$

I_{62,17} Mn₄₉ — геохимические факторы: а) общий; б) обусловленный сапонитизацией;

Sr₅₈ в) обусловленные гидротермальной переработкой пород

а) I; б) II*; г) III**

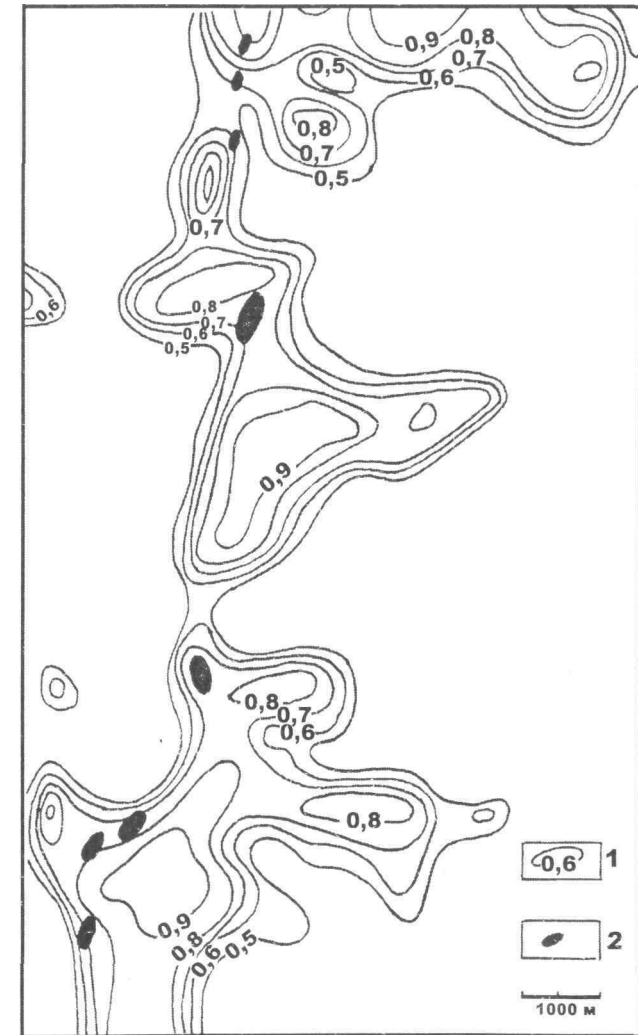


Рис. 67. Характер распределения корреляции между Mn и Zn в коре деревьев Золотницкой группы тел (Главатских, 1992)

1 — изолинии значений коэффициента корреляции;
2 — трубки взрыва

В целом можно отметить, что спектры вмещающих и перекрывающих пород носят сложный характер как по латерали, так и по разрезу. Отмечаются «сквозные» элементы, подчеркивающие магматогенные (Co, Ni, Cr, Zn, Ba и др.) и ксеногенные (Ti, V, Si, Sn и др.) факторы специализации. Довольно велико при этом влияние вторичных процессов.

Анализируя данные геохимических исследований, следует отметить, что все ореолы (литохимические потоки, гидрохимические, биогеохимические, вторичные и первичные ореолы) относятся к разряду слабоконтрастных. Их размеры редко превышают 3 диаметра трубки взрыва, что затрудняет проведение площадных поисков.

Исходя из гидрогеологической ситуации территории, можно сделать ряд предположений: 1) узлы и зоны тектонических дислокаций сопровождаются подъемом вод венда, снижение минерализации которых должно происходить в зоне контакта последних с пресными водами карбона и палеозоя; 2) узлы и зоны разломов должны сопровождаться геохимическими аномалиями, что находит свое подтверждение на практике (рис. 67), причем более вероятны слабоконтрастные аномалии.

Наличие ореолов минерализованных вод вблизи магматических тел подтверждается материалами электрокаротажа скважин и ЗСБЗ (Родионов и др., 1987). Т. о., несомненно наличие процесса выноса элементов из трубок взрыва, в то же время отличить по геохимической специализации эти воды от протерозойских на данном уровне исследований довольно сложно. Кроме того, на настоящий момент не существует данных о геохимической специализации разломов, хотя по результатам геохимических съемок она намечается. Наличие мощных аллохтонных четвертичных отложений усугубляет эту картину, являясь причиной ложных аномалий. Следует отметить также, что большинство геохимических критериев разработано в основном в результате анализа данных по трубке им. М. В. Ломоносова и практически не проверялось на «пустых» участках. Исходя из вышеизложенного, геохимические критерии являются недостаточно отработанными и надежными и могут использоваться только в комплексе с геофизическими данными.

4.1.4. Геоморфологические предпосылки и признаки

Сущность геоморфологических предпосылок и признаков заключается в использовании характера современных и погребенных форм рельефа для прогноза и поисков трубок взрыва.

Коренные источники алмазов, по В. М. Крейтеру (1969), относятся к месторождениям, формирующимся вне связи с рельефом. Генетические формы рельефа, имеющие поисковое значение, подразделяются на денудационные, тектонические и неотектонические.

Район исследований характеризуется широким развитием аллохтонных отложений, нивелирующих формы рельефа коренных пород. Связь же трубок взрыва с особенностями гидросети нами отнесена к тектоническим признакам и более подробно рассмотрена в соответствующем разделе.

Следует отметить, что связь коренных источников алмазов с современным дневным рельефом для Зимнебережного района отмечалась только в единичных работах и наиболее подробно рассмотрена И. Б. Антоновой на основе дешифрирования аэрофотоснимков (Антонова, 1986).

Из девяти выделяемых ею признаков нахождения трубок взрыва четыре можно отнести к геоморфологическим (в т. ч. и геоботанические), а остальные — к структурно-тектоническим. Это следующие признаки: 1) гипсометрический — выражается в понижении местности по контуру кольцевой фигуры, поверхности же внутри и вне ее остаются примерно одновысотными; 2) гидрографические: а) реки и ручьи, как правило, обтекают контур тела, создавая характерный рисунок фотоизображения; б) замкнутые и разомкнутые кольцевые контуры на территории болот подчеркиваются определенными типами или ассоциациями болотных растений; 3) геоботанический — связан с закономерным распределением лесного покрова, который часто подчеркивает контуры трубчатого тела. Наблюдается либо сгущение лесной растительности с внешней стороны по периметру тела, либо разреженность леса внутри его контуров. Возможно полное отсутствие лесного покрова в пределах неширокой полосы по периметру кольцевой структуры.

Сопоставление выделенных автором (Антонова, 1986) фотоаномалий с результатами заверочного бурения показало отсутствие связи с трубками взрыва.

4.1.5. «Геометрические» признаки

В последнее время все чаще делаются попытки в качестве поисковых признаков применять анализ метрических связей между объектами и структурами кимберлитовых полей. При этом анализ проводится с чисто формальных геометрических позиций. Подобный подход продиктован принципиальной концепцией, суть которой состоит в следующем. Геофизические и геологические параметры, с помощью которых прогнозируются кимберлитовые объекты, не отражают обстановки, которая была на момент их образования. Неотектонические, денудационные и другие причины деформировали материнское поле, поэтому геолого-геофизические критерии, по мнению некоторых авторов (Винник, 1992), не могут служить основой для локализации новых объектов. В основе этих построений лежит свойство упорядоченного деления земной коры.

Вывод об упорядоченном делении земной коры неоднократно отмечался (в том числе и авторами данной работы) в многочисленных опубликованных и фондовых материалах. Практически все геологические структуры построены, как правило, иерархически. Всем иерархическим уровням свойственна определенная повторяемость. Процессы повторяются как в пространстве, так и во времени.

С целью реализации данного подхода авторами использовалась подобная методика, заключающаяся в анализе спектра парных расстояний трубок взрыва и расчете «поля» повышенной вероятности обнаружения поисковых объектов (глава 3).

Проведенный нами анализ показал, что в данной ситуации одна из сторон многофакторного процесса образования кимберлитовых тел нашла свое отражение в геометрии систем разломов, в первую очередь подчиняясь гармонической компоненте их размещения. В то же время объяснять все закономерности размещения explosивного магматизма геометрией разломов — заведомо упрощать сложившуюся геологическую ситуацию.

Проверка ряда перспективных площадей, выделенных по методу «геометрического прогноза» (в частности уч. Западный), показало отсутствие на их территории трубок взрыва. На наш взгляд, необходима серьезная доработка метода. Являясь отражением геометрии разломов, выявленные метрические связи несут в себе как высокочастотную, так и низкочастотную составляющую (рис. 40).

Это связано в первую очередь с суммирующим эффектом спектра парных расстояний, обусловленным как геометрией нескольких систем разломов разных иерархических уровней, так и наличием нескольких уровней контроля кимберлитовых тел.

На наш взгляд, методология «геометрического прогноза» должна выглядеть следующим образом: а) изучение метрических связей между кимберлитовыми полями, с решением вопросов, что такое кимберлитовое поле и каковы его границы; б) изучение метрических связей между трубками взрыва внутри каждого поля и выделение на их основе перспективных участков только в границах выделенных полей. Такая методика, естественно, требует достаточного числа эталонов. Поэтому «геометрические» критерии можно применять только в комплексе с другими факторами.

4.1.6. Структурно-тектонические критерии и предпосылки

Тектонические предпосылки заключаются в использовании типов тектонических структур земной коры для прогноза и поисков полезных ископаемых. В основу прогноза принимается тектоническое положение изучаемого объекта по отношению к структурам земной коры. Характер этих структур, размеры, а также история их формирования во многом определяют размещение полезных ископаемых, а следовательно, и обоснование направления поисков месторождений.

Как уже указывалось ранее, существующие критерии в соответствии с их масштабом можно разделить на региональные, среднемасштабные, локальные и узколокальные. В первом случае выделяются провинции и субпровинции и, частично, пояса, во втором — районы или поля, в третьем — узлы и в последнем — непосредственно диатремы. Региональные факторы обычно считаются легко выявляемыми при геологическом картировании, локальные — более трудно выявляемые, так как требуют применения бурения, горных выработок.

Структурно-тектонические факторы, контролирующие размещение Зимнебережного кимберлитового района и полей, а также характер их проявления в различных геолого-геофизических материалах подробно рассмотрен нами ранее (глава 3). В данном разделе в первую очередь анализировались узколокальные критерии и

предпосылки, как непосредственно отвечающие за размещение конкретных взрывчатых тел.

При этом, как правило, не удается выделить в «чистом» виде факторы, соответствующие только определенному рангу объектов (Кутинов, 1992), без влияния элементов, являющихся принадлежностью таксонов более высокого или низкого ранга. Опыт разработки среднемасштабных критериев размещения кимберлитового магматизма Зимнебережного района показал, что региональные закономерности наблюдаются и на более локальном уровне, существует и обратная связь, т. е. иерархическим уровням свойственна определенная повторяемость. Поэтому нами использовались данные и по более крупным таксонам, с учетом их масштабов и связей.

Нами анализировалась вся совокупность трубок взрыва, без более дробного деления на классы по их вещественному составу. Это связано с двумя обстоятельствами: 1 — подобное деление резко уменьшает размеры выборки, что зачастую приводит к некорректным выводам; 2 — еще В. А. Милашев в одной из работ (1984 б) убедительно показал, что, несмотря на различия вещественного состава, трубки взрыва характеризуются сходными условиями залегания, тектонического контроля локализации, формы, размеров, контактовых воздействий. Т. е. при наличии некоторых специфических особенностей у диатрем, сложенных различными по составу горными породами, трубки не имеют принципиальных различий в структурном положении и внутреннем строении, что свидетельствует о сходстве их генезиса.

В первую очередь анализировалась связь трубок взрыва с составом фундамента, глубиной его залегания и внутренним строением. Основой послужили три среднемасштабные тектонические карты, составленные разными авторами. Выбор последних (карт) базировался на том обстоятельстве, что при их создании авторы пользовались абсолютно разными концепциями, что увеличивает достоверность анализа. Мы отдаем себе отчет в опосредованном характере такой связи. Но учитывая наличие многочисленных предположений о существовании таковой, необходима проверка их значимости для получения достоверного ответа.

Были получены следующие результаты: 1 — связи трубок взрыва с вещественным составом верхней части фундамента не наблюдается; 2—35% тел не связано с выступами фундамента. Получен-

ный процент достаточно высок, тем не менее этот критерий можно использовать в качестве вспомогательного. Эта пространственная связь, несомненно, отражает историю развития разломно-блоковых структур региона и указывает на влияние этих структур на размещение кимберлитов в процессе эволюционного развития территории. В то же время этот фактор трудно причислить к локальным и узлокальным, учитывая площадные размеры выступов фундамента; 3 — глубина залегания кровли кристаллических пород (по геофизическим данным) на участках развития трубок взрыва варьирует от 680 до 3200 м, ничем не отличаясь от общих значений для всего региона.

Большинство исследователей склоняется к мнению, что главные факторы, определяющие положение полей, узлов и трубок взрыва в пространстве, — разрывные нарушения, которые в специфических платформенных условиях не всегда (или достаточно редко) имеют какой-либо отчетливый признак. Таким образом, необходимо не только определение конкретных кимберлитоконтролирующих структур, но и выделение достаточно надежных признаков этих структур в геолого-геофизических материалах.

Как указывалось ранее (глава 3), большинство работ, проведенных в последнее время, было нацелено как на поиски диатрем, так и на выделение связей платформенного магматизма с тектоническими структурами фундамента, в основном контрастными. При этом почти не изучалось тектоническое строение плитного комплекса, т. е. отложения осадочного чехла слабо магнитны и слабо дифференцированы в плотностном отношении (рис. 10) и основная магнитоактивная и геоплотностная границы приурочены к кровле кристаллических пород.

Практика составления прогнозных карт по Якутской провинции показала, в частности, что связь проявлений щелочно-ультраосновного магматизма со структурами фундамента действительно имеет место, но далеко неоднозначна и не всегда достаточна для объяснения причин наблюдаемого размещения тел (Милашев, 1979, 1984 а, б, 1990). Учитывая то обстоятельство, что фундамент региона перекрыт достаточно мощным осадочным чехлом (0,5—4,0 км), а изучение только строения нижнего структурного этажа не дает полной информации о закономерностях локализации кимберлитового магматизма, необходимы комплексные исследования как фундамента, так и осадочного чехла. Особое значение здесь приоб-

ретают сквозные разломы, отражающиеся на всех структурных этажах. Кроме того, в потенциальных полях слабо отражаются или не отражаются вовсе малоамплитудные дислокации и зоны дробления.

Анализ имеющихся материалов позволяет сделать вывод, что подавляющее большинство взрывных тел приурочено к участкам пересечения или сочленения разрывных нарушений (узлов). При этом в образовании полей напряжений вокруг диатрем участвуют дизъюнктивы нескольких систем (от 2 до 5). В свое время в Якутской провинции было установлено, что трубки взрыва вытянуты по направлениям, совпадающим с простиранием главных систем тектонической трещиноватости. Тяготея во многих случаях к одной зоне повышенной проницаемости земной коры, длинные оси большинства тел ориентированы согласно с общим простиранием такой зоны и нередко еще с несколькими направлениями (Милашев, 1979). Сходные выводы получены по Зимнебережному кимберлитовому району (Кутинов, 1992). Таким образом, критерий «узлов» авторам кажется достаточно надежным.

К такому же выводу пришли исследователи, анализировавшие материалы по кимберлитовым полям Западной Якутии, предлагая выделять в качестве промежуточного поискового объекта узлы пересечения тектонических зон при наличии тяготеющих к ним шлихоминералогических ореолов (Цыганов и др., 1988 б). Эти выводы подтверждаются результатами атмосферной съемки (Клименко и др., 1986), изучения околотрубочного пространства (Коморова и др., 1987; Никитин, 1980). Таким образом, сопоставление материалов с данными по Якутской алмазонасной провинции говорит, что мы имеем дело с общей закономерностью размещения трубок, а не с локальным фактором, присущим только телам Зимнебережного района. Размер узлов оценивается в 2—3 км в поперечнике и сопоставим с размерами ПГУ. Поднятие магмы под напором в виде столба по каналу, определяемому пересечением крутопадающих разрывов, приводит к образованию в вышележащей толще концентрических и радиальных разломов. Наложение «докимберлитовых» и собственно «кимберлитовых» тектонических элементов создает сложную, во многом индивидуальную, ситуацию для каждого из отдельно взятых разноуровневых таксонов кимберлитового магматизма. Частично это подтверждается наличием слож-

ного характера распределения проводимости пород в околотрубочном пространстве (Родионов и др., 1987).

Узлы пересечения разрывных нарушений — это только внешние признаки тех тектонических структур, индикаторами которых они являются. Узлы представляют собой сложнопостроенные как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях объемные тела, простирающиеся на большие глубины (Волчанская, Сапожникова, 1991; Тектоно-магматические факторы..., 1988). Площадь таких узлов определяется шириной пересекающихся сквозных зон разломов, и они представляют собой участки повышенной раздробленности и проницаемости земной коры (участки повышенной тектонической трещиноватости в осадочном чехле) и связанные с ними гидро- и геохимические аномалии. С увеличением числа пересекающихся зон (как выраженных в верхних частях земной коры, так и скрытых) степень раздробленности, проницаемости и, вероятно, глубинности тектонического узла возрастает. Поэтому множественность пересечений и аномальность разломов, их образующих, является одним из индикаторов глубинности и перспективности узла.

Таким образом, в качестве промежуточного объекта при локальном прогнозировании (сопоставимого по размерам с ПГУ) можно рассматривать узлы пересечения и сочленения разломов как участков, благоприятных для возникновения вертикальной проницаемой структуры как в теле фундамента, так и верхнего структурного этажа.

Нами была проведена оценка связи трубок взрыва с узлами пересечения и сочленения разрывных нарушений. Для этой цели было подсчитано количество взрывных тел, приуроченных к узлам пересечения 2, 3, 4, 5, 6 и более тектонических зон в одной точке; определены площади, занимаемые пересечениями; оценена перспективность узлов в зависимости от количества пересечений. Результаты отражены на рис. 68. При этом получены следующие выводы: а) наиболее перспективными являются узлы с количеством пересечений 3 и более; б) трубки взрыва алмазонасных кимберлитов приурочены к пересечению как минимум 4 разрывных нарушений; в) общая площадь аналогичных узлов на территории Зимнебережья составляет всего 4,5% (узлы, включающие 5 и более пересечений, занимают только 1,5% площади).

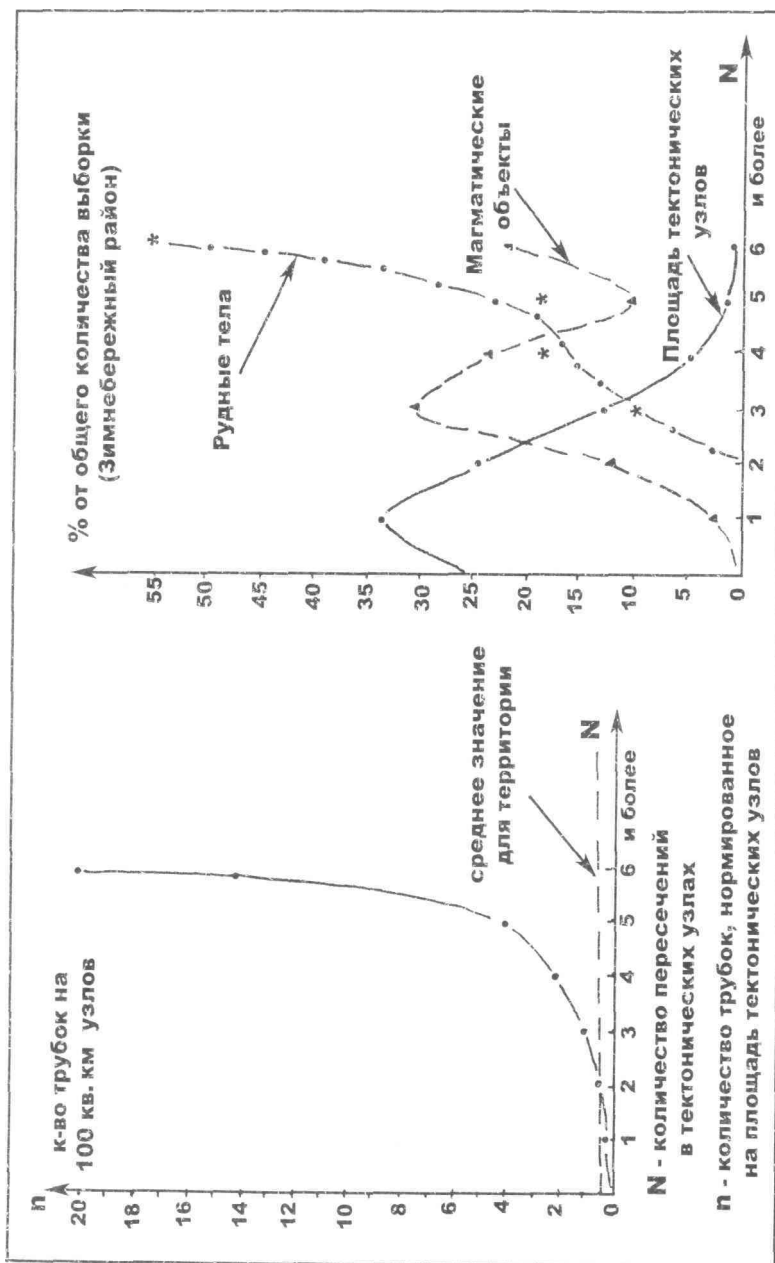


Рис. 68. Распределение трубок взрыва в тектонических узлах

Анализ имеющихся в распоряжении авторов материалов позволяет сделать вывод, что физической формой тектонических структур осадочного чехла являются зоны повышенной трещиноватости, подверженные инфильтрационным процессам минерализованных вод из глубоких горизонтов вендских отложений (Кутинов, 1991 а). Проведенные исследования средних длин осей зон ДИПа, спрямленных участков гидросети и геологических границ показали, что они имеют примерно одинаковые значения, в отличие от подобных построений по потенциальным полям, что говорит о возможной природе тектонических структур чехла как зон трещиноватости.

Работами в Золотицком рудном поле выявлено наличие малоамплитудных дислокаций (рис. 69) в осадочном чехле с вертикальным смещением слоев первые метры и подъемом уровня минерализованных вод (Кутинов, 1991 а), что подтверждается результатами МОВ (Губайдуллин, Пестриков, 1991). Таким образом, дислокации осадочного чехла автором интерпретируются как зоны малоамплитудных разрывов в осадочном чехле, наследующие ослабленные зоны более древнего заложения в фундаменте и являющиеся приразломными формами.

Зоны трещиноватости скорее всего имеют сложное ступенчатое строение в разрезе, связанное с различными физико-механическими свойствами пород и, как правило, с одновременным разрыванием слоев и разным типом деформаций (Кутинов, 1991 а) (от хрупких до пластичных), что осложняет их прослеживание по данным бурения.

Эти структуры осадочного чехла пространственно совпадают с глубинными разломами фундамента, ограничивающими крупные блоки, зонами повышенной минерализации вендских напорных вод, геохимическими аномалиями и одновременно с участками повышенной плотности и изотропности гидросети. Все это указывает на наличие мощных зон трещиноватости над крупными дислокациями фундамента, пронизывающих породы осадочного чехла, и имеет поисковое значение. Осложнение зон повышенной электропроводимости рядом аномалий различного простирания позволяет охарактеризовать их как объемную совокупность различно ориентированных трещин, обладающих в отдельных частях ее неодинаковым масштабом и интенсивностью развития.

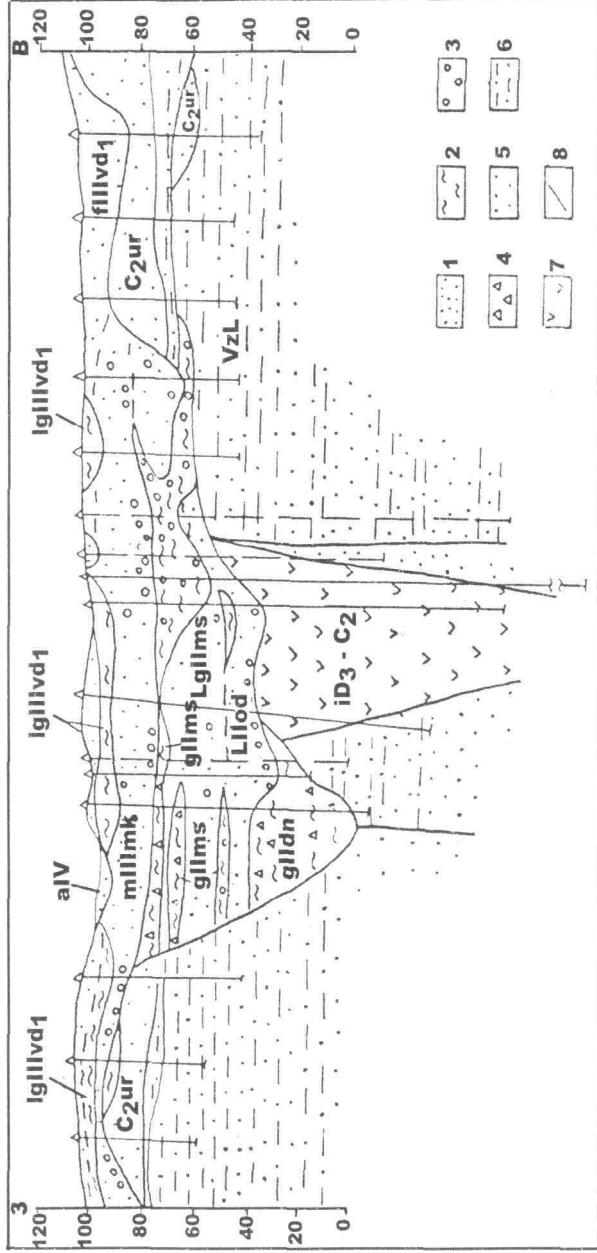


Рис. 69. Геологический разрез через трубку взрыва

aIV — современное злено; аллювиальные отложения; Нижневаладайский горизонт: Iglllvd₁ — ледниково-озерные отложения; filllvd₁ — флювиогляциальные отложения; millmk — микулинский горизонт, морские отложения; московский горизонт: glilms — ледниковые отложения; Lgllms — озерно-ледниковые отложения; Lllod — одинцовский горизонт, озерные отложения; glldn — дисперсный горизонт, ледниковые отложения; C₂ur — средний карбон, уругская свита; VzL — венд, падунская свита, золотичные слои; iD₃-C₂ — трубка взрыва
1 — песок; 2 — суглинок; 3 — галечник; 4 — щебень; 5 — песчаник; 6 — алевролит; 7 — кимберлит; 8 — тектонические нарушения

4.1. Анализ поисковых предпосылок и признаков труб

До последнего времени роль магниторазведки в выделении тектонических дислокаций осадочного чехла была крайне незначительна. Последний рассматривался как слабо дифференцированное в петромагнитном отношении горизонтально слоистое образование. Петрофизические исследования позволили иначе взглянуть на эту проблему (Кутинов, Чистова, 2002; данные НГФЭ, НПО «Рудгеофизика»). Изучение количественной связи открытой пористости (p_0) образцов и других физических параметров позволило сделать ряд выводов. При этом параметр p рассматривался как показатель интенсивности дезинтеграции и выветривания пород, связанных с характером тектонических дислокаций осадочного чехла района. В отличие от других физических характеристик (ρ , σ , V_p), изменение магнитных свойств и открытой пористости связаны друг с другом лишь косвенно. Пористость лишь изменяет проницаемость пород, создает благоприятные условия для изменения первичных и образования новых минералов. Преобразования состава и свойств минералов связаны с циркуляцией растворов и зависят от широкого комплекса факторов, в том числе от наличия в составе породы первичных магнитных минералов, от изменения рН и Eh среды и омывающих ее растворов и т. д. Поэтому связь магнитных свойств с p_0 при выветривании может иметь разнообразный характер.

На диаграмме $\chi - p_0$ (рис. 70) фигуративные точки образуют две области. В первой они располагаются у оси абсцисс. Здесь при изменении p_0 от 0 до 47% χ варьирует в пределах $+1,1 \times 10^{-5}$ ед. СИ. В эту область входят фигуративные точки чистых карбонатных пород перми и карбона, а также доломитизированные известняки с примесью терригенного материала. В ней наблюдается очень слабая зависимость магнитной восприимчивости от p_0 . Она наблюдается по увеличению χ доломитизированных известняков с примесью терригенного материала на 1×10^{-5} ед. СИ при пористости 37 — 45% по сравнению с χ техже пород при пористости 3,5—9,5%, а также по повышению магнитной восприимчивости в группе диамагнитных карбонатных пород. Вторая область образована фигуративными точками с $\chi \geq 1,5 \times 10^{-5}$ ед. СИ. Она включает точки, относящиеся к терригенным породам, χ которых изменяется от 3×10^{-3} до 10×10^{-5} ед. СИ, и к карбонатным породам. Представленные на ней терригенные породы не отличаются по χ от измененных. Карбонатные породы относятся к измененным. Магнитная восприимчивость у них возрастает, как правило, не более чем до $(2-3) \times 10^{-5}$ ед.

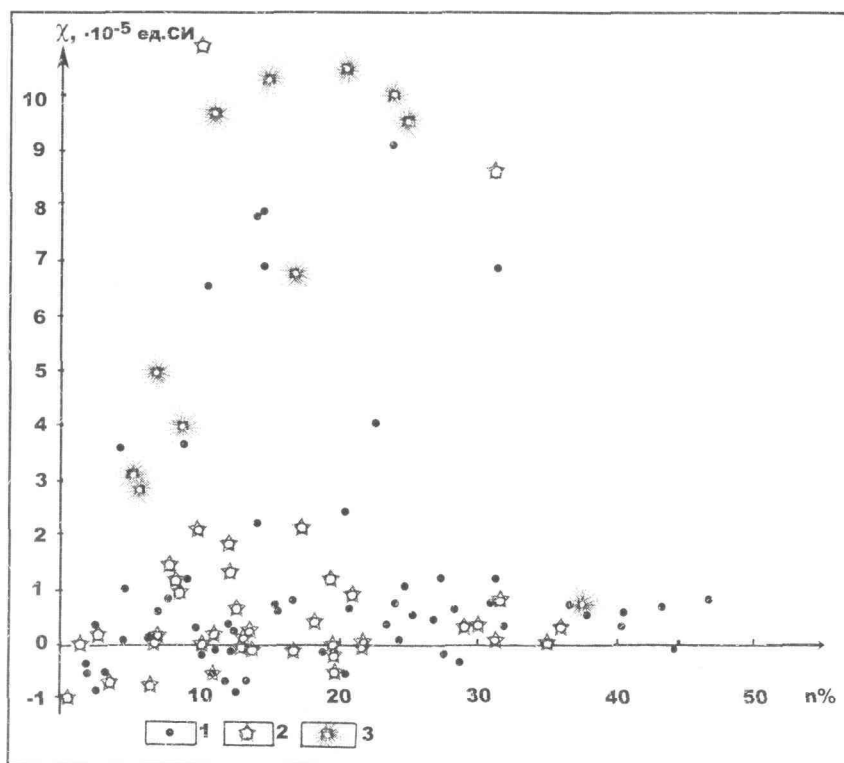


Рис. 70. Поле корреляции магнитной восприимчивости и открытой пористости пород палеозоя

1 — доломиты, доломитизированные известняки P_{2-1} ; 2 — доломитовые известняки C_{2-3} ; 3 — песчаники карбонатизированные P_1

Рис. 70. Поле корреляции магнитной восприимчивости и открытой пористости пород палеозоя

1 — доломиты, доломитизированные известняки P_{2-1} ; 2 — доломитовые известняки C_{2-3} ; 3 — песчаники карбонатизированные P_1
СИ и только у единичных образцов достигает $(3,5-11) \times 10^{-5}$ ед. СИ. Корреляционная связь между χ и n в этой области отсутствует. Отмечена пространственная связь образцов с $\chi > 3 \times 10^{-5}$ ед. СИ с участками интенсивного дробления и выветривания пород, выделенными по данным каппаметрии зерна зонами резкого повышения и высокой дисперсии магнитной восприимчивости.

Несмотря на значительные относительные изменения χ карбонатных пород, полученные данные свидетельствуют о том, что абсолютные значения магнитной восприимчивости прочно связанных пород увеличиваются за счет выветривания не более чем на

$(2-3) \times 10^{-5}$ ед. СИ при изменении пористости от 0 до 47%. Только в полностью дезинтегрированных продуктах выветривания карбонатных пород («сыпучке») отмечено резкое увеличение магнитной восприимчивости (до 20×10^{-5} - 770×10^{-5} ед. СИ).

Следует отметить, что такие значения наиболее часто встречаются в высокопроницаемых средах. Например, по скважине 570 в слабосвязанных песчаниках падунской свиты венда интервал, χ^B в котором имела значение $(50-150) \times 10^{-5}$ ед. СИ, составил ~ 50 м. Известны и другие примеры в песчаниках венда, урзугской свиты карбона, где распределение ферримагнетиков особенно контрастно (рис. 71). Разрез в проницаемых зонах состоит из перемежающихся структур с очень высокими значениями пористости (вплоть до состояния доломитовой мучки) и относительно малопористыми трещиноватыми средами, способными в значительной мере противостоять развитию трещин.

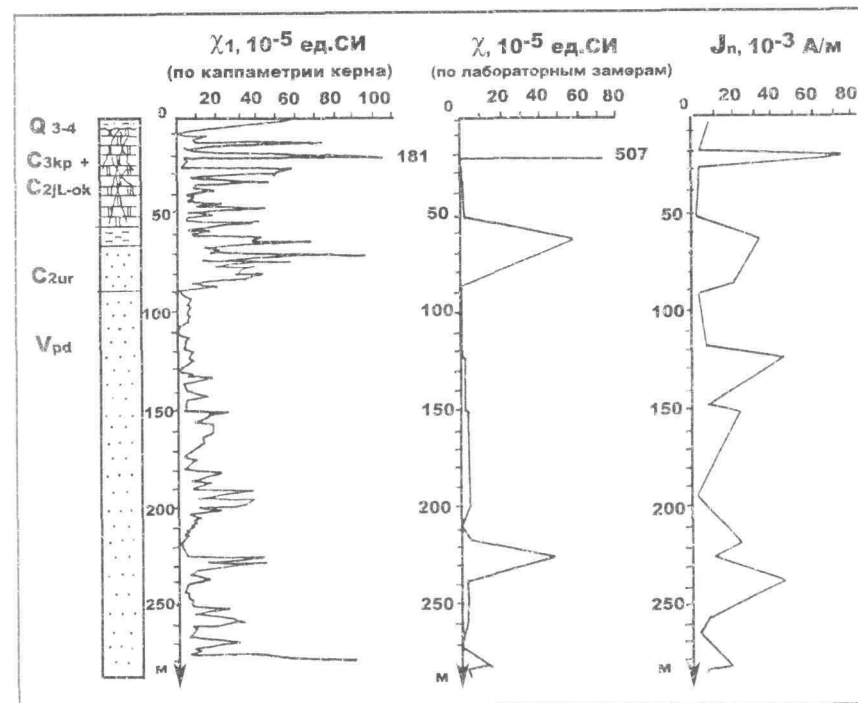


Рис. 71. Графики изменения магнитных свойств пород по скв. 930

Таким образом, общим элементом во всех случаях является проницаемая среда с большой удельной поверхностью реакции. В такой ситуации появление ферритмагнетика может являться следствием гидрохимических реакций, при которых растворенные компоненты в виде гидроокислов железа способны осаждаться на активных поверхностях. Непременным условием этого процесса является переобогащение вод кислородом воздуха. Выделенный из доломитовой «сыпучки» по скважинам 930 и 697 магнитный материал по данным минералогической лаборатории ВСЕГЕИ оказался мелкими зернами гематита, хотя по магнитным свойствам он должен быть отнесен к маггемиту.

Т. е. значения магнитной восприимчивости связаны с проницаемостью и, следовательно, степенью дезинтеграции пород осадочного чехла. Причем, несмотря на повышение в выветрелых отложениях палеозоя, в межтектонических блоках ее значений явно недостаточно для создания локальных магнитных аномалий. В то же время за счет гидрохимических реакций в зонах повышенной трещиноватости и дробления создаются условия для скопления магнитного материала. Данный процесс находит свое отражение и в геохимических полях (рис. 67). Как показали петрофизические исследования, этого вполне достаточно для возникновения ЛМА интенсивностью до 30 нТл. Таким образом, тектонические нарушения в осадочном чехле могут картироваться цепочками локальных аномалий.

Анализ закономерностей контроля разноуровневых таксонов кимберлитового магматизма позволяет авторам в качестве общей и единой модели контроля кимберлитового магматизма (район, поле, куст, трубка) считать вертикально-проницаемую структуру, образованную пересечением разнорежимных тектонических нарушений разных порядков и выявляемую в геофизических полях.

Потенциальные поля, характерные для разрывных нарушений, достаточно разнообразны. С помощью грави-магнитных съемок на исследуемой территории могут быть уверенно выявлены и прослежены дизъюнктивные нарушения самого различного порядка — от одиночных трещин длиной в первые километры до региональных и глубинных разломов, протягивающихся на сотни и тысячи километров. Физико-геологические особенности разломов весьма разнообразны, в соответствии с этим разнообразны и характерные признаки, по которым они выделяются.

Тектонические нарушения отмечаются на картах потенциальных полей:

1. Линейными положительными аномалиями различной протяженности и амплитуды. Аномалии в этих случаях обусловлены выполнением разрыва минеральными скоплениями магматического и гидротермального происхождения. Так, линейными аномалиями напряженностью до 1000—2000 нТл отмечаются обычные нарушения, с которыми пространственно связаны интрузии среднего и основного состава. Несколько меньшими по амплитуде отмечаются минерализованные зоны дробления

Напряженность линейно-вытянутых аномалий магнитного поля, приуроченных к тектоническим нарушениям, весьма изменчива по простиранию. Это связано с неравномерной обогащенностью зон магнитным материалом, что в свою очередь обусловлено различной степенью деятельности гидротермальных растворов либо локализацией магматических проявлений на отдельных, наиболее ослабленных участках зоны разлома. Нередки случаи, когда разрывы сопровождаются лишь цепочкой изометричных либо несколькими вытянутыми вдоль разлома повышениями значений магнитного поля и поля силы тяжести, которым соответствуют цепочки изолированных интрузивных тел, либо участки гидротермальных проявлений. Это особенно характерно для так называемых секущих, поперечных нарушений, расположенных под углом к преобладающему простиранию геологических образований. Участки магматических и гидротермальных проявлений и соответственно грави- и магнитных аномалий в такого рода поперечных разломах обычно приурочены к местам пересечения последних с нарушениями других направлений;

2. Другим признаком, по которому выделяются разломы, являются линейно-вытянутые зоны относительно пониженного грави-магнитного поля. Понижение магнитного поля в зоне разлома может быть вызвано несколькими причинами. В результате дробления и истирания значительно уменьшается остаточное намагничивание исходных пород. Процессы низкотемпературного гидротермального метаморфизма пород в зоне нарушений (окварцевание, серицитизация, карбонатизация) приводят к уменьшению магнитной восприимчивости и к исчезновению остаточного намагничивания, имевшегося в исходных породах. При окислении пород, выполняющих разлом, магнитные минералы могут переходить

в немагнитные окислы. Магматические породы, приуроченные к разлому, могут обладать меньшими значениями и J_n , чем вмещающие породы. Причиной отрицательных аномалий магнитного поля над разломом может быть также обратное намагничение внедрившихся по нему магматических пород.

Необходимо отметить, что линейно-вытянутые понижения магнитных полей обычно лучше видны на картах изолиний, чем на картах графиков. В случае варьирующего магнитного поля над вмещающими породами уже при небольшой интенсивности аномалий (100—200 нТл) на картах графиков они прослеживаются плохо из-за пересечения графиков, относящихся к разным маршрутам (особенно, если направление профилей съемки близко к простиранию нарушений).

Понижение значений поля силы тяжести обычно связано с повышенной раздробленностью пород и, как следствие, их разуплотнением, а также с серпентинизацией пород;

3. Разрывные нарушения, не создающие непосредственно аномальных повышений или понижений в потенциальных полях, могут быть закартированы в случае, когда по разлому происходит относительное смещение пород с аномальными физическими параметрами. Пространственное перемещение пород может быть отмечено по ряду признаков;

Протяженная прямолинейная граница областей с различными по характеру грави-магнитными полями обычно соответствует тектоническому контакту горных пород, обладающих различной намагниченностью и плотностью. Нарушения такого типа часто бывают сбросами большой амплитуды. Наиболее часто они выделяются в геофизических материалах, когда в результате подвижки приведены в соприкосновение породы с разными физическими свойствами. Форма графиков над контактами зависит от ряда факторов: от угла падения контактной поверхности, от соотношения простирания линии сброса и линии маршрута и от положения более намагниченных и (или) более плотных образований по отношению к менее намагниченному и (или) менее плотному.

По тем же признакам выделяются в потенциальных полях скрытые нарушения в глубоких частях земной коры, не проявляющиеся на дневной поверхности;

4. Признаком разрывного нарушения типа сброса может служить скачкообразное изменение глубины залегания верхней кром-

ки возмущающего тела, относящегося к одному структурному этажу, что может быть получено в результате вычислений, а также качественно, по резкому уменьшению интенсивности аномалий и расширению их над частью тела. Наиболее благоприятным является случай круто падающих магматических тел, пересекаемых разломом вкрест простирания. В геофизических полях нарушениям сбросового типа соответствуют градиентные зоны, цепочки локальных аномалий, резкая смена характера поля;

5. Разрывные смещения типа сдвига при достаточной амплитуде перемещения фиксируются в потенциальных полях, когда плоскость сместителя пересекает тело под углом, близким к прямому. Наиболее четко перемещения сдвигового характера картируются, когда участвующие в движении породы имеют форму крутопадающих пластообразных тел (трещинные интрузии и т. п.). Наблюдающиеся при этом нарушения непрерывности тел выражаются в грави- и магнитных полях смещением аномалий. Амплитуда сдвига определяется по перемещению аномалий с учетом угла падения объектов. При наклонном падении возмущающего тела смещение оси аномалии может соответствовать не только разлому типа сдвига, но и сбросу (взбросу или сбросо-сдвигу). В геофизических полях смещениям сдвигового типа соответствуют смещения и зоны интерференции осей, пережимы и раздувы аномалий, затяжки и крутые повороты изолиний.

Таким образом, в результате анализа геофизических данных в регионе реально выделить практически все тектонические нарушения фундамента и дать им достаточно четкую классификацию.

Предлагаемая авторами методика прогноза включает: первый этап — выделение узлов пересечения разнорежимных тектонических нарушений, совпадающих с региональными участками повышенной дисперсии потенциальных полей; второй этап — выделение в их пределах узлов пересечений более высокого ранга, совпадающих с локальными участками повышенной дисперсии потенциальных полей; третий этап — разбраковка выделенных Участков с учетом дополнительных признаков, таких, как наличие минералов-спутников алмаза (пиропы, диопсиды и т. п.), наличие геохимических кимберлитовых элементов (титан, ванадий, никель, кобальт), наличие локальных магнитных аномалий. Данная методика является единой для всех уровней контроля кимберлитового Магматизма: исследуя субпровинцию, на первом этапе выделяем

районы, на втором и третьем — поля; исследуя район, на первом этапе выделяем поля, на втором и третьем — кусты и трубки.

Являясь поисковыми участками, благоприятными для внедрения трубок взрыва, тектонические узлы, представляя собой вертикальную колонну аномальных петрофизических характеристик во вмещающих осадочных породах, в ряде случаев сами являются одним из источников нескольких классов аномалий-помех (рис. 28): это линейные эрозионно-тектонические структуры, достаточно широко развитые на территории региона, и узлы пересечения разломов. Так, по распространению отложений венда с аномальными значениями J_n и Q выделены (НПО «Рудгеофизика») площадная зона выветривания, охватывающая отложения падунской свиты венда на полную мощность (~200 м); линейная зона выветривания по зоне разлома (скв. 200).

Из-за редкой сети бурения по вмещающим породам характер их неоднородности по J_n и Q в головной части линейной зоны выветривания детально не был изучен. Однако приуроченность наиболее интенсивных значений этих параметров к отложениям падунской свиты, обладающим высокой пористостью ($n \sim 20\text{—}25\%$), и к зоне разлома свидетельствуют о несомненной связи этого процесса с повышенной проницаемостью пород. В зоне разлома, где интенсивность выветривания вследствие большой глубины (400—450 м), по всей вероятности, существенно ослаблена по сравнению с таковой в головной части зоны, J_n повышается до $(6\text{—}28,6) \times 10^{13}$ А/м на фоне $(0,5\text{—}4) \times 10^{13}$ А/м за пределами зоны.

Рассмотренные фактические данные позволяют сделать вывод о том, что в зонах разломов и особенно в узлах сопряжения разнонаправленных зон вследствие выветривания возможно увеличение J_n отложений падунской и мезенской свит венда до $(30\text{—}900) \times 10^{13}$ А/м. Такие участки зон могут являться причиной локальных повышений магнитного поля до 10—30 нТл, по интенсивности и морфологии соответствующим таковым для аномалий «трубчатого» типа. Они, как и кимберлитовые тела, будут сопровождаться аномалиями повышенной электрической проводимости благодаря увеличению их пористости.

Аналогичный аномальный эффект сопровождает зоны разломов и в карбонатных породах палеозоя, где за счет полной дезинтеграции пород отмечается резкое увеличение магнитной восприимчивости (до $(20\text{—}770) \times 10^{-5}$ ед. СИ).

4.2. Геофизические предпосылки и признаки трубок взрыва как объектов поисков и разведки

4.2.1. Основные геофизические признаки

Под геофизическими предпосылками и признаками нами понимается отражение основных геологических признаков, обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого геофизического эффекта. При этом необходимо учитывать практическую реализуемость и экономическую целесообразность, то есть реализация должна отвечать современным возможностям методов разведочной геофизики, а ее сложность — эффективному решению поставленной задачи при минимальных затратах средств. Вместе с тем полученное решение должно содержать информацию, определяющую необходимость и пути дальнейшего совершенствования геофизических методов и разработки новых.

Учитывая, что на исследуемой территории основными поисковыми методами являются геофизические, а из них практически единственным — высокоточная магниторазведка, то проблема геофизических критериев подлежит детальному рассмотрению. Методика выделения аномалий, обработки и интерпретации материалов, способы заверки, как аэромагнитных, так и наземных ЛМА, подробно рассмотрены в предыдущих главах и разделах. В данном разделе хотелось бы более подробно остановиться на применяемых критериях разбраковки. При этом их необходимо разделить на два класса: а) эмпирические, выделенные на известных объектах и дающие, как показывает статистика, в последнее время все нарастающее количество отказов; б) гипотетические для, возможно, пропущенных тел. Наличие таких тел и варианты характера геофизических данных рассмотрены ранее.

При выделении ПГУ использовался ряд критериев, среди которых основными являлись локальность, изометричность и интенсивность аномалий (Александров, Губайдуллин, 1987). В последнее время единственными ограничениями остались степень изометричности (не более 1:3—1:4) и размеры аномалий (более 100 м в поперечнике). Авторами уже показана принципиальная возможность наличия более мелких тел.

Предпочтение отдавалось изолированным одиночным аномалиям, приуроченным к участкам спокойного магнитного поля или

региональным аномалиям, для которых менее вероятна их связь с четвертичными отложениями.

Рассматривая тезис об участках спокойного магнитного поля, следует отметить следующее: а) без определения числовой меры этот фактор носит субъективный характер; б) при его применении как минимум необходимо доказательно определить размер анализируемого участка; в) характер локальной составляющей магнитного поля (а именно: эти карты служили источником выделения аномалий) во многом зависит от параметров применяемой процедуры фильтрации и выбора фона; г) как показали геологоразведочные работы, практически все промышленно-алмазонасные трубки взрыва приурочены к бортам линейных палеодепрессий, характеризующихся повышенной мощностью четвертичных отложений (рис. 69).

В качестве критерия перспективности аномалий также указывалась субмеридиональная ориентация длинных осей аномалий. Анализ простирания длинных осей трубок взрыва (Кутинов, 1992; Кутинов, Чистова, 1996) показывает, что действительно существуют устойчивые преобладающие направления. При этом возникает предположение о разбраковке аномалий по азимутам их простирания. Не говоря уже об искажающем эффекте, который вносят трансформации поля, проведенный анализ показал, что у 34% трубок азимут простирания их длинных осей не совпадает с простиранием аномалий, их сопровождающих (как у аэромагнитных аномалий (рис. 72), так и у наземных (рис. 73)). Если исключить из подсчета изометричные по форме тела, а также те, контур которых определен только по данным магниторазведочных работ, то этот процент возрастет до 50.

В Зимнебережном районе проводились также исследования возможностей сейсморазведки для непосредственных поисков трубок взрыва (Губайдуллин, Пестриков, 1991). Продольными профилями МОВ-МОГТ были исследованы трубки им. М. В. Ломоносова, Снегурочка, Пионерская, Кольцовская. Результаты работ свидетельствуют о возможности обнаружения глубинных неоднородностей в виде трубок взрыва по ряду волновых признаков. К последним относятся нарушения прослеживаемости отражающих горизонтов, наличие оперяющих и параллельных нарушений, аномальное затухание амплитуд при обработке с сохранением отношения амплитуд и Гильберт-преобразования и другие изменения кинематических и динамических параметров волнового поля.

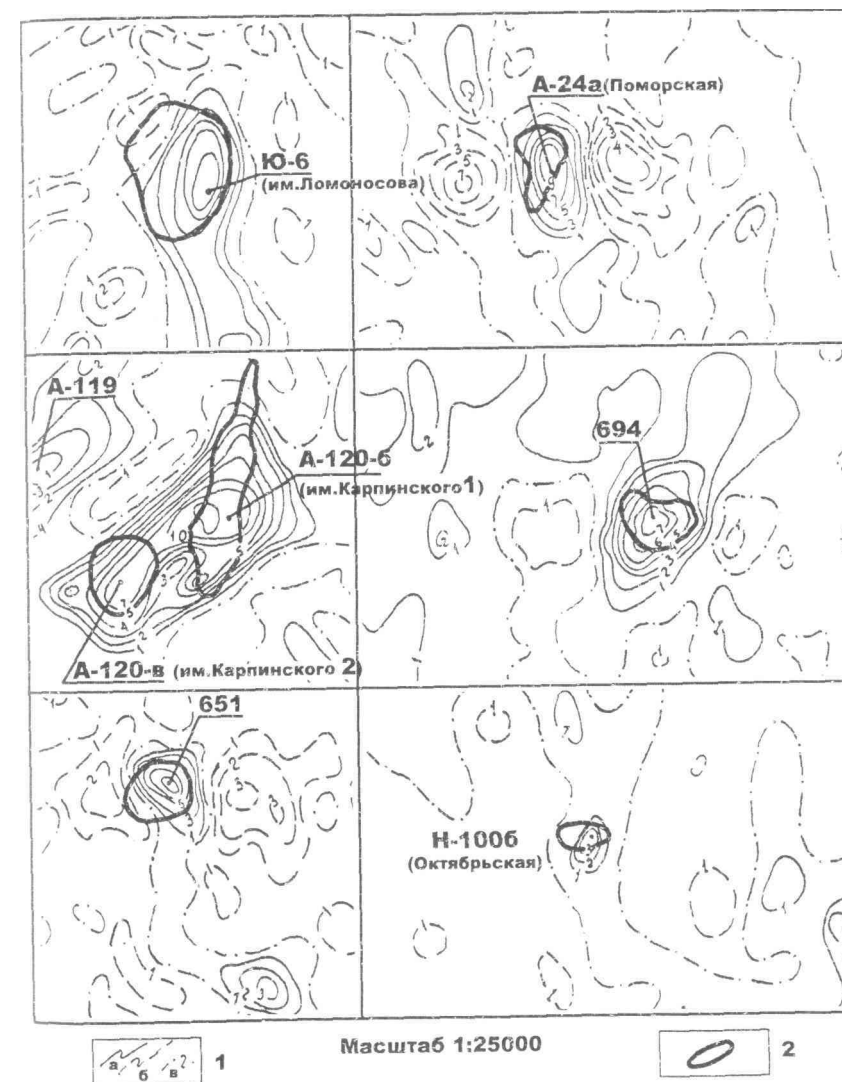


Рис. 72. Фрагменты карт локальных магнитных аномалий (АТлок)

1 — изолинии магнитного поля: а) положительные; б) отрицательные; в) нулевые;
2 — контур трубки взрыва

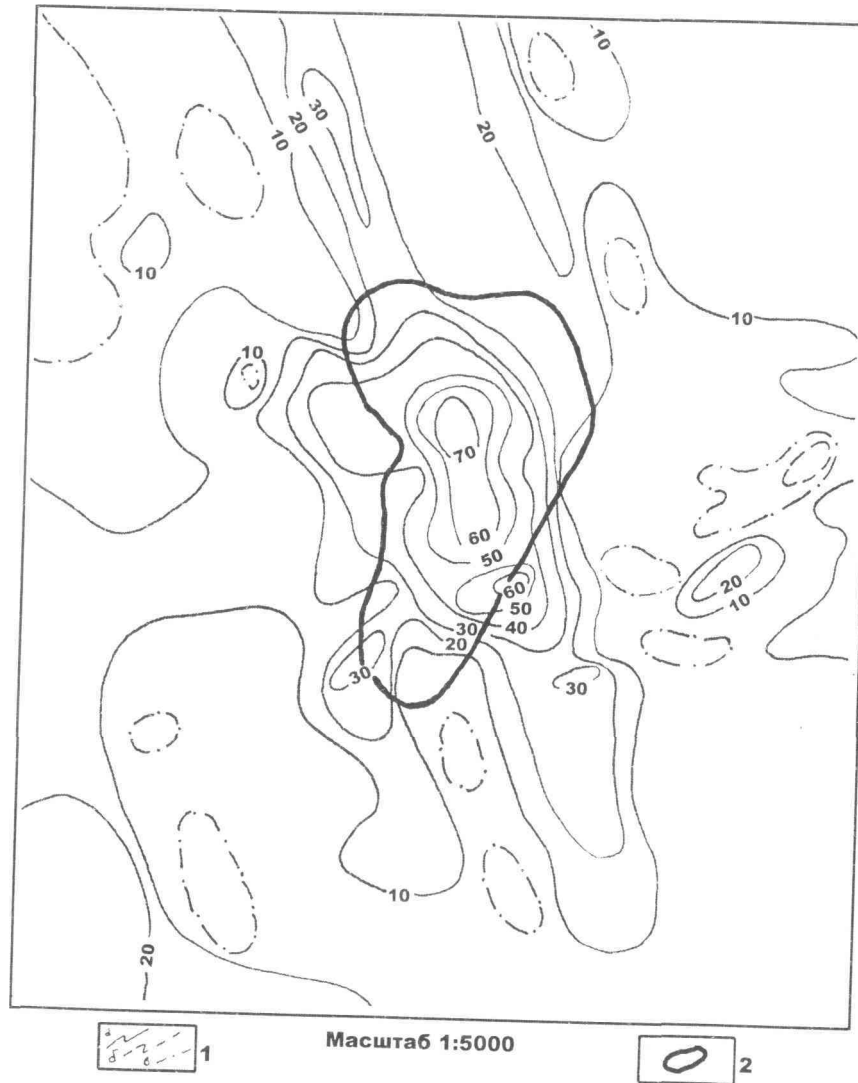


Рис. 73. План изолиний магнитного поля ($\Delta T_{лок}$). Трубка Поморская (24А)
 — изолинии магнитного поля: а) положительные; б) отрицательные; в) нулевые;
 — контур трубки взрыва

Однако следует отметить, что, по мнению тех же авторов, аномальные эффекты в волновых полях могут быть вызваны не только трубками взрыва, но и поверхностными условиями, например погребенными долинами. Кроме того, сдерживающим фактором продольного профилирования МОВ-МОГТ в качестве поискового метода является также и относительно высокая стоимость работ. На участке внедрения трубки им. М. В. Ломоносова было опробовано и непродольное профилирование КМПВ. Получены положительные результаты, в частности, появилась возможность отличать неоднородности разреза по закономерному смещению «зоны тени» с изменением положения пункта взрыва. Следует отметить, что исследования по методике непродольного профилирования так и не вышли из стадии опытно-методических работ, что крайне затрудняет оценку их эффективности.

Результаты проведенного анализа приведены в таблицах 1, 2.

Таким образом, на настоящий момент не существует устойчивых универсальных признаков трубок взрыва в геофизических материалах. Для выделения таких признаков необходим анализ не только аномалий, связанных с трубками взрыва, но и объектов-помех.

В геологической модели кимберлитового тела были выделены три основных элемента: магматическая часть первой (ксенотуфобрекчии — эндоконтактовая зона) и второй (автолитовые брекчии — центральная зона) фаз «внедрения» и перекрывающая их вулканогенно-осадочная толща (кратерные отложения — апикальная зона).

Физические свойства пород названных элементов были изучены на разных объектах с различной полнотой и детальностью. В целом подтвердился вывод (да и не мог не подтвердиться), основанный еще по результатам опытно-методических геофизических работ (данные Новодвинской ГФЭ), о том, что кимберлитовые тела обладают повышенной намагниченностью и электрической проводимостью по сравнению с вмещающими породами (рис. 14, 17). При этом была выявлена сложная картина изменения указанных характеристик в объеме тела.

По магнитным свойствам разделяются все элементы модели (Кутинов, Чистова, 2002). Повышенными значениями намагниченности с высокой дисперсией обладает апикальная и эндоконтактовые зоны с χ от $(5-10) \times 10^{-5}$ до $(100-500) \times 10^{-5}$ ед. СИ, фактором Q от 0,4 до 2 и $j = 40^\circ$. Апикальная зона обладает признаками рассло-

Анализ эффективности поисковых

Объекты	Геоморфологические						Геофизические				
	топографические элементы 1:50000			дневной рельеф			магниторазведка			среднеазиатские аномалии Δg	
	линей.	пересе- чения	кольцев.	гидросеть	полож. формы	отриц. формы	среднечас- тот. ан. ΔT	ЛМА	совпад. азимутов		
ЗИМНЕБЕРЕЖНЫЙ КОМПЛЕКС ЩЕЛОЧНО-											
I. КИМБЕРЛИТЫ											
1. Магнезиально-											
1а. Многофазные											
Им. Ломоно- сова (Ю-6)	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	
Пионерская (Н-26)	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	
Карпинского I, II (120 б, 120 в)	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	
Архангель- ская (Ц-23)	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	
1б. Однофазные											
Снегурочка (323)	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	
Поморская (24а)	+	-	+	-	-	-	+	+	-	+	

Таблица 1

предпосылок и признаков

ДИП-А		Структурно-тектонические								
зона	узел	структуры II порядка		веществ. состав фун-та	М осад. чехла, м	разломы		плотность гидросети	пальсолины	
		Кутинов, 1992	по данным Δg			азимут протир.	к-во пере- сечений			
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД										
глиноземистые										
+	+	Золтицкое подняtie	Олмугское подняtie	Гранул. комплекс	1100	305, 0,77, 347, 315, 287	6	7,3	+	
+	+	То же	Золтицкое подняtie	То же	800	0,45, 17, 90, 35	5	6,8	+	
+	-	То же	То же	То же	820	0,45, 17,35 90, 315, 347	7	6,95	+	
+	+	То же	То же	То же	970	0,17 35,45, 90, 315, 347	7	6,6	+	
+	+	То же	То же	То же	1000	0,17, 35,45 90, 315, 332 347	7	6,95	+	
+	+	То же	Кепинская впадина	То же	950	0,17, 332, 315, 347	5	8,2	+	

Объекты	Геоморфологические						Геофизические				
	тополинеаменты 1:50000			дневной рельеф			магниторазведка			среднечастотные аномалии Δg	
	линей.	пересе- чения	кольцев.	гидросеть	полож. формы	отриц. формы	среднечас- тог. ан. ΔT	ЛМА	совпад. азимутов		
Кольцовская (176)	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	
Первомайская (Н-154)	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	
Волчья (401)	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	
Верхотин. (402)	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	
Майская (407)	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	
Осетинская (451)	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	
2. Магнезиально-глиноземисто-											
2а. Однофазные											
Степная (693)	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	
Трубка (688)	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	
Котуга (748)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	
Солоха (751)	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	

Продолжение таблицы 1

ДИП-А		Структурно-тектонические								
зона	узел	структуры II порядка		веществ. состав фун-та	М осад. чехла, м	разломы		плотность гидросети	палеодолины	
		Кутинов, 1992	по данным Δg			азимут протир.	к-во пере- сечений			
+	-	То же	Одмугское подняtie	То же	1140	0, 287, 305, 315, 332, 347	6	6,6	+	
+	+	То же	То же	То же	1200	0,17, 287, 305, 315, 332, 347	7	5,9	+	
+	+	Кепинская впадина	Верхотин. подняtie	То же	1850	17,45, 62, 287, 305, 315	6	7,75	+	
+	+	То же	То же	То же	1850	17,45, 287, 315	4	8,25	+	
+	+	То же	То же	То же	1850	45,62, 305, 315	4	5,5	+	
+	+	То же	То же	То же	1850	17,45, 305, 315	4	5,1	+	
титанистые										
-	+	Золотиц. подняtie	Золотиц. подняtie	То же	2000	35,45, 305, 347	4	8,6	+	
+	+	Кепинская впадина	Кепинская впадина	Эпидот-би- отит. сланцы	2200	17,35, 347	3	8,05	+	
+	+	То же	Н. д.	То же	3000	0,35, 45	3	5,0	+	
+	+	То же	Кепинская впадина	То же	3000	35,45, 90 347	4	10,55	+	

Объекты	Геоморфологические						Геофизические				
	тополинеаменты 1:50000			дневной рельеф			магниторазведка			среднечастотные аномалии Δg	
	линей.	пересе- чения	кольцев.	гидросеть	полож. формы	отриц. формы	среднечас- тог. ан. ΔT	ЛМА	совпад. азимутов		
2б. Многофазные											
Трубка (734)	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	
3. Магнетиально-											
3а. Многофазные											
Мегорская (691)	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	
Ключевая (694)	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	
Трубка (713)	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	
Ольгино (651)	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	
3б. Однофазные											
Обманчивая (823 а)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	
Болото (685)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	
Юраская (494 а)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	
Трубка (740)	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	

Продолжение таблицы 1

ДИП-А		Структурно-тектонические								
зона	узел	структуры II порядка		веществ. состав фун-га	М осад. чехли, м	разломы		плотность гидросети	палеодолины	
		Кутинов, 1992	по данным Δg			азимут простира.	к-во пере- сечений			
-	+	Мегра- Полтинск. подняtie	Верхотин- ское под- няtie	То же	1900	35, 45 77, 287, 347	5	6,25	-	
железистые										
-	-	То же	То же	То же	1200	62	-	6,10	-	
-	-	Золотиц. подняtie	Золотиц. подняtie	Гранулитов- ый комп- лексе	1400	0,17	2	6,60	+	
+	+	Мегра- Полтинск. подняtie	Н. д.	Габброно- рит. форма- ция	2200	0,35	2	6,10	-	
+	+	Золотиц. подняtie	Ке пино- Кулойское подняtie	То же	1800	17, 77, 347	3	6,6	+	
+	+	Мегра- Полтинск. подняtie	впадина	Эпидот- биогит. сланцы	1700	17, 45, 62, 287	4	5,75	-	
+	+	То же	То же	То же	1600	17, 45, 62, 287	4	5,6	-	
+	-	Золотиц. подняtie	Золотиц. подняtie	Гранулит. комплекс	1500	0,17, 45, 90, 287, 305 35	7	6,5	+	
-	+	Мегра- Полтинск. подняtie	Верхотин. подняtie	Эпидот- биогит. сланцы	2000	0,45, 90	3	4,4	+	

Объекты	Геоморфологические						Геофизические			
	тополинеаменты 1:50000			дневной рельеф			магниторазведка			среднечастотные аномалии Δg
	линей.	пересе- чения	кольцев.	гидросеть	полож. формы	отриц. формы	среднечас- тог. ап. ΔГ	ЛМА	совпад. азимутов	
Трубка (711)	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
Трубка (840)	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+
Светлая (695)	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+
II. ПИКРИТЫ										
1. СОБСТВЕННО										
1а. Однофазные										
Шочинская (136 а)	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
1б. Многофазные										
Октябрьская (Н 100 б)	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+
Русалка (495)	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
Трубка (496)	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-
Победа (406)	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
2. ЩЕЛОЧНЫЕ										
2а. Однофазные										
Апрельская (Ц-206)	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-
Крутиха Ю (Ц-208)	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-

Продолжение таблицы 1

ДИП-А		Структурно-тектонические								
зона	узел	структуры II порядка		веществ. состав фун-та	М осад. чехла, м	разломы		плотность гидросети	палеоломны	
		Кутинов, 1992	по данным Δg			азимут простир.	к-во пере-сечений			
+	+	То же	То же	Габбро-орит. формация	2700	0,35, 305, 315, 347	5	7,9	+	
+	-	Золотиц. поднятие	Н. д.	То же	1740	35,45, 90	3	6,95	-	
-	-	Кепинская впадина	Кепинская впадина	Эпидот-биотит. сланцы	2700	35,45, 305, 315	4	7,25	+	
ПИКРИТЫ										
+	+	Золотиц. поднятие	То же	Гранулит. комплекс	900	45, 287, 305	3	4,7	+	
+	+	То же	Одмугское поднятие	То же	900	17,62, 77, 90, 305, 332	6	7,7	+	
+	+	То же	То же	То же	2000	45,35, 315	3	6,75	+	
+	-	Кепинск. впадина	То же	Эпидот-биотит. сланцы	3000	77, 305	2	3,9	-	
+	-	То же	То же	То же	2500	0,77, 347	3	2,0	-	
ПИКРИТЫ										
-	-	Керецкая впадина	Н. д.	То же	2700	35,90, 287, 305	4	6,3	+	
-	+	Арханг. выступ	Н. д.	Гранулит. комплекс	680	17, 305	2	3,6	-	

Объекты	Геоморфологические						Геофизические				
	тополинсаменты 1:50000			дневной рельеф			магниторазведка			среднечастотные аномалии Δg	
	линей.	пересечения	кольцев.	гидросеть	полож. формы	отриц. формы	среднечастот. ан. ΔГ	ЛМА	совпад. азимутов		
2б. Многофазные											
Крутиха С (Ц-208 а)	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	
Чидвинская (Ц-214)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	
3. КИМБЕРЛИТО-											
Суксома (772)	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	
III. ПИНЕЖСКИЙ БАЗАЛЬТОИДНЫЙ											
Трубка (720)	+	+	-	+	-	+	+	+	Н. д.	-	
Трубка (710)	+	-	-	+	-	+	+	+	Н. д.	+	
Трубка (707)	-	-	-	+	-	-	+	+	Н. д.	+	
Трубка (704)	-	-	-	-	-	-	+	+	Н. д.	+	
Трубка (721)	-	-	-	-	-	-	+	+	Н. д.	-	
Трубка (722)	-	-	-	-	-	-	+	+	Н. д.	+	
Трубка (Ц-753)	+	-	-	+	+	-	+	+	Н. д.	+	
Трубка (Ц-754)	+	-	-	-	+	-	+	+	Н. д.	+	

Продолжение таблицы 1

ДИП-А		Структурно-тектонические								
зона	узел	структуры II порядка		веществ. состав фун-та	М осад. чехла, м	разломы		плотность гидросети	палеослины	
		Кутинов, 1992	по данным Δg			азимут простир.	к-во пересечений			
-	+	То же	Н. д.	То же	680	17, 305	2	3,6	-	
-	+	Керешкая впадина	Н. д.	Эпидот-биотит. сланцы	> 3000	35,62, 90, 287	4	4,65	+	
ПИКРИТЫ										
+	-	То же	Н. д.	То же	> 3200	17,35, 287	3	4,5	+	
КОМПЛЕКС										
+	+	Лешуконская впадина	Н. д.	Амфиболит. гнейсы	3200	35,62	2	5,4	Н. д.	
+	+	Мегра-Полтинск. поднятие	Н. д.	Габбро-норит. формация	2780	17, 305, 347	3	7,0	Н. д.	
+	+	То же	Н. д.	То же	2750	17, 305, 347	3	6,25	Н. д.	
+	+	То же	Н. д.	То же	2600	17, 305, 332, 347	4	5,25	Н. д.	
+	+	Кепинская впадина	Н. д.	Эпидот-биотит. сланцы	3100	17, 62, 315	3	7,0	Н. д.	
+	-	Мегра-Полтинск. поднятие	Н. д.	Габбро-норит. формация	2900	17, 287	2	6,7	Н. д.	
-	+	То же	Н. д.	То же	2400	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.	
-	+	Кепинская впадина	Н. д.	Эпидот-биотит. сланцы	2600	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.	

Таблица 2

Поисковая модель трубки взрыва Зимнебережного кимберлитового района

Структурно-тектонические признаки	Геофизические признаки	Минералогические признаки	Геохимические признаки
<p>1. Приуроченность к выступающему фундаменту второго порядка</p> <p>2. Сквозные малоамплитудные тектонические дислокации с определенным азимутом простирания</p> <p>3. Узлы пересечения разломов (3 и более пересечений)</p> <p>4. Повышенная плотность гидропород (метатриптоватость) > 6 у. е.</p> <p>4. Линейные падеодепрессии в коренных породах</p>	<p>Магниторазведка</p> <p>1. Среднечастотные аномалии, приуроченные к поверхности фундамента</p> <p>2. Глубина залегания локальных магнитных аномалий (ЛМА) сопоставима с глубиной кровли вендских отложений</p> <p>3. ЛМА (1:3-4):</p> <p>а) положительные изометричные типа «вертикальный цилиндр, бесконечный на глубину»;</p> <p>б) положительные субизометричного типа «вертикальный цилиндр, ограниченный на глубину» или «поле пластича»;</p> <p>в) слабо выраженные цепочки локальных аномалий;</p> <p>г) отрицательные локальные аномалии ΔTа до 10 нТл</p> <p>Электроразведка</p> <p>1. Зоны повышенной проводимости и узлы их пересечения и осложнение</p> <p>2. Вертикальный проводящий объект в отложениях венда</p> <p>3. Аномалии повышенной проводимости в районах развития отложенной усть-пингезской свиты</p> <p>Гравитразведка</p> <p>1. Среднечастотные аномалии Δg</p> <p>2. В локальных аномалиях трубки не отображаются</p> <p>3. В районах развития усть-пингезской свиты возможны отрицательные локальные аномалии интенсивностью 0,1—0,2 × 10⁻³ м/с²</p> <p>Сейсморазведка</p> <p>Волновые неоднородности разреза (МОВ-МОП), непродольное профилирование КМПВ</p>	<p>Морфология алмазов:</p> <p>наличие двух генераций < 0,5 мм, плоскогранные кристаллы: > 0,5 мм — округлые кристаллы</p> <p>Минералы-спутники алмазов:</p> <p>1. Диопсид-хромдиопсид в значимых количествах</p> <p>2. Минералы-спутники из алмазоносных ассоциаций (диопсид-пиропальмандин — пикроильменит) с признаками ближнего сноса</p> <p>Минералы легкой фракции</p> <p>1. Фрагменты псевдоморфы сапонита по олигину</p> <p>2. Флогопит с хлоритовой каймой</p> <p>3. Появление форм реакционного растворения кварца</p> <p>Находки</p> <p>обломов кимберлитов и кимберлитоподобных пород</p>	<p>Литохимические потоки рассеяния</p> <p>линейные слабо-высококонтрастные потоки длиной до 0,75—1,5 км, простой формы. Состав: Mn, Ba, Sr, Cr, Ge, W, As, Zn, Pb, Sn, Ni, Zr</p> <p>Гидрохимические ореолы</p> <p>линейные слабо-высококонтрастные потоки длиной до 0,75—2,5 км, простой формы. Состав: Ni, Cr, V, Mo, Sn, Pb, Ag, Rh, M, T, C</p> <p>Биогеохимические ореолы</p> <p>1. Собственно вторичные ореолы</p> <p>Сочетание по разрезу линзовидных шлейфовообразных и столбовообразных ореолов; в плане изометричные, эллипсоидные, субкольцевые. Строение сложное: размер — 1,0—7,0 диаметра кимберлитового тела. Состав: Ni, Co, V, Mn, Se, Nb, Ti, Ba, Sr, Cu, Mo, W, Ga, В. Среднеконтрастные.</p> <p>2. Металлоорганические ореолы</p> <p>Изометричные, эллипсоидные в плане ореолы, сложенные по составу и форме, размером 1,0—3,0 диаметра трубки взрыва. Состав: Ni, Mo, Zn, V, Ag</p> <p>Первичные ореолы</p> <p>Изометричные, эллипсоидные, субкольцевые в плане; в разрезе сочетание линзовидных и столбовообразных ореолов. Размер до 2—2,5 диаметров кимберлитового тела. Состав: Ni, Co, Cr, Mn, Ti, Se, Zr, Y, Nb, Ba, Sr, Li, Cd, Pb, Mo, Ga, W, Sn, В. Слабо-высококонтрастные</p>

4.2. Геофизические предпосылки и признаки трубок...

221

енности (с невыдержанной мощностью прослоев) и чередованием прослоев с низкими и высокими значениями магнитной восприимчивости. Центральная зона отличается от предыдущих высокой однородностью, χ в этой зоне у разных тел изменяется от 20×10^{-6} до 40×10^{-6} ед. СИ при значениях $Q = 0,1 - 0,5$.

Рассмотренная обобщенная петромагнитная модель типична для кимберлитовых трубок перспективного типа. Отличия частных моделей (конкретных тел) состоят в изменении мощности апикальной (в т. ч. за счет эрозии) и эндоконтактных зон в широких пределах, чем определяется изменение средней намагниченности тел.

По другим физическим характеристикам сохраняется расслоенность апикальной зоны с чередованием прослоев с низкими и повышенными ρ , σ и V_p (от 5—20 Ом. м, 2,25—2,35 г/см³, 2000—2500 м/с и до 50—150 Ом. м, 2,35—2,45 г/см³, 2500—4000 м/с соответственно).

Центральная и эндоконтактные зоны четко не дифференцируются между собой, у них наблюдается повышение с глубиной a от 2,25—2,35 г/см³ до 2,55 г/см³, V_p от 2000—2500 м/с до 3500 м/с.

В кимберлитовых телах, как и во вмещающей среде, проявлены процессы выветривания. Влияние последних в первую очередь сказывается на петроплотностных моделях. Наиболее изменены верхние (мощность 10—15 м), приконтактные и приразломные (на глубину 50—250 м) участки тел, где a понижается до 2,10—2,25 г/см³. Слабые изменения плотности в объеме тела устанавливаются по наличию реликтов наименее измененных пород с плотностью, равной 2,40—2,55 г/см³.

Характерными параметрами кимберлитовых тел перспективного типа являются: намагниченность пород в апикальной и эндоконтактной зонах — 20×10^{-6} (40—100) × 10⁻³ А/м в отличие от вмещающей среды, по J в 2—5 раз и по a до 0,1—0,15 г/см³ в разрезах падунской и мезенской свит венда, по V_p на 200—500 м/с в отложениях падунской и мезенской свит. Отличительным признаком апикальной зоны является чередование прослоев с контрастным изменением всех перечисленных параметров.

Исследованиями вмещающих и перекрывающих пород в околотрубочном пространстве был выявлен дополнительный элемент модели — ореол повышенной магнитной восприимчивости (Кутинов, Чистова, 2002). Во вмещающих породах ореол образует зону

с повышенной χ на $(10-20) \times 10^{-5}$ ед. СИ мощностью 20—40 м, которая сливается с эндоконтактной зоной тела (рис. 74, 75). Иногда эта зона переходит в послойные ответвления. В перекрывающих отложениях ореол развивается от контакта тела вверх и в надэкзоконтактную зону (вверх на 40—50 м и по простиранию более чем на 500 м). В карбонатных породах ореол имеет сложную морфологию с признаками приуроченности к сложной системе разрывов. Повышение магнитной восприимчивости в терригенных отложениях составляет $(30-130) \times 10^{-5}$ ед. СИ, в карбонатных породах — $(20-50) \times 10^{-5}$ ед. СИ с экстремальными значениями до $(250-500) \times 10^{-5}$ ед. СИ.

Пространственное развитие ореола с приуроченностью к контактной зоне кимберлитовой трубки свидетельствует о гидрохимической природе его образования и о связи с циркуляцией глубинных минерализованных вод по зонам повышенной проницаемости. Исходя из природы ореола можно предположить, что он имеет и другие признаки, которые пока не изучались. Результаты петромагнитных исследований, вмещающих и перекрывающих трубки взрыва пород, обосновывают применение микромагнитной съемки (ММС). При детальном геологическом картировании данная съемка позволяет изучить внутреннее строение трубок и отличить их от объектов-помех. С помощью ММС можно проследить и изучить внутреннее строение тектонических зон и узлов пересечения и выделить малоамплитудные нарушения. При детальном поисках и поисково-оценочных работах ММС будут способствовать прослеживанию рудного тела, установлению его режимов и раздувов.

4.2.2. Характеристика объектов-«помех»

В результате петрофизических исследований было выделено 7 типов объектов-«помех» (А, Б, В, Г, Д, Е, Ж) (рис. 28), отличающихся своим положением в геологическом разрезе.

Три первые типа характерны для областей развития палеозойских отложений, вторые три — для пород венда. За исключением последнего типа (Ж), соответствующего наличию магнитных неоднородностей в песчаниках урзугской свиты, первые шесть типов объектов-«помех» связаны с эрозивно-тектоническими структурами, находящимися на разной стадии развития.

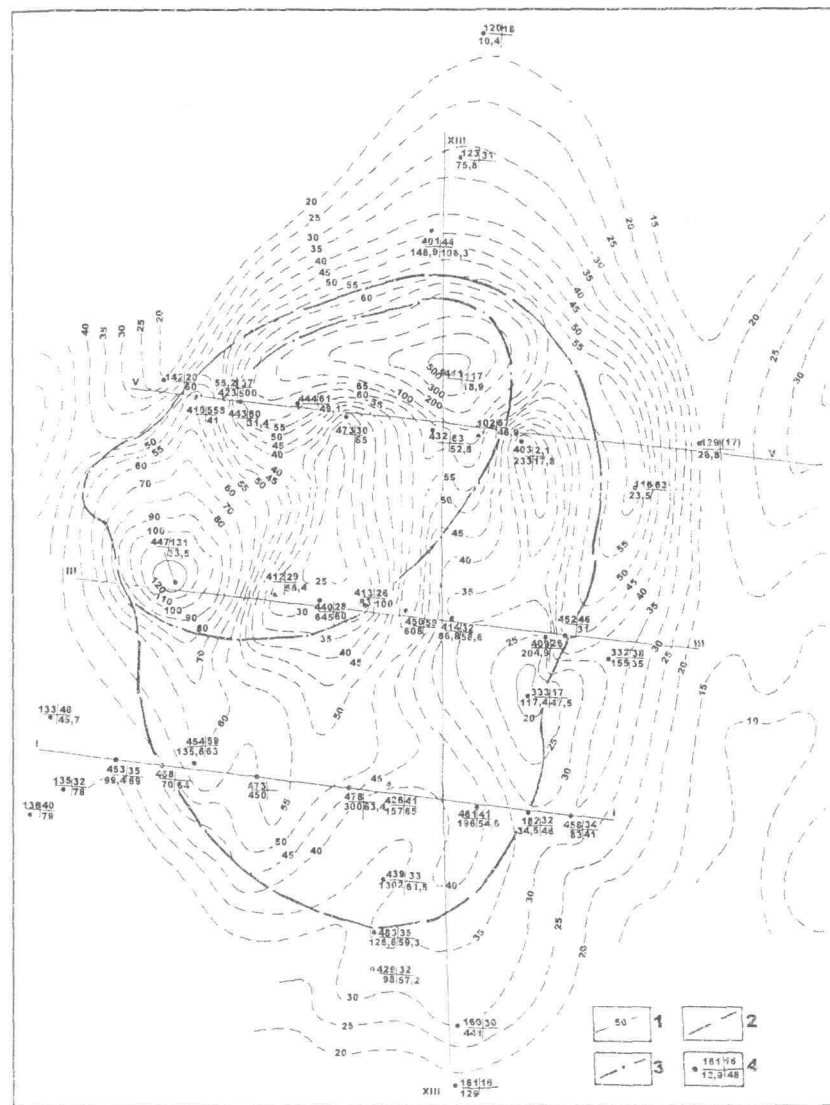


Рис. 74. Латеральная зональность магнитных свойств по перекрывающей толще (Q). Трубка Ломоносовская

1 — изолинии магнитной восприимчивости ($\chi \times 10^{-5}$ ед. СИ); 2 — контур кимберлитового тела; 3 — контур автолитового внедрения; 4 — N_2 скв. | $\chi \times 10^{-5}$ ед. СИ
глуб. скв. | M отложений

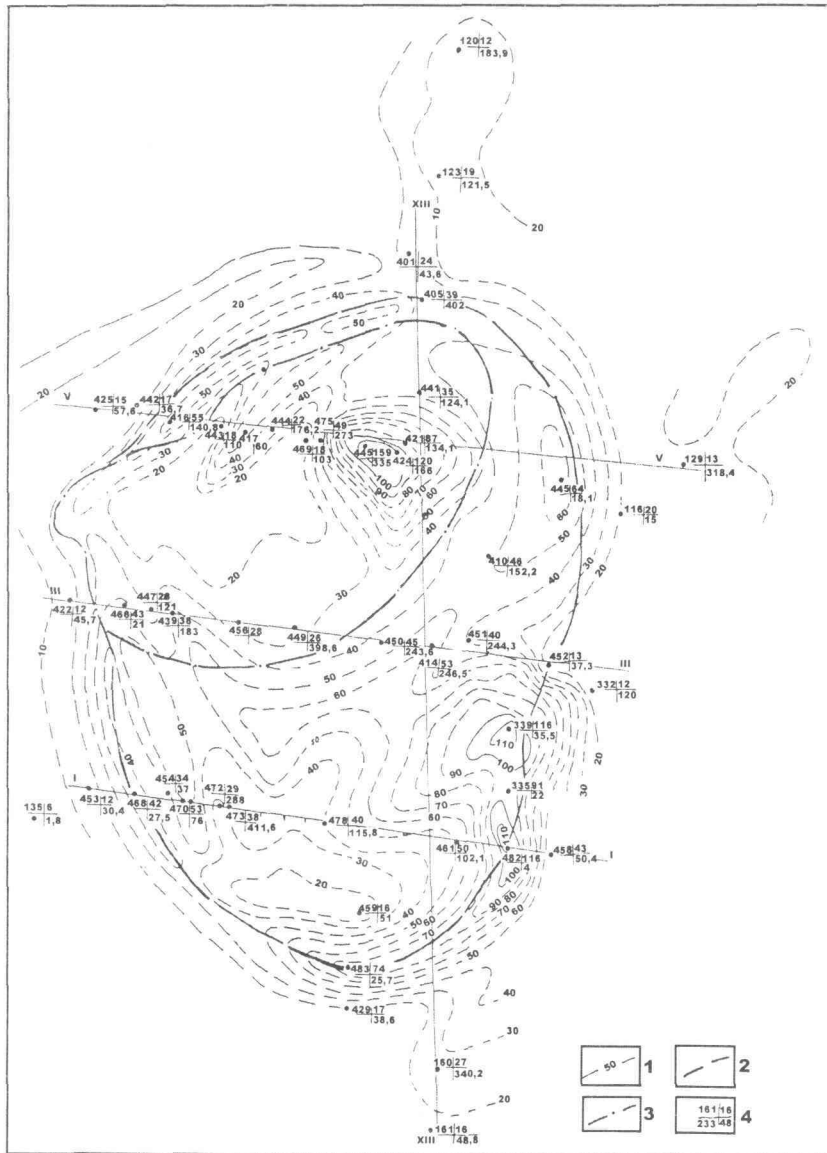


Рис. 75. Латеральная зональность магнитных свойств по эрозионному срезу кимберлитового тела. Трубка Ломоносовская
Условные обозначения см. рис. 74.

На первом этапе петрофизических исследований, когда из магнитных свойств пород широко изучалась только магнитная восприимчивость, породы венда были отнесены по этому параметру к весьма однородным и слабомагнитным, не способным создавать существенных помех при поисках кимберлитовых тел. При комплексном изучении магнитных свойств у них установлена повышенная остаточная намагниченность (J_p) и высокие значения фактора Q . Анализ распространения пород с повышенными J_p и Q позволил установить их связь с ожелезнением (гематизация и лимонитизация), а ожелезнения с инфильтрационными корами выветривания. При этом выделяются площадные зоны выветривания и линейные, развитые в зонах разломов, а также сопряженные с линейными послойные зоны выветривания в чередующихся прослоях пород. Модели данного типа объектов помех показаны на рис. 76, 77.

Палеозойские отложения отличаются от пород верхних горизонтов венда повышенной плотностью, средние значения которой составляют $2,40—2,52 \text{ г/см}^3$ и электрическим сопротивлением $\rho = 160—900 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. За исключением грубозернистых пород урзугской свиты среднего карбона, для них характерна низкая намагниченность (χ изменяется от $(-1-3) \times 10^{-5}$ до $(10-15) \times 10^{-5}$ ед. СИ со спорадическими локальными повышениями χ до $(30-100) \times 10^{-5}$, редко до 500×10^{-5} ед. СИ. У песчаников урзугской свиты намагниченность изменяется в широких пределах. На значительной площади для них характерна низкая магнитная восприимчивость $\chi = (1-20) \times 10^{-5}$ ед. СИ, в то же время в областях выклинивания карбонатных отложений олмутской и воереченской свит в отложениях урзугской свиты широко развиты прослои песчаников, отличающихся резко повышенной χ , достигающей в отдельных случаях 3000×10^{-5} ед. СИ. Согласно имеющимся данным и результатам проверки аномалий бурением, песчаники урзугской свиты в разрезе палеозоя являются практически единственным источником «ложных» магнитных аномалий. Объекты-помехи этого типа распространены на площади развития урзугских отложений. Выделяются два типа источников магнитных аномалий. Первый — прослои песчаников в терригенных отложениях свиты, обладающие повышенной магнитной восприимчивостью ($\chi = 60 \times 10^{-5} - (1500-3000) \times 10^{-5}$ ед. СИ), которые по мощности и простираению чередуются с весьма слабомагнитными ($\chi = 1 \times 10^{-5} - (15-30) \times 10^{-5}$ ед. СИ) песчаниками и другими образованиями.

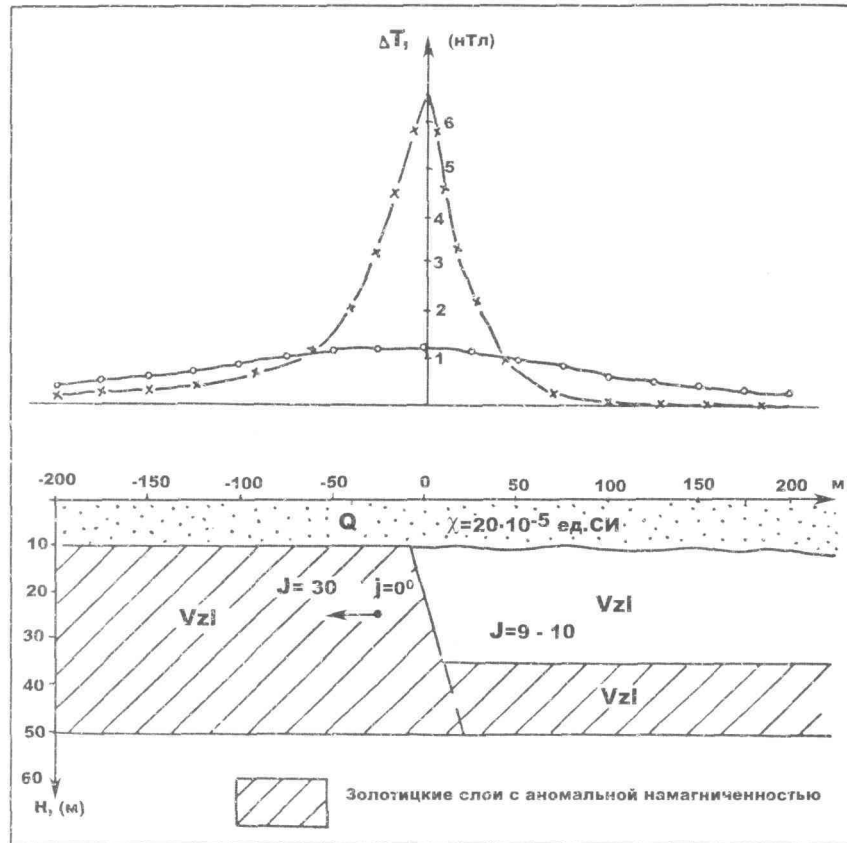


Рис. 76. Петрографическая модель аномалии помехи вендских отложений
Условные обозначения см. рис. 62

Их отличия от помех, обусловленных четвертичными отложениями, определяются морфологией, линейными размерами и мощностью прослоев, локализацией их в полого залегающем горизонте осадочных отложений, мощностью которого изменяется от 0 до 60 м. Элементы залегания прослоев соответствуют таковым для отложений урзугской свиты в целом. Глубина залегания определяется положением в основании разреза палеозоя и изменяется от первых метров в центральной части района в областях выхода отложений урзугской свиты под четвертичный покров до 210—220 м на востоке, мощность прослоев от сантиметров до 10—17 м.

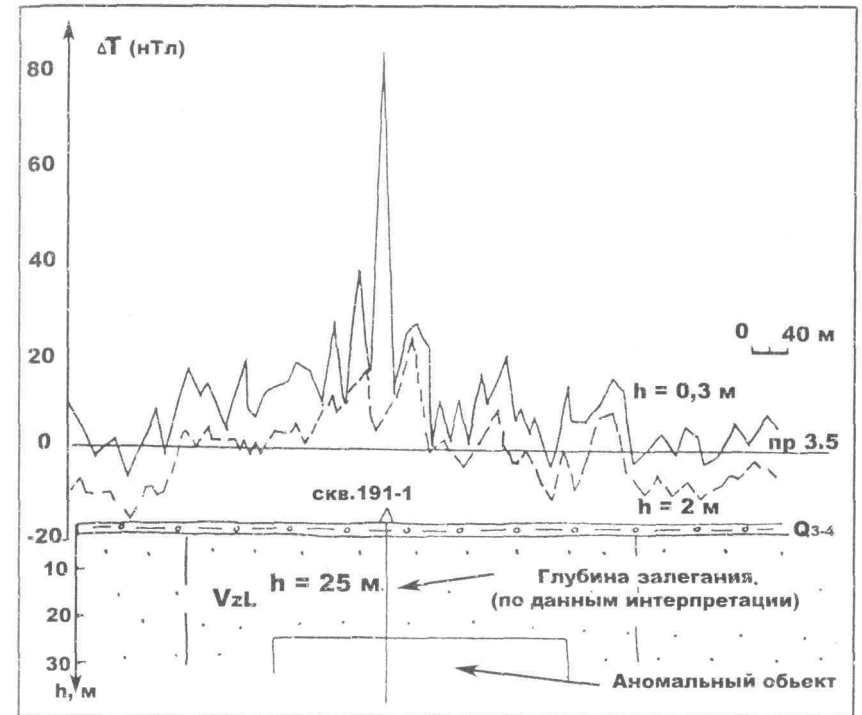


Рис. 77. Геолого-геофизический разрез аномалии АН-191
Тип объекта-«помехи» — Г

Объекты-«помехи» второго типа распространены преимущественно в области, примыкающей к изрезанной эрозией полосе выхода отложений урзугской свиты под четвертичные образования. Отличие геологической модели объектов этого типа состоит в том, что они представляют собой разнообразное сочетание объектов четвертичных отложений и прослоев урзугской свиты, фрагменты которых совмещены в плане или расположены на близком расстоянии. В ряде случаев по петрофизическим характеристикам (χ) можно предположить о существовании непрерывного перехода между ними, связанного с эрозией и переотложением прослоев магнитных песчаников урзугской свиты в четвертичный период.

Области развития магнитных песчаников выделяются положительными локальными аномалиями аэромагнитной съемки интен-

сивностью 3—6 нТл, размером 300 x 700 м. Выделяются сопряженные отрицательные аномалии интенсивностью 2—3 нТл. На земной поверхности аномалии нередко трансформируются в серии сложно ветвящихся положительных аномалий шириной от 20 до 50—100 м интенсивностью до 100 нТл.

Геологической моделью второго подтипа являются полого залегающие прослои магнитных песчаников, ограниченных размеров по падению и простиранию и залегающих под более поздними отложениями палеозоя на глубине 10—200 м. Соответствующая этой геологической модели аномалия должна состоять из зоны повышенного магнитного поля (расположенного над областью выклинивания объекта), сменяющейся зоной отрицательного поля в экзоконтактовой области. В связи с возможностью значительных вариаций размеров, мощности, глубины залегания и намагниченности песчаников интенсивность магнитных аномалий может изменяться в широких пределах от единиц до 20 нТл.

В материалах магниторазведочных и заверочных работ хорошо изученных объектов этого типа обнаружить не удалось. При проверке аномалий бурением установлено, что в разрезе одновременно присутствуют отложения урзугского и четвертичного возрастов, обладающие повышенной магнитной восприимчивостью, однако характер их распространения не изучен.

Четвертичные отложения отличаются от пород палеозоя пониженной плотностью (1,96—2,20 г/см³), электрическим сопротивлением (10—700 Ом·м) и скоростью распространения упругих колебаний (более 2000 м/с). Магнитная восприимчивость практически у всех типов отложений изменяется от 1×10^{-5} до $(300—500) \times 10^{-5}$ ед. СИ с модальным интервалом $\chi = (20—60) \times 10^{-5}$ ед. СИ. Высокой магнитной восприимчивостью характеризуются валунно-галечные ледниковые отложения. При преобладании в крупнообломочном материале метаморфических пород Балтийского щита χ их может достигать $(600—1500) \times 10^{-5}$ ед. СИ. Известны случаи связи «ложных» аномалий с валунно-галечными образованиями линзообразной формы. С четвертичными отложениями, выполняющими палеодолины, связана наиболее многочисленная группа локальных магнитных аномалий-помех (более 60% из числа аномалий, проверенных бурением). Стратиграфическое положение и характер развития четвертичных отложений определяют возможность появления объектов-«помех», связанных с вариациями петромагнитных свойств, на всей

территории исследуемого района, во всех отложениях верхней части разреза, начиная от протерозоя. Возраст и литологический состав вмещающей среды объектов, выполняющих локальные депрессии или линейно вытянутые палеодолины, зависят от глубины развития депрессии. Они распространяются по вертикали от дневной поверхности или выхода под современные отложения в подстилающие породы на глубину 20—220 м. На площади развития палеозойских пород они проникают в разрез венда (рис. 78—85).

Приуроченность объектов-«помех» к локальным депрессиям и линейным палеодолинам, неоднородность четвертичных отложений по намагниченности обуславливают изменение формальных признаков в широких пределах. Интенсивность аэромагнитных аномалий изменяется от 1,5 до 6—12, редко до 28 нТл, наземных — от 10 до 20—60, редко до 80—100 нТл, а их соотношение от 0,67 до 0,33—0,1. При переходе от аэро- к наземным аномалиям часто не сохраняется форма, размеры, иногда и направление простирания аномалий. Последнее чаще обусловлено применяемыми приемами фильтрации (см. гл. 2). Среди аэромагнитных аномалий можно выделить два морфологических подтипа: близкие к изометричным с размерами до 500 x 500 м и линейные, прослеживающиеся по простиранию на расстояние 700—1000 до 3000 м и более. Первый подтип по данным наземной съемки подразделяется на аномалии двух видов: простой и осложненной формы. Общими признаками объектов-«помех», связанных с четвертичными отложениями, является повышенная дисперсия поля и во многих случаях небольшая глубина залегания источников. Линейные аномалии часто вытянуты параллельно современной гидросети и

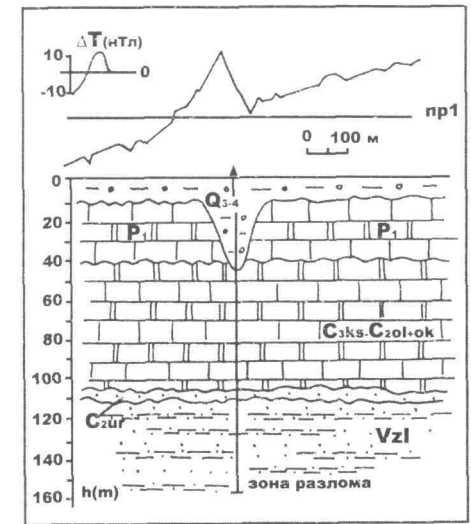


Рис. 78. Геолого-геофизический разрез аномалии АН-740А.

Тип объекта-«помех» — Б

Условные обозначения см. рис. 62

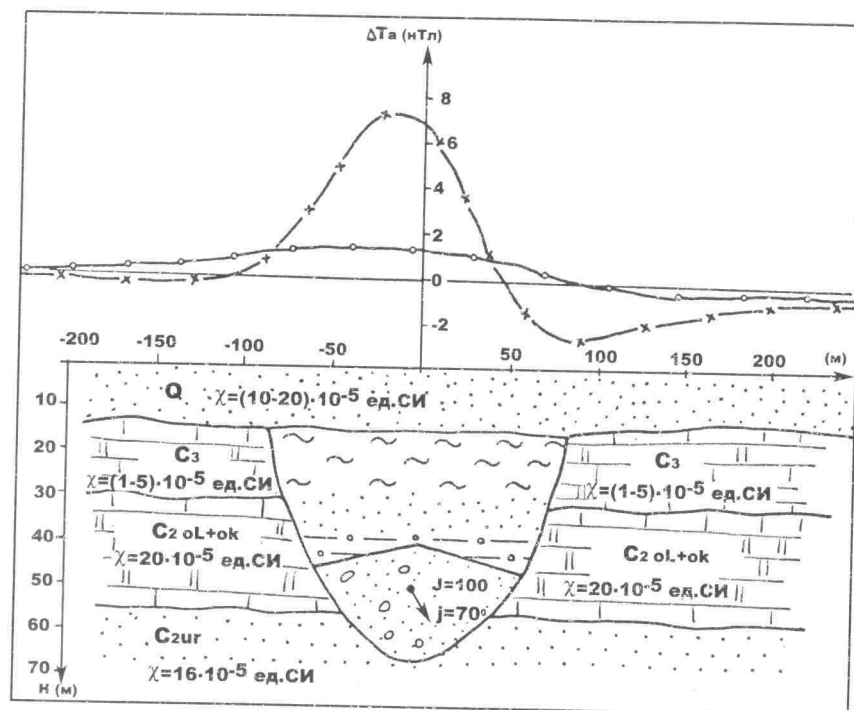


Рис. 79. Петрофизическая модель аномалии-«помехи».

Тип объекта-«помехи» — Б

Условные обозначения см. рис. 62

пространственно совпадают с пониженными заболоченными линейными участками местности.

В результате обработки данных по изучению физических свойств отложений в пределах объектов-«помех» оснований для их районирования не выявлено (Кутинов, Чистова, 2002). Отсутствует какая-либо связь между вероятностными значениями параметров среды и мощностью отложений. Несмотря на значительные колебания значений физических свойств, наиболее вероятные их оценки находятся в довольно узком интервале.

Можно считать, что в масштабе, отвечающем масштабу объекта-«помехи», четвертичный материал в пределах территории перемешан хорошо. К сожалению, ни один из объектов-«помех» не разбурен с детальностью, отвечающей размеру неоднородностей внутри него.

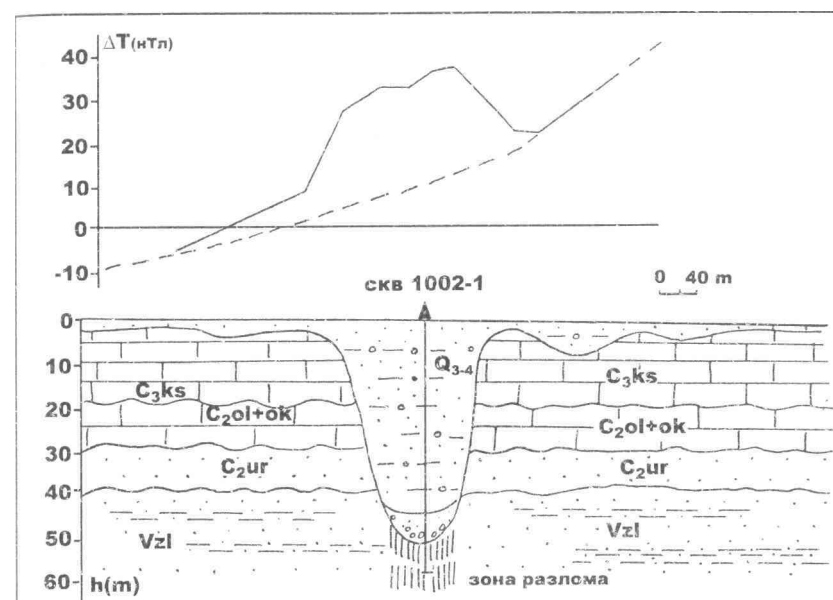


Рис. 80. Геолого-геофизический разрез аномалии АН-1002.

Тип объекта-«помехи» — В

Условные обозначения см. рис. 62

Статистическая обработка данных суммарно по всем аномалиям, проведенная сотрудниками НПО «Рудгеофизика», позволяет считать, что отложения в центре объекта-помехи и на его периферии несколько различаются по магнитным свойствам, что отражает обогащение ферромагнитным материалом центральных частей четвертичных впадин. По сравнению с периферией аномалообразующего объекта магнитная восприимчивость четвертичных отложений увеличивается с 32×10^{-5} ед. СИ до 43×10^{-5} ед. СИ. При этом почти вдвое возрастает фактор Q (с 0,55 до 0,95). Указанные различия обеспечивают изменение удельной намагниченности в центре аномалии по отношению к периферии до 1,7 раза. При этом качественно меняется и состояние ферромагнетика, а возможно, и его минеральная форма. Низкое значение фактора Q отвечает наличию такого ферромагнетика, как магнетит.

Некоторые различия по магнитным свойствам намечаются также для отложений разного литологического состава, отражая тен-

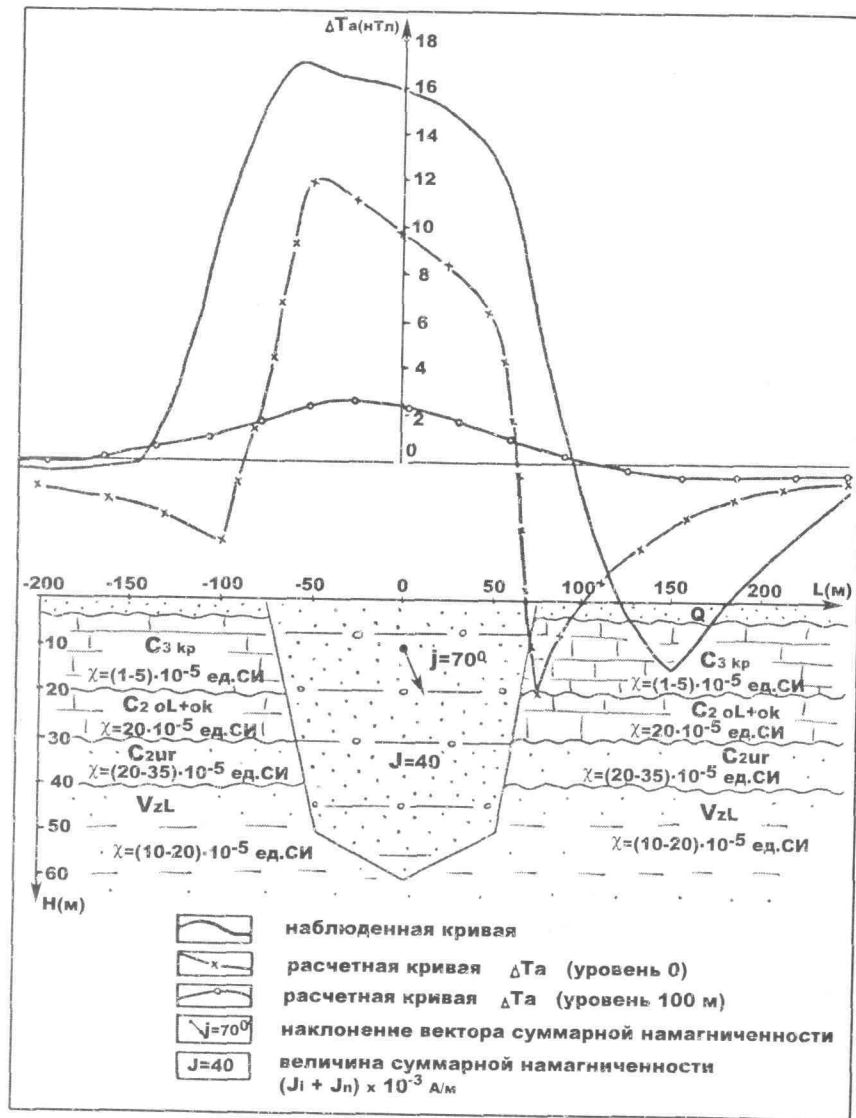


Рис. 81. Петрофизическая модель аномалии «помехи». Тип — В
 1 — наблюдаемая кривая ДТa; 2 — расчетная кривая ДТa (уровень 0 м); 3 — расчетная кривая ДТa (уровень 100 м); 4 — наклонение вектора суммарной намагниченности; 5 — величина суммарной намагниченности $(J_i + J_n) \times 10^3 \text{ А/м}$

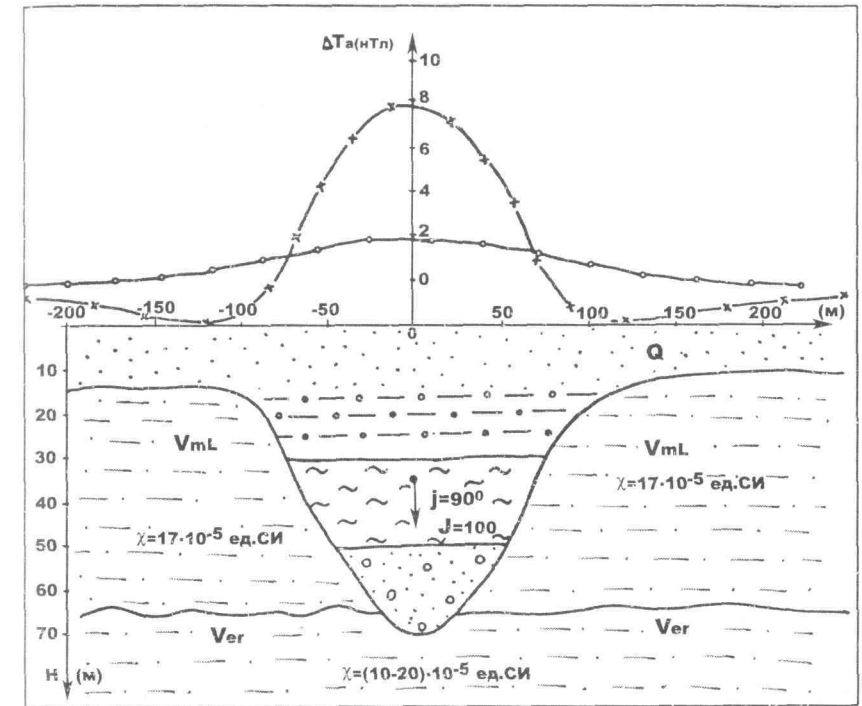


Рис. 82. Петрофизическая модель аномалии-помехи.

Тип — Д (первый подтип)

Условные обозначения см. рис. 62

денцию накопления магнитного материала преимущественно в тонкозернистых и глинистых разностях.

Это позволяет предполагать не только механическое обогащение четвертичных отложений, но и хемосорбционное.

Насыщенность четвертичных аномалий глинистым материалом обеспечивает их низкое (до 6 Ом. м) удельное электрическое сопротивление. В среднем для суглинков и супесей оно составляет 18—22 Ом. м, повышаясь в песках до 60—250 Ом. м. Средняя плотность в пределах объектов-«помех» составляет $2,06 \pm 0,01$, для песков — 1,96—2,04, супеси — 1,98—2,08, суглинков — $2,10 \pm 0,09 \text{ г/см}^3$.

Сравнивая петрофизические модели искомого объекта и помех, можно отметить их значительное сходство: расслоенность верх-

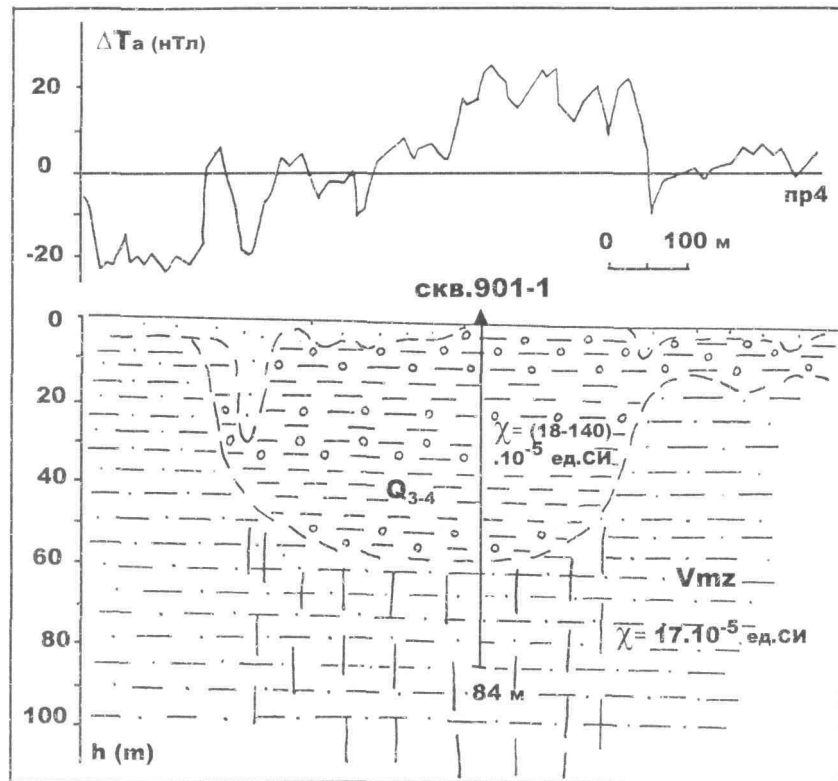


Рис. 83. Геолого-геофизический разрез аномалии Н-901.

Тип объекта-«помехи» — Д

Условные обозначения см. рис. 62

ней части разреза по магнитным свойствам, различие в намагниченности и направлении угла наклона вектора намагничивания для вмещающих пород и пород тела, низкое удельное сопротивление объекта и наличие высокоомных перекрывающих отложений. Аномальный эффект в магнитном поле носит комплексный характер и создается как самим телом, так и рельефом вмещающих пород. В некоторых случаях, например ан. 24А (трубка Поморская), тело совмещено с помехой: в разрезе четвертичных отложений отмечаются высокомагнитные гравийно-галечные отложения. Трубка Ц-23 (Архангельская) в наземном магнитном поле выделяется как кон-

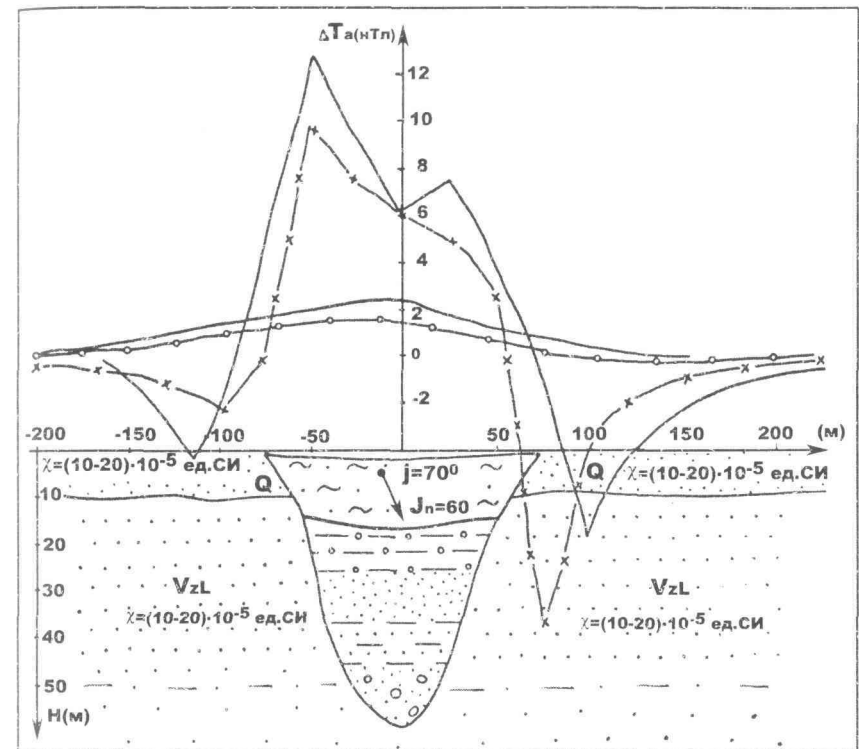


Рис. 84. Петрофизическая модель аномалии-помехи.

Тип — Д (второй подтип)

Условные обозначения см. рис. 62

такт двух сред (очевидно, в данном случае аномальный эффект в значительной степени вызывается рельефом полого намагниченных вмещающих пород венда).

Ранее уже отмечалось, что аномальный эффект от объекта-«помехи» в магнитном поле определяется конкретным расположением магнитных масс в четвертичных отложениях и песчаниках урзугской свиты, а также характером намагниченности вмещающих пород венда. Оценка аномального эффекта, вызываемого латеральными неоднородностями четвертичных отложений, показывает, что его наиболее вероятное значение не может превышать максимальной величины 8—9 нТл. Сами четвертичные породы среди немаг-

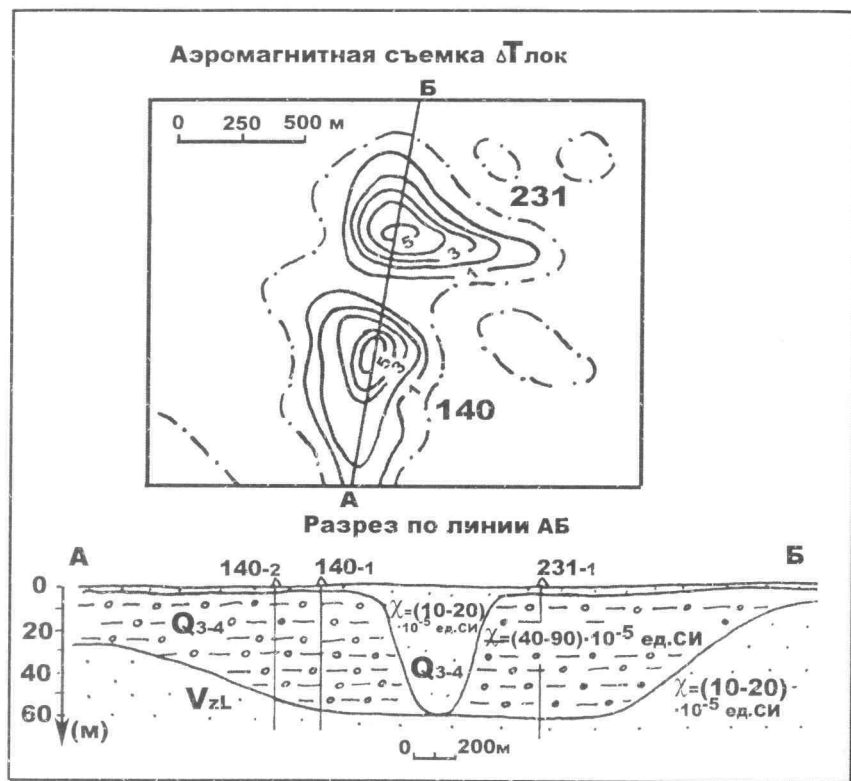


Рис. 85. Геолого-геофизический разрез аномалии АН-231, 140.

Тип объекта-«помехи» — Д

Условные обозначения см. рис. 62

нитных палеозойских отложений не могут вызывать аномалию интенсивностью более 25—30 нТл. Примерно такими же значениями — 10—30 нТл может оцениваться аномальный эффект, обусловленный выступами песчаников венда, образующими борта эрозионно-тектонических долин. Такова оценка максимальных аномальных эффектов от объектов-«помех». В то же время аналогичными цифрами выражается аномальный эффект от наиболее перспективных слабомагнитных тел.

Таким образом, сама по себе амплитуда аномалии, если она не свидетельствует о наличии сильномагнитных образований, не мо-

жет служить критерием разораковки аномалии по перспективности. Такими критериями могут быть:

- приуроченность к узлам сквозных тектонических дислокаций, наиболее перспективными из которых являются узлы сочленения 4-х и более разрывных нарушений. В качестве дополнительного критерия можно отметить наличие дугообразных («кимберлитовых») тектонических элементов и ореола повышенной магнитной восприимчивости.

- оценка аномальных эффектов применительно к конкретному варианту геологического разреза и петрофизической модели объекта-«помехи» в совокупности с влиянием вмещающих пород;

- корректное определение глубины залегания магнитных масс.

4.3. Дополнительные методические приемы разбраковки аномалий по перспективности

4.3.1. Изучение характера дисперсии магнитного поля над объектом

Сопоставление трубок взрыва Архангельской и Якутской алмазонасных провинций показало, что при их общем несомненном сходстве выявляются и определенные отличия первых: 1) слабая интенсивность магнитных аномалий, связанных с трубками взрыва (кроме Ненокского рудного поля, где наряду со слабоинтенсивными аномалиями встречаются аномалии с амплитудой до 1570 нТл); 2) основным источником аномалий на двухфазных трубках достаточно часто является толща ксенотуфобрекчии, что позволяет аппроксимировать эти тела *пластовыми*, а не вертикальными цилиндрами. Это обстоятельство наряду с другими обуславливает сложную форму отдельных искомым магнитных аномалий с несколькими экстремумами.

Таким образом, к точности проводимых магниторазведочных работ необходимо предъявлять достаточно жесткие требования. Особую актуальность, как уже неоднократно отмечалось выше, вопросы разбраковки слабоинтенсивных аномалий приобретают на этапе, когда трубки, картируемые контрастными аномалиями, практически все разбурены. В то же время имеется достаточно большой фонд, основную часть которого составляют аномалии с интенсивностью в первые нТл.

Одинаковый аномальный эффект от объектов-помех и наиболее перспективных трубок (раздел 4.2) взрыва обуславливает необходимость корректного проведения процесса разбраковки слабоинтенсивных аномалий с привлечением всех дополнительных данных. Данное сходство аномалий отражает их однотипную петромагнитную структуру (расслоенность по магнитным свойствам пород верхней части разреза). Для разбраковки этого класса аномалий нами анализировались их различия, т. е. магнитные свойства нижней части разреза.

Изрезанность графиков магнитного поля, характеризующая изменчивость намагниченности горных пород, а также рельеф их верхней кромки, принималась многими авторами во внимание для характеристики возмущенной категории магнитного поля, в случае деления последнего по степени его неоднородности. Определения изрезанности в основном имели качественное и поэтому несколько субъективное значение. Это вызывало затруднения при сопоставлении результатов интерпретации, выполненной разными авторами и в разных районах.

Оценка величины изрезанности поля нами проводилась одновременно с учетом количества экстремумов как характеристики насыщенности карты аномалиями, отражающей распространенность в районе магнитных образований, а также их суммарной напряженности (или амплитуды), в значительной степени зависящей от намагниченности возмущающих тел, их размеров, формы и условий залегания. В свою очередь форма аномалий в плане отражает геометрию возмущающих объектов. Простираение аномалий отражает, как правило, основное направление простираний складчатых и разрывных структур района, ориентировку интрузивных тел и областей измененных пород. Размеры аномалий в плане определялись размерами возмущающих тел или магнитных включений. В результате количественное определение изрезанности по предлагаемой схеме приобретает относительно многофакторное и объективное значение. Предлагается формула (1).

$$V = \left(\sum_{i=1}^{i-1} A_i \right) / L \times N \quad (1)$$

Где V — изрезанность графика магнитного поля; L — условная единица длины; N — количество экстремумов на условной единице длины; A_i — амплитуда отдельного экстремума магнитного поля.

Исследованиями выявлено, что повышение детальности магниторазведочных работ в 5 раз (трубки А-840, А-496, А-697) изменило изрезанность графика магнитного поля (V) на 0,5—1,5 у. е.; в 10 раз (трубка Ц-206) — на 0,5 у. е. Совершенно иная картина при повышении детальности исследований аномалий-«помех». Повышение в 2,5 раза изменило дисперсию наблюдаемого магнитного поля на 3—12 у. е. (Ц-181-186, Ц-189, Ц-192-199); повышение в 5 раз на 6—21 у. е. (Ц-154, Ц-165-167, Ц-456, Ц-293, Ц-205, Ц-455); повышение в 12 раз — на 12—41 у. е. (Ц-205, Ц-455) (Чистова, 1996). Таким образом, установлено, что малая изрезанность графиков магнитного поля над объектами трубочного типа не изменяется при повышении детальности исследований в отличие от дисперсии поля над объектами-помехами, что говорит о большей внутренней однородности магнитных свойств пород трубок взрыва, возрастающей с глубиной (Чистова и др., 1990; Чистова, 1991).

4.3.2. Изучение полной временной картины магнитовариационного поля региона

При исследовании севера Евразии, в частности Европейского Севера, характеризующегося близостью магнитного полюса и полюса вращения Земли, принадлежностью к единой планетарной окраинно-континентальной зоне с особым напряженно-деформированным состоянием земной коры (Kutinov, 2002), немаловажное значение имеет изучение характера геомагнитных вариаций, не являющихся исключением и работы, направленные на поиски кимберлитовых трубок взрыва. Вариации высоких широт обладают повышенной дисперсией, сложным многограновым и полициклическим характером и имеют тесную связь с различными процессами — от космических до локальных, от геологических до биологических и техногенных (Чистова и др., 2000). При поисках трубок взрыва первоочередное значение имеет учет геологических факторов.

Недоучет амплитудно-частотных параметров геомагнитных вариаций приводит к искажению изучаемого поля и за счет последних приводит к ошибкам выделения аномалий от трубок взрыва. Как указывалось ранее, эти ошибки могут быть двух видов: **ошибки** первого рода (ложное обнаружение аномалии) возникают, если решение о наличии аномалии оказывается ошибочным и за аномалию принято отклонение поля, не связанное с искомым объектом;

ошибки второго рода (пропуск аномалии) возможны в том случае, когда искомая аномалия существует, а принятое решение отрицает наличие аномалии, так как она не соответствует некоторым заранее установленным параметрам.

При решении большей части геологических задач, в частности при поисках кимберлитовых тел, более серьезна ошибка второго рода, из-за которой могут быть пропущены аномалии, связанные с месторождениями. Ошибка первого рода влечет за собой определенные экономические издержки, связанные с необходимостью проверки горно-буровыми работами аномалий, не обусловленных искомыми объектами. Правда, события последних лет показали, что ошибка второго рода стала фатальной для поисковых работ, сведя эффективность последних к нулю.

Необходимость детального учета, обусловленная высокими широтами, аномальными явлениями, причинами геологического характера, геомагнитных вариаций при проведении высокоточных магниторазведочных работ, достаточно широко известна. Однако наблюдается повсеместное игнорирование этого фактора, на что авторы неоднократно указывали в ряде работ (Чистова и др., 2000; Чистова, 2002), приводя подробный анализ длиннопериодных и короткопериодных геомагнитных вариаций (характерные типы, их развитие во временном масштабе в пределах календарного года, происхождение, радиус их распространения и влияния и амплитудно-частотные характеристики с привязкой к среднестатистической модели календарного года) по результатам многолетних (с 1979 года) высокоточных измерений полного вектора напряженности магнитного поля в пределах Приморского района (Ненокса, Кудьма, Куртяево, Белоозерская и Зимнебережная площадь, окраины городов Новодвинска, Северодвинска и Архангельска).

Корректное проведение детальных магниторазведочных (особенно микромагнитных) работ и крупномасштабных высокоточных аэромагнитных съемок невозможно без подробного анализа характера магнитных вариаций и учета радиуса их влияния.

В основном нами определялось влияние длиннопериодных и короткопериодных геомагнитных вариаций на результаты высокоточных магнитных съемок в пределах Архангельской алмазонасной провинции. Общее количество календарных лет, включенных в анализ, -- 21 (с 1979 по 1990, 1992, 1995, 1999, 2000 гг.); количество полных месяцев -- 129; суммарное время наблюдения --

13 500 часов; интервалы между замерами 15, 20, и 30 секунд. В результате выявлен максимально полный спектр колебаний, характеризующий возмущенные вариации переменного магнитного поля региона. Составлен обобщенный «магнитный портрет» среднестатистического года с амплитудно-частотными характеристиками каждого месяца, описание которого приведено далее.

По типам магнитные вариации подразделялись: невозмущенные — это плавные изменения значений магнитного поля, имеющие определенную закономерность, более или менее периодический характер (например, солнечно-суточные); аперiodические — их невозможно характеризовать каким-либо периодом (например, сторм-тайм вариации); промежуточные — имеют правильный характер, но не характеризуются определенным периодом (например, бухтообразные). По происхождению наблюденное суммарное поле состоит из вариаций естественного происхождения и индустриального. Вариации естественного происхождения включают вариации, вызываемые внешними причинами и причинами геологического происхождения. Последние, в свою очередь, обусловлены неоднородностями геоэлектрического разреза и различной намагниченностью горных пород. Намагниченность или интенсивность намагничивания зависит от магнитных свойств вещества и напряженности магнитного поля и бывает индуктивной или наведенной (при снятии поля исчезает) и естественной остаточной. Ниже приводится формула спектрального состава вариаций, вызываемых внешними причинами (в основу положен период перечисленных вариаций).

$$T_{\text{набл.}} = S_q + S_l + S_d + \sum_{i=1}^6 P_{ci} + \sum_{i=1}^3 P_{ij} + D_{p1} + D_{st} + T_{\text{пр.}}$$

где: S_q — солнечно-суточные вариации в спокойное время; S_l — лунно-суточные вариации; S_d — возмущенные солнечно-суточные вариации; P_{ci} — регулярные квазисинусоидальные КПК (шесть видов); P_{ij} — нерегулярные КПК (три вида); D_{p1} — бухтообразные вариации; D_{st} — возмущенные аперiodические вариации; $T_{\text{пр.}}$ — прочие вариации.

Возмущенные короткопериодические колебания (пульсации) магнитного поля связаны с процессами взаимодействия солнечных корпускул и магнитосферы. Небольшой период данных пульсаций вызывает появление довольно значительных индукционных токов в земной коре (теллурические токи), которые используются в изу-

чении геологического строения земной коры. Возмущенные вариации в силу своего беспорядочного характера с непрерывно изменяющимися периодами, амплитудами и фазами определенным образом влияют на качество всех магниторазведочных работ. Прогнозируемое аномальное повышение уровня солнечной активности в 25-м цикле наступившего столетия (в 2024 г.) определяет актуальность данного исследования с целью выделения из ряда наблюдаемых вариаций магнитного поля всего объективного спектра возмущенных колебаний, соответствующих наиболее аномальным временным интервалам исследуемого района.

Исследовались короткопериодные колебания (КПК) двух видов. Устойчивые (Pc) — по шести типам в зависимости от периода и средней амплитуды: Pc_1 — периодичность повторения 1—4 мин., продолжительность 10—20 мин., амплитуда до 1,0 нТл; Pc_2 — Pc_3 — обычно полуденные часы, амплитуда до 5 нТл и несколько часов, во время солнечной активности амплитуда возрастает с одновременным уменьшением периодов; Pc_4 — дневные (в светлое время суток) в виде серий колебаний с максимальным количеством к утренним часам; Pc_5 — более длительные серии колебаний с минимальными значениями в утренние и максимальными — в вечерние часы; Pc_6 — наиболее характерные для высоких широт, дневные и ночные с амплитудой до сотен нТл. Иррегулярные пульсации (Pi) — своего рода суббури, характерные для возбужденного состояния магнитосферы. Pi_1 — максимальные частоты приходятся на вечерние и ночные часы; Pi_2 — вечерние и ранние ночные часы, серии колебаний, периоды уменьшаются более чем в три раза с ростом магнитной активности, а амплитуды при этом возрастают; Pi_3 характерны суббурям в высоких широтах, в основном в ночное местное время.

Наряду с нормальными изменениями вариаций геомагнитного поля в зависимости от геомагнитной широты и долготы (так называемые внешние причины) в исследованном районе выделен ряд областей с аномальным поведением вариаций, вызванным внутренними причинами. Эту составляющую а вариациях геомагнитного поля вызывают, вероятно, причины геологического характера. Теоретически разделение суммарного эффекта вариаций на внутреннюю и внешнюю составляющие вполне возможно. Основная цель выполненных исследований состояла в определении неодинаковости нарушения синхронности протекания вариаций в «нормаль-

ных» и «аномальных» областях, т. е. их разноамплитудность и разнофазность.

В основе вариаций геологического происхождения лежат неоднородность намагниченности горных пород и неоднородность геоэлектрического разреза.

Изменение магнитного поля меняет намагниченность объекта исследования, а следовательно, и Тнл объекта. Наблюдая за изменением аномального поля объекта при изменении магнитного поля Земли, можно установить (Инструкция по магниторазведке, 1981), насколько вариации земного поля изменяют величину намагниченности, и тем самым решить, является ли намагниченность остаточного или индуктивного происхождения, т. е. разбраковать объекты по их природе.

Аномальное протекание вариаций отмечено в зонах развития геоэлектрических неоднородностей. Физическая причина аномального протекания объясняется скачком проводимости и соответствующими индукционными эффектами на границе двух сред. Береговая линия, в пределах 10-километровой зоны по обе стороны дает изменчивость амплитуды на 19—20% вариаций.

Помехи индустриального происхождения по характеру разделились на активные: город средних размеров (до 5—10 км), ж/д (не менее 1 км); мгновенного характера: ЛЭП, кабели, движущийся автотранспорт; пассивные: газопроводы и трубопроводы в зоне до 500 м (мгновенные и скачкообразные), металлический мусор и обсадные трубы.

Оценка влияния вариаций магнитного поля на точность проведения магнитных съемок проведена с учетом причин внешнего характера пространственной неоднородности их протекания: амплитуды, скорости нарастания магнитного поля, степени неоднородности протекания вариаций — и с учетом причин внутреннего характера, т. е. геологических. С повышением точности магнитных съемок, связанной с изучением слабомагнитных геологических образований, возрастает уровень естественных (вариации геомагнитного поля, поверхностных магнитных неоднородностей, рельефа земной поверхности и др.) и индустриальных помех.

Для Архангельской провинции изучение вариаций магнитного поля наиболее актуально для районов развития пород усть-пинезской свиты, эрозионный срез трубок может достигнуть 600 м и интенсивность аномалий понижается до первых единиц нТл.

В процесс исследования возмущенной части КПК был включен качественный анализ светового интервала суток по дням в пределах каждого месяца наблюдаемых вариаций магнитного поля с учетом регионального уровня и снятого квадратичного тренда, с учетом формальных признаков, таких, как максимальной амплитуды в пределах всего непрерывного ряда наблюдений (A) и скорости нарастания магнитного поля в интервале непрерывного ряда наблюдений в час (V), с целью определения и качественной оценки наблюдаемой картины вариаций магнитного поля исследуемого региона (рис. 86).

Результаты анализа представлены в виде описания: наиболее характерных форм, амплитуд и периодов КПК; характера наблюдаемых вариаций магнитного поля и закономерностей (по месяцам для всего календарного года за последнее десятилетие) с выделением дней, наиболее благоприятных для проведения магниторазведочных работ в условиях юго-восточного Беломорья; отдельных осложняющих факторов и дополнительных поисковых признаков разбраковки выявленных магнитных аномалий.

Характеристика КПК дана по перечисленным выше классификационным типам в зависимости от периода их проявления. Аперриодические возмущения (магнитные бури) наблюдаются от нескольких часов до 10 суток. Последние характерны для осеннего периода (октябрь, в меньшей мере — ноябрь). Они имеют сложную картину возмущений: КПК квазисинусоидальные и неправильной формы (Pc), иррегулярные с затухающей амплитудой (Pi); бухтообразные возмущения ($Dp1$), образующие в конечном результате серии импульсов, различных по фазе и амплитуде. Максимум возмущений в подобные дни приходится на вторую половину светового времени суток. Амплитуда изменяется на 100—115 нТл за 30 минут, в отдельные дни на 290—300 нТл за 15 минут. До начала резких магнитных возмущений наблюдаются иррегулярные КПК типа Pi_3 с амплитудой до 30 нТл и периодом 4 минуты. Через некоторое время они повторяются, но уже со значительно большей амплитудой сигнала. Для дней средних магнитных возмущений наиболее распространены КПК квазисинусоидальные и неправильной формы типа Pc . Преобладающим видом вариаций в эти дни являются Pc_4 и Pc_5 , значительно реже Pc_6 возмущения. Нередко встречаются колебания пикообразной формы, одиночные, с амплитудой от 200 до 400 нТл продолжительностью до 1,0—1,1 часа

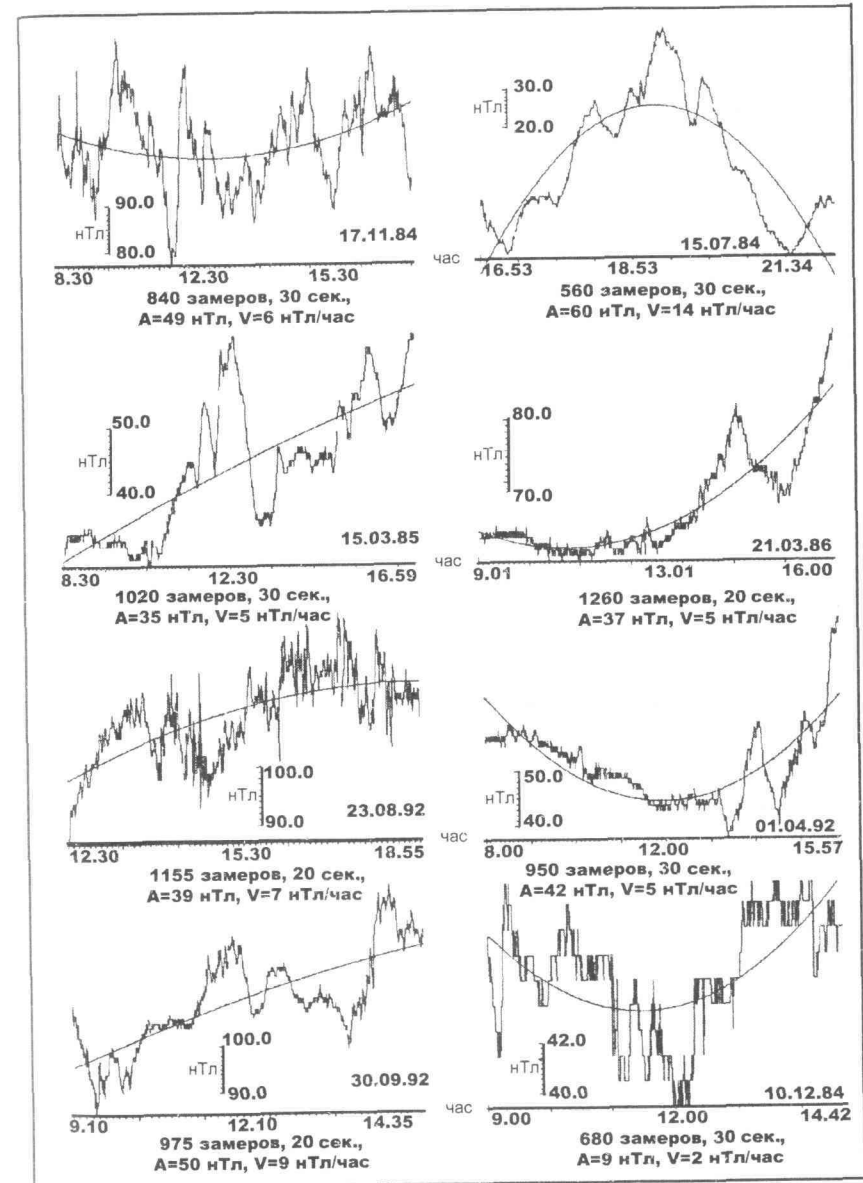


Рис. 86. Временные ряды возмущенной части КПК магнитного поля

(рис. 87 а.1) и групповые с амплитудой отдельного всплеска до 100 нТл и продолжительностью до 30 сек. (рис. 87 а.2).

Для дней относительно спокойных магнитных возмущений характерны колебания пилообразной формы, мелкие и крупные, осложненные иррегулярными КПК типа Pi_2 (затухающий цуг колебаний). Мелкие — амплитуда от 4 до 30 нТл, период от 30 сек. до 13 минут (рис. 87 а.3). Крупные — амплитуда от 20 до 60 нТл, период до 30 минут (рис. 87 а.4).

Для ночного периода суток в основном характерны бухтообразные колебания типа $Dp1$ — серии минимумов и максимумов (отклонения от спокойного уровня), с амплитудой до первых сотен нТл, продолжительностью до 3—4 часов. Как правило, они осложнены одиночными импульсами интенсивностью до 20 нТл, периодом от 4 до 8 минут (рис. 87 а.5 и рис. 87 а.6).

Описание характера вариаций магнитного поля исследованной площади по месяцам приводится в обобщенной форме в среднем за последние пять лет.

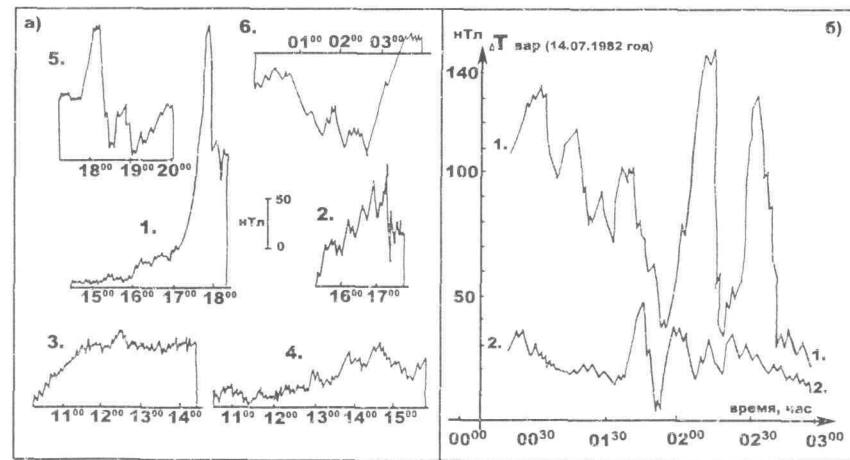


Рис. 87. Характерные формы магнитных вариаций Юго-Восточного Беломорья

А — характерные для региона КПК и бухтообразные вариации: 1 — одиночные пилообразной формы; 2 — групповые пилообразной формы; 3 — мелкие пилообразной формы; 4 — крупные пилообразной формы; 5—6 бухтообразные возмущения; Б — слабопроявленные изменения хода короткопериодных вариаций магнитного поля: 1 — в районе объекта; 2 — за его пределами

Январские вариации имеют наиболее равномерный, фоновый характер (рис. 88 а). В среднем ежегодно в данный месяц наблюдения выполнялись 18—20 дней. Из них всего не более 2 аномальных дней (рис. 89 а). Максимальная амплитуда в этот месяц за все годы составила 240 нТл с периодом в 6 часов; КПК характерны период до 4 минут и амплитуды до 40—60 нТл, одиночные всплески развиты слабо. Наиболее благоприятное время для работы с 9 до 15 часов (исключая возмущенные дни). Единственное осложнение для производства магниторазведочных работ — температурный фактор.

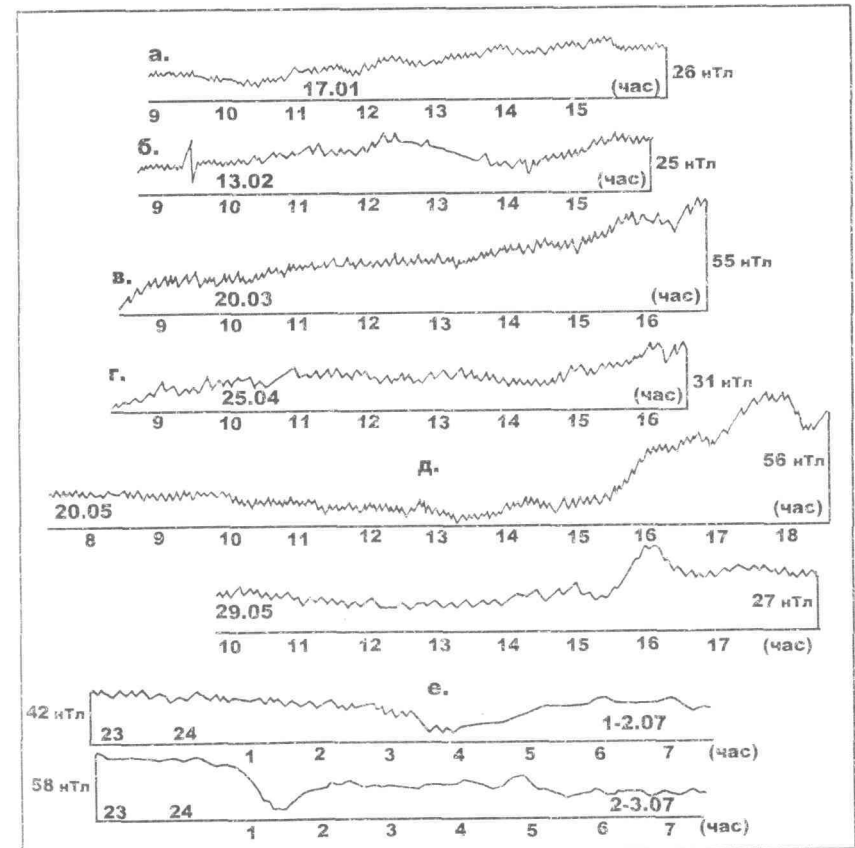


Рис. 88. Характерные формы фоновых вариаций дневного периода суток

Февральские вариации отмечены «волнообразным» характером. Спокойные дни периодически чередуются с аномальными, с интервалом в трое-четыре суток. Ежемесячные наблюдения составили 22—24 дня из 8—10 дней аномальных. Максимальная амплитуда по месяцу порядка 300 нТл с периодом в 3,5 часа. Возмущения магнитного поля в основном начинаются с 15—16, реже с 12—14 часов. Два аномальных дня за все годы были возмущены полностью. Для данного месяца характерны резкие, пилообразные КПК. За восемь минут подобные возмущения достигают 180—210 нТл. В основном они появляются после 12 часов дня (рис. 89 б). Относительно спокойным вариациям характерны КПК с амплитудой до 50 нТл и периодом до 3—4 минут (рис. 87 б).

Первые две мартовские недели и последние дни этого месяца, как правило, более резко возмущены, чем его 15—23-е числа (рис. 89 в). Из регулярных двадцати девяти дней наблюдений пять-шесть дней оказывались резко аномальными. Максимальная амплитуда составила 310—320 нТл с периодом до 3 часов. Амплитуда КПК за 60 минут достигает 140—160 нТл. КПК осложнены отдельными всплесками до 40—60 нТл за 2—3 минуты. Подобные осложнения развиты наиболее интенсивно с 14 до 17—18 часов. Дням спокойных вариаций характерна монотонная (амплитуда до 8 нТл) «рябь» наблюдаемых значений (рис. 88 в).

Для апрельских вариаций спокойный ритм наиболее характерен 16—25-м числам (рис. 88 г). Из 22 ежемесячных дней наблюдений, как правило, около 7 аномальных дней. Максимальная амплитуда составляет 360 нТл, период — до 6 часов. КПК разнообразны: «отрицательные» амплитудой до 280 нТл и периодом до 1,5 часа; «положительные» амплитудой до 100 нТл и периодом 1—1,5 часа. Все они осложнены слабыми (до 10 нТл) пилообразными всплесками (рис. 89 г).

Майские дни из всех весенних дней наиболее благоприятны для постановки магнитной съемки. Характер майских вариаций магнитного поля на протяжении всех лет имел однотипный вид. В среднем из 23 ежемесячных дней наблюдений не более 4 аномальных дней. Из общих характерных закономерностей, как правило, возмущения двух типов (рис. 89, 90). До 14—15 часов — в спокойные дни и реже до 16 часов в возмущенные наблюдаются плавно-линейные формы изменения вариаций (рис. 90 а и 89 д). В вечерние часы их общий уровень аномально возрастает, суще-

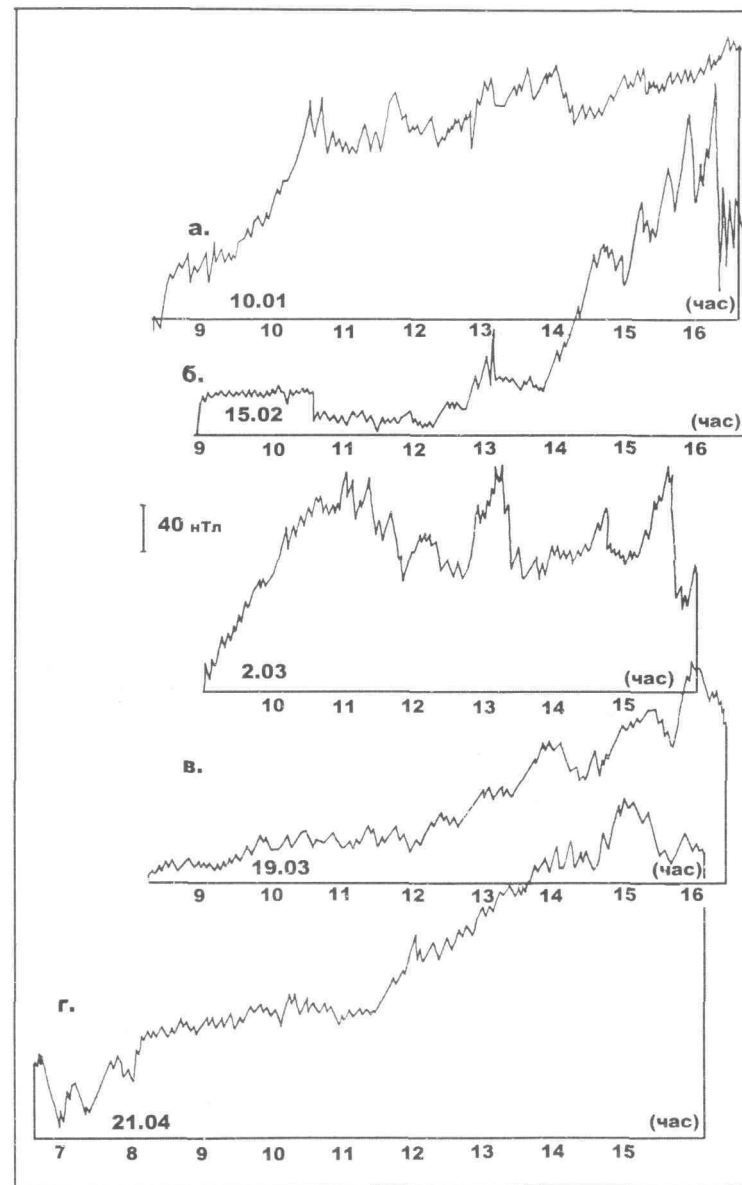


Рис. 89. Характерные формы среднечастотных возмущений магнитного поля

ственно не влияя на возможность постановки магниторазведочных работ. Аномальные дни имеют наиболее «яркий» из всех подобных дней характер. Максимальная амплитуда достигает до 500—700 нТл за 4 часа; КПК за 15—20 минут достигают 120—180 нТл, сложной многоступенчатой формы, развиты слабо (всего 9—10 подобных всплесков за все исследуемое время). Для всех графиков майских вариаций магнитного поля характерна «слабовозмущенная рябь» (монотонные всплески до 3—7 нТл).

Более спокойный характер вариаций в июне месяце. За три года ежемесячно выполнялись наблюдения по 25—28 дней, и всего за это время было отмечено два относительно аномальных дня. Максимальная амплитуда возмущений, характерных для этих месяцев, порядка 200 нТл с периодом до 8—9 часов. Спокойный характер в данные месяцы стабилен с 8 до 21 часа. Исключение составляет район 15 часов, где временами наблюдается плавное возрастание значений магнитного поля до 60—80 нТл.

Стабильно спокойный характер имеют вариации июля месяца. За шесть исследуемых лет ежемесячно наблюдалось по 30 дней, и за все это время — ни одного резкого аномального дня. Дней относительно аномальных с плавными, холмообразными, локальными возмущениями до 40—60 нТл за 15—20 минут (реже до 280 нТл) было всего 3—5 в месяц. Для июльских вариаций характерен резкий (до 500 нТл) спад общего уровня поля в районе 21—22 часов, аномальные бухтообразные колебания, с сериями из 3—4 «залитов», амплитудой до 180 нТл и интенсивностью до 30 минут в ночное время. Благоприятный для магниторазведочных работ интервал времени — практически круглые сутки.

Характер вариаций августа подобен июльским. Такие же холмообразные возмущения до 60 нТл за 23—24 минуты. За семь лет в среднем наблюдения проводились 27 дней ежемесячно. Наблюдаются отдельные пикообразные всплески до 20—40 нТл за 5 минут и, как правило, в районе 15—16 часов горбообразные возмущения. Наиболее благоприятный интервал с 6 часов до 20 часов вечера.

Сентябрь среди осенних месяцев относительно спокойный. За шесть лет наблюдения проводились до 29 дней ежемесячно, и в результате выявлен только один резко аномальный день. Возмущения данного дня бухтообразной формы, осложненные двухсторонними пиками «отрицательного» знака с максимальными амплитудами до 400 и более нТл и периодом до 60 минут. В основном для сен-

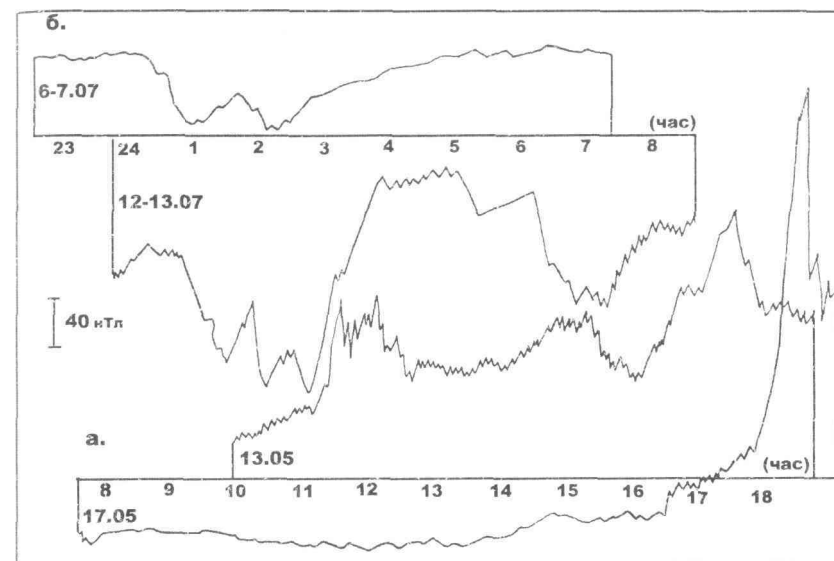


Рис. 90. Характерные формы ночных вариаций магнитного поля

тябрьских вариаций характерны холмообразные возмущения, приуроченные к 16 часам (до 80—90 нТл за 25—30 минут) и кратковременные пикообразные всплески с амплитудой до 50 нТл и периодом до 2—3 минут (рис. 91 б) на фоне спокойного хода вариаций.

Необходимо отметить, что подобные возмущения наиболее опасны для качества высокоточных магниторазведочных работ, так как трудно фиксируются из-за локального радиуса распространения. Размеры радиуса определялись по материалам синхронной работы до пяти разнесенных МВС. Результаты получились неоднозначные: для района Ненокского рудного поля — до 8 км; для южных районов области — менее 1 км; для Зимнего берега разнообразен. Подобный разброс, вероятнее всего, объясняется возможным намагничиванием горных пород в магнитном поле разрядов молний, т. е. результат влияния индукции разрядов молний (для грозовых районов области). Вопрос о возможности подобного намагничивания возник давно, еще в работе Ф. Ю. Левинсон-Лессинга и В. Ф. Миткевича (Инструкция по магниторазведке, 1981) высказывалась гипотеза, что интенсивность намагничивания горных пород, встречаемая в некоторых случаях в естественных условиях, может быть

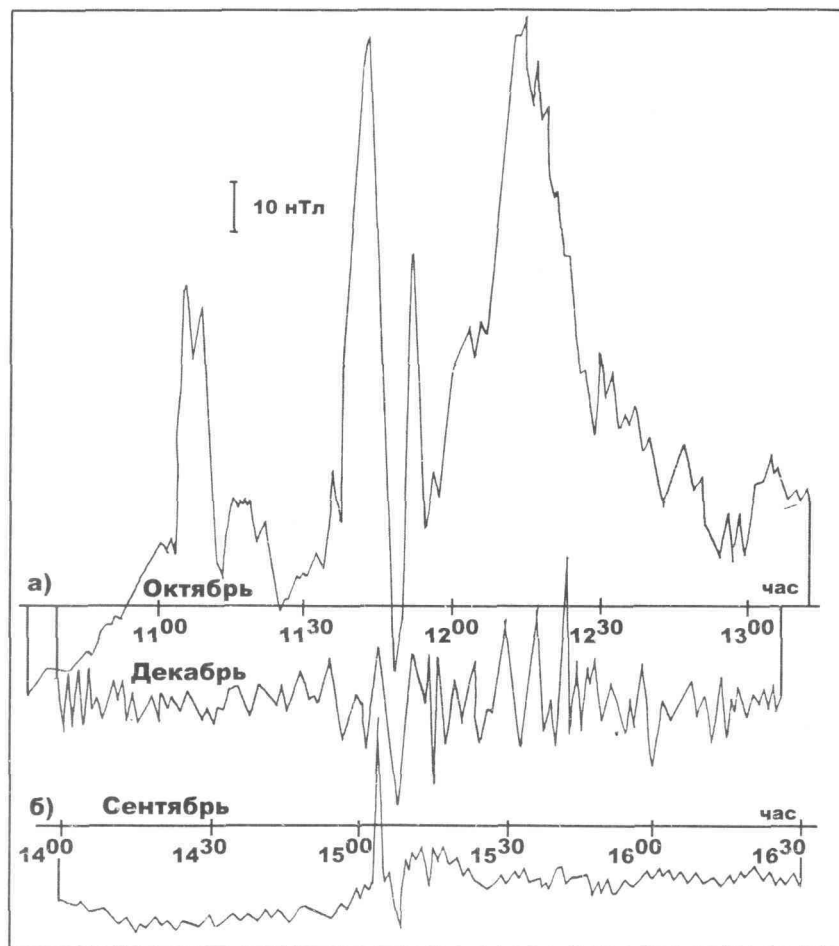


Рис. 91. Характерные формы относительно спокойных вариаций магнитного поля

объяснена лишь воздействием на породу магнитного поля, во много раз превышающего современное напряжение земного магнитного поля. Радиус интенсивного магнитного воздействия грозового разряда при очень больших силах разряда (порядка сотен тысяч, до миллиона ампер) может достигать нескольких сот и более метров. При этом характер создаваемого поля может обусловить возникно-

вание полярности любых направлений, хотя бы и резко расходящихся с направлением земного поля, оказывающегося ничтожно малым относительно поля грозового разряда. Следует напомнить, что для возникновения интенсивной магнитной аномалии при любом факторе намагничивания, в том числе и индукции поля грозовых разрядов, необходимо наличие в минералогическом составе горной породы компонента, обладающего высокой магнитной восприимчивостью.

Гипотеза о намагничивании полей грозовых разрядов получила свое подтверждение в довольно многочисленных фактических наблюдениях и для многих случаев по-видимому является справедливой.

Октябрь месяц с 1979 года — наиболее ярко выраженное аномальное время. По объему анализируемые материалы разнообразны: от 17 до 31 дня в месяц. По ряду лет, к сожалению, наблюдения выполнялись только в считанные (2—5) дни. Это объясняется тем, что для анализа использовался материал рабочих наблюдений на магнитовариационных станциях, а специальные целенаправленные работы не проводились. Имеющийся в распоряжении авторов материал показал наличие более 50% аномально возмущенных дней; разнообразный набор видов колебаний от горбообразных с амплитудой порядка 180 нТл и периодом в час до пилообразных с крупными и мелкими гармониками, как по амплитуде, так и по периодичности (рис. 91 а). Но среди обширного набора всех видов КПК в октябрьских вариациях магнитного поля преобладающе выделяются пилообразные до 200—300 нТл за 15 минут. Аномальные возмущения, как правило, наблюдаются в течение всего светового дня.

В ноябре месяце наблюдения проводились по 15—17 дней ежемесячно. Количество аномальных дней в этот месяц значительно меньше, чем в предыдущий в четыре раза, но они имеют резко возмущенный характер. Региональный максимум возмущений приходится на 15—16 часов, вариационное поле изменяется на 100—150 нТл за 30 минут, в отдельные дни 230—300 нТл за 15 минут (рис. 92). Изменения в основном заключаются в резком пикообразном повышении. Затем наступает смена уровня дневных вариаций в сторону понижения. Для ноябрьских вариаций характерны тройные пикообразные всплески до 50—80 нТл за 6 минут, приуроченные в основном к первой половине светового дня.

Декабрь — слабоаномальный месяц. Из 25—27 дней ежемесячных наблюдений ежегодно только 1—2 дня имеют возбужденный характер. КПК представлены пикообразными локальными группами возмущений магнитного поля интенсивностью до 150 нТл за 20 минут и пилообразными цугами со средней амплитудой отдельных всплесков до 25—35 нТл за 2—3 минуты (рис. 91 а). В основном данный вид колебаний развивается после 15 часов.

Для работы в летнее время в Архангельской провинции наиболее удобны часы так называемых белых ночей. Нами изучены материалы работы МВС за 77 ночей разных лет. Из них только 30% имели относительно спокойный характер вариаций магнитного поля, т. е. благоприятный для производства магниторазведочных работ. Остальные 70% выделялись сложной, резко возмущенной картиной поля вариаций. Для нее характерны бухтообразные возмущения (рис. 90 б) с максимальной амплитудой до 200 нТл за 50 минут и интервалом повторения через 1,5—2 часа. В отдельные ночи подобные возмущения достигали 450 нТл за час. Общий уровень ночных вариаций, как правило, понижен по сравнению с дневными на несколько сотен нТл.

Детальному исследованию подвергалось в первую очередь наиболее аномальное вариационное время, октябрь. Анализировался предпоследний год 22-го цикла солнечной активности, октябрь 1995 года, как граничная временная зона перехода между сменой циклов. В процесс исследования были включены: амплитудно-частотный анализ временных рядов с целью выделения полного спектра колебаний; спектрально-временной (СВАН) анализ высокочастотного интервала с целью выявления КПК в диапазоне до 180 сек. На отстроенных спектрально-временных диаграммах каждый вертикальный столбец представляет собой амплитудный спектр Фурье, рассчитанный в заданном скользящем временном окне. Повторяемость доминирующих ритмов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритмических изменений, об интенсивности процессов можно судить по прилагаемым легендам. Для оценки уровня упорядоченности процесса используется логарифмический параметр числа степеней свободы Фурье-спектра. Изучался характер короткопериодных геомагнитных вариаций по результатам собственных измерений полного вектора напряженности в пределах Примор-

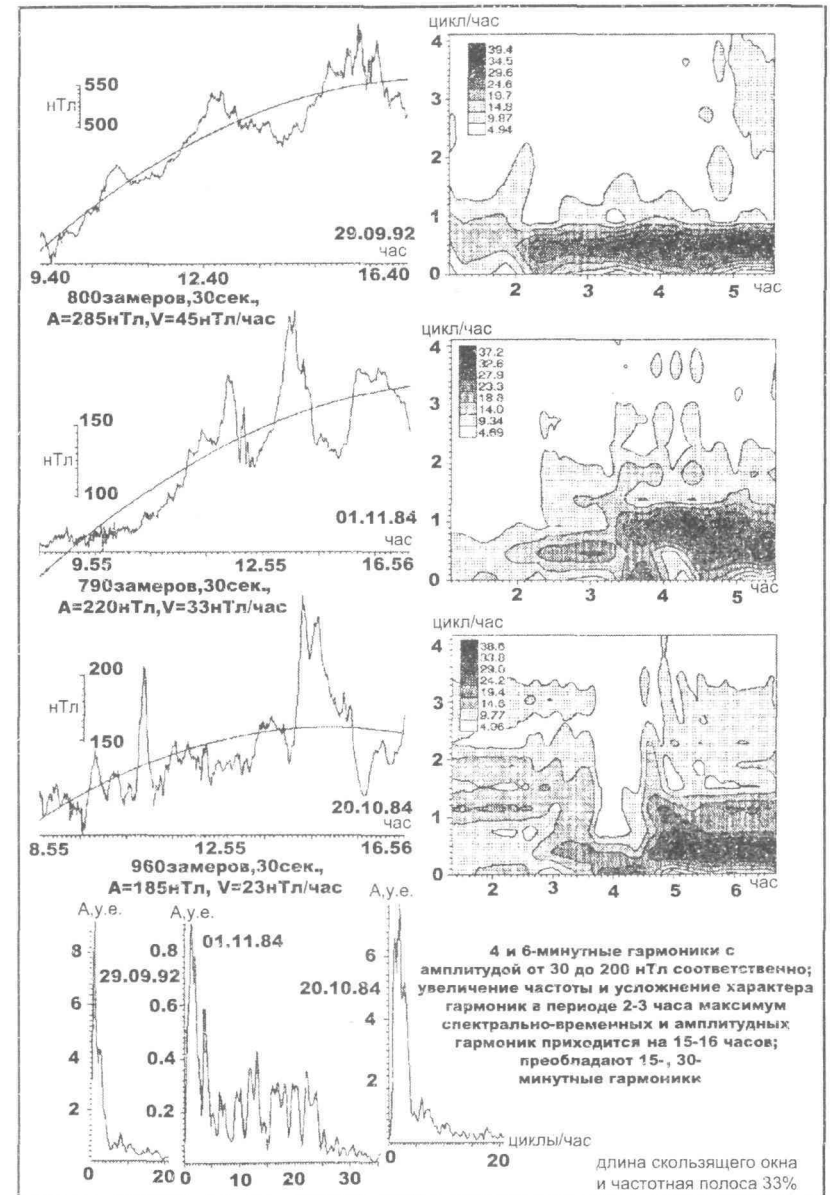


Рис. 92. Характерные формы аномальных вариаций магнитного поля

ского района с использованием пакета программ обработки временных рядов, любезно предоставленных А. Г. Гамбурцевым (Институт физики Земли РАН им. О. Ю. Шмидта).

В детальный анализ включены 17 временных рядов, в среднем по 1580 замеров, через 20 секунд, светлого интервала суток с 8 до 17 часов (период максимальной интенсивности рабочего цикла магниторазведочных работ).

В результате детального анализа временных рядов с учетом регионального уровня 53 200 нТл и снятого квадратичного тренда получена качественная оценка всех присутствующих периодов по ритмам с пятиминутной кратностью. Выявлено максимальное присутствие ритмов 40, 20, и 5 (>20%) с периодами 39, 42, 18, 21, 6 минут (здесь и ниже по тексту перечислены в порядке убывания амплитуды); среднее — 45, 70, 10 (< 20%) с периодами 45, 69, 72, 12 минут и большой набор единичных проявлений: высокоамплитудные (до 30 нТл) — 30, 75, 80, 190 и низкоамплитудные (до 5 нТл) — 100, 115, 35, 15, 130 минут (рис. 93).

На СВАН-диаграммах просматривается аналогичная ритмика с примерно теми же доминирующими периодами. Повторно проявились ритмы: 45, 30, 20, 190, 10, 35, 15 с периодами 45, 46, 30, 31, 18, 20, 22, 188, 11, 12, 36, 13, 14, 15, 16 минут и выделены новые: 180, 90, 60, 25 с периодами 180, 90, 91, 92, 60, 61, 26, 23 минуты. В то же время видно, что степень прослеживаемости у разных частотных составляющих различна. В области периодов от 180 до 60 минут имеется значительная интерференция между соседними колебаниями; среднечастотные колебания с периодом от 60 до 10 минут неустойчивы и малочисленны. Высокочастотная гармоника представила детальный ряд колебаний, характерных для начала (рис. 94.1), середины (рис. 94.2) и конца (рис. 94.3) месяца. Составляющие с периодом 145 и 170 секунд присутствуют в начале и конце месяца, а с периодом 198 и 199 секунд — в середине и конце месяца. Последняя неделя октября ярко обнаружила густую сеть колебаний (рис. 94.3), периоды которых — 98, 105, 124, 131, 145, 167 секунд.

В процессе исследования структуры «аномального времени» было установлено, что в районе рудного объекта «трубчатого типа» усложняется динамика наблюдаемых вариаций геомагнитного поля: возрастает амплитуда короткопериодных колебаний всех типов, увеличивается количество локальных пикообразных импульсов.

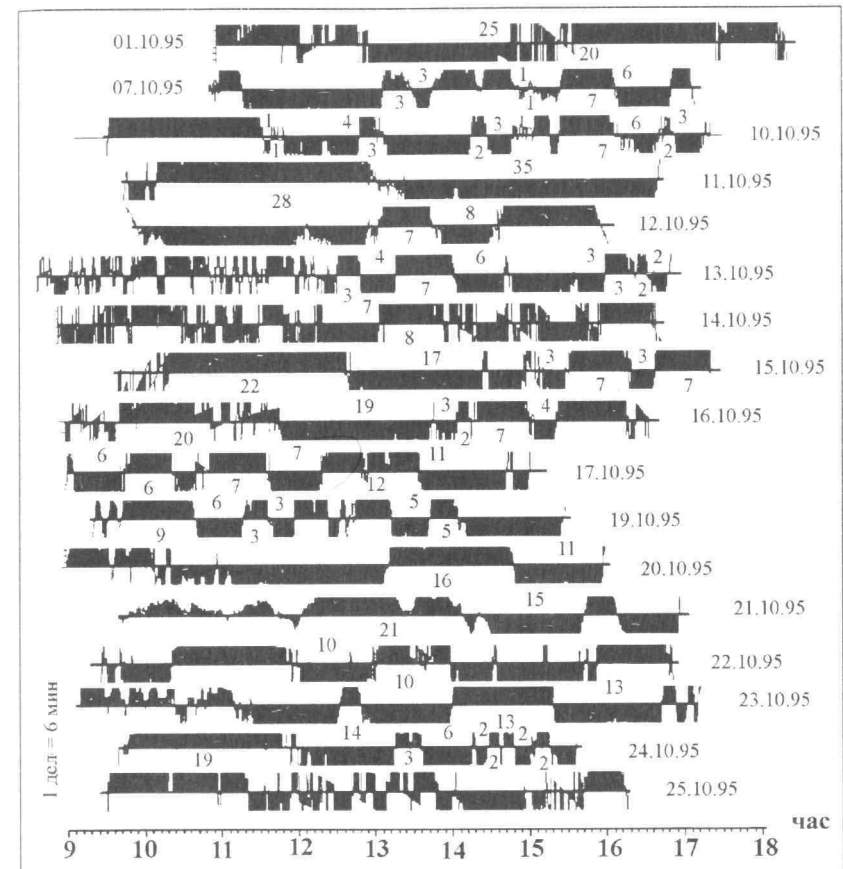


Рис. 93. Периоды во временном масштабе в пределах октября месяца

Суточный ход тех же вариаций характеризует однотипность гармоник как в районе, так и за его пределами. Под «район объекта» принимается площадь окружности тройного радиуса его (объекта) магнитной аномалии. На рис. 87 б приведены графики синхронной работы МВС в пределах одного из рудных объектов (участок Тучкино) и сопредельной с ним площади. Вариации магнитного поля, регистрируемые над объектом, резко отличаются от сопредельных более сложным характером и амплитудами сигнала (в 4—5 раза больше). Отдельные элементы вариаций магнитного поля повторя-

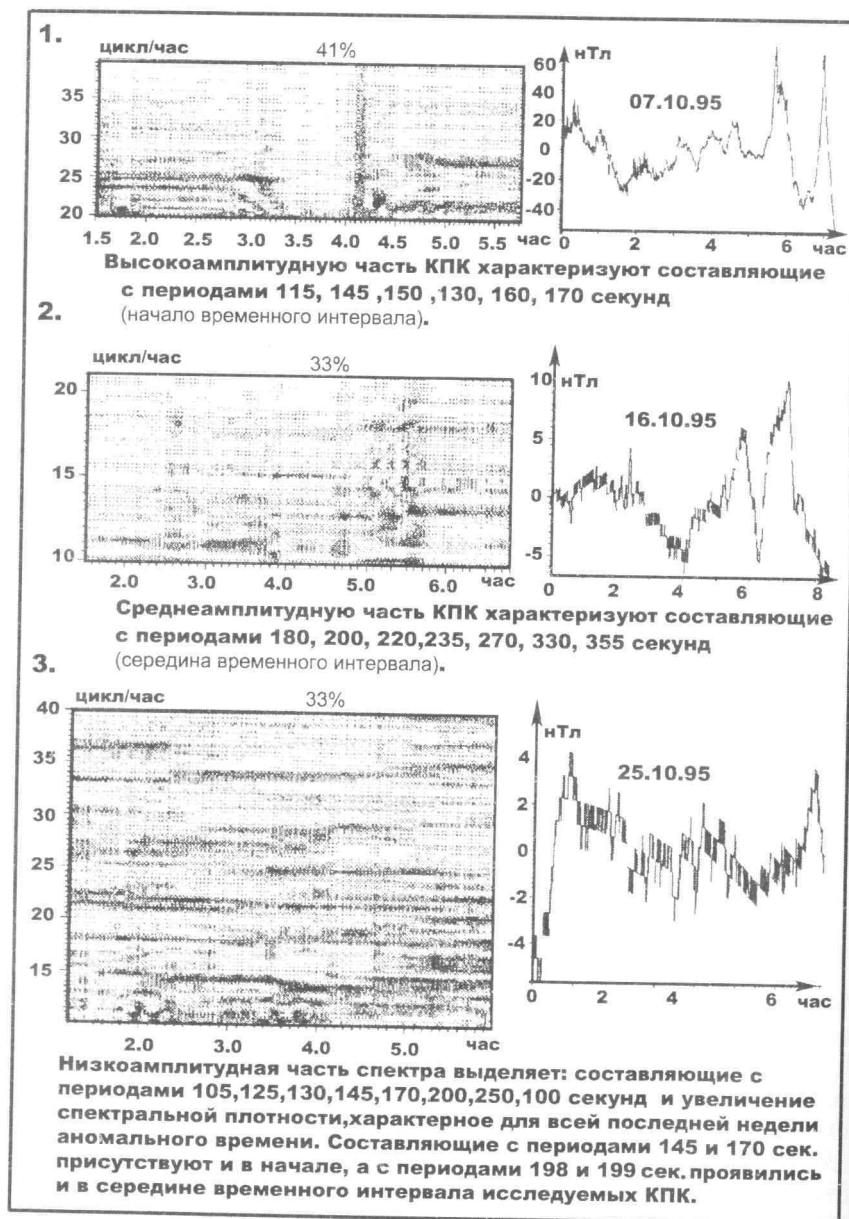


Рис. 94. Временной ряд и СВАН-диаграмма КПК аномального времени

ются на обоих графиках с десятиминутными интервалами смещения во времени. Они, очевидно, характеризуют региональную составляющую спектра вариаций, осложненную локальными аномальными возмущениями. Источник локальных наложенных возмущений, их характерные детали до сих пор исследованы очень слабо, но даже в общих чертах на данном этапе видно, что подобные характерные изменения магнитных вариаций над объектом могут являться дополнительным поисковым и разбраковочным признаком объектов «трубочного типа». Для этого необходимо проводить измерения в дни резких аномальных возмущений магнитного поля по следующей методике: две МВС, одна из которых устанавливается в пределах площади предполагаемого рудного объекта, а другая — в заведомо безрудном (эталонном) месте, но не далее 10 км от первой; предполагаемые временные интервалы устойчивых возмущенных вариаций магнитного поля можно заранее с определенной степенью достоверности прогнозировать по составленной для юго-восточного Беломорья обобщенной модели «магнитного портрета» среднестатистического года с амплитудно-частотными характеристиками каждого месяца (рис. 95), которая регулярно пополняется и систематически уточняется в зависимости от полученных результатов наблюдений и последующей обработки.

Выявленный образ (spectrum) характеризуется устойчивыми низко-, средне- высокочастотными колебаниями в зависимости от периода и иррегулярными пульсациями, обозначенными в таблице как МБ, СВ, ОСВ и НВ возмущения.

МБ — магнитные бури от нескольких часов до 2—3 суток, колебания квазисинусоидальные и неправильной формы с затухающей амплитудой, бухтообразные серии импульсов, различных по фазе и амплитуде. Максимальные значения амплитуд в подобные дни приходятся на 15—16 часов, приращения которых достигают 100—200 нТл за 30 минут, в отдельные дни до 300 нТл за 10—15 минут.

СВ — средние возмущения, колебания пикообразной формы, одиночные до 200—400 нТл продолжительностью до 60—70 минут и неправильные флуктуации, следующие друг за другом, с изменяющимися амплитудами до 80 нТл за 20 секунд.

ОСВ — относительно спокойные возмущения, колебания пилообразной формы, мелкие от 4 до 30 нТл за 30 секунд до 13 минут и 20—60 нТл за 30 минут.

Устойчивые возмущенные вариации магнитного поля				
Время	Низко-	Средне-	Высокочастотные	Иррегуляр
Месяц	нТл/мин	нТл/мин	нТл/мин	
Январь	240/360			ОСВ
Февраль	300/210		180-210/8; 50/до4	ОСВ, МБ
Март	320/180	150/60	50/3-4	СВ, МБ
Апрель	370/360	280/90; 100/60	40-60/2-3; 8/1	ОСВ
Май	600/240		150/15-20 10/3	ОСВ
Июнь	200/510		3-7/2-5	ОСВ, СВ
Июль			40-60/15-20	ОСВ
Август			60/23-24; 20-40/5	ОСВ
Сентябрь		400/60	80-90/25-30; 50/2-3	ОСВ
Октябрь > 50% аномальных дней		180/60	200-320/15; 10/30 8/15; 30/до3	МБ
Ноябрь 10% аномальных дней			230-300/15; 100/30 110/30; 50-80/6	СВ, МБ
Декабрь			150/20; 25-30/2-3	СВ, МБ
«Б. ночи»		450/60, 200/50		НВ

Рис. 95. Обобщенная модель — «магнитный портрет» среднестатистического года для Юго-Восточного Беломорья

НВ — ночные возмущения, колебания бухтообразной формы и неправильные флуктуации минимумов и максимумов с амплитудой до первых сотен нТл за 3—4 часа, осложненные одиночными импульсами до 20 нТл за 4—8 до 15 минут.

Оперативный прогноз возмущений предлагается проводить по прогнозному признаку начала резких аномальных возмущений магнитного поля, выявленного автором в результате анализа материалов высокоточных магнитных измерений 14 календарных лет,

суммарное время наблюдений, включенных в анализ, — 10 740 часов, замеры через 20 секунд, с точностью единичного замера 1,0 нТл. Прогнозный признак состоит в том, что за 10—12 часов до начала резких возмущений появляются регулярные четырехминутные магнитные импульсы с амплитудой до 30 нТл на относительно спокойном общем фоне вариации; через 2—3 часа к ним присоединяются колебания с амплитудой до 160—200 нТл за 6 минут, обе эти гармоники уверенно выявляются прямо на вариограмме без предварительной отстройки графиков; далее частота их увеличивается, характер сигнала усложняется и переходит в так называемую бурю — кратковременные, наиболее интенсивные изменения магнитного поля беспорядочного характера с непрерывно изменяющимися периодами, амплитудами и фазами.

Таким образом, характерные только для высоких широт высокочастотные гармоники спектра колебаний магнитного поля, выраженные кратковременными всплесками на фоне относительно спокойных вариаций магнитного поля и бессистемно развитые в течение всех календарных лет, включенных в анализ, кроме ухудшения качества магниторазведочных работ, несут и полезную информацию. В условиях работы полевых подразделений за 0,5 суток можно прогнозировать наступление неблагоприятного для проведения магниторазведочных работ времени и спланировать работу операторов на разбраковку уже выявленных магнитных аномалий по перспективности согласно предлагаемой выше методике, без дополнительных трудозатрат, т. к. общеизвестно, что аномальные дни — это дни фактического простоя полевых подразделений.

Таким образом, нами предлагается для проверки площади на наличие рудного тела использовать рабочие бригады. Дополнительный поисковый признак формулируется следующим образом: в районе рудного, магнитного и слабомагнитного объекта усложняется картина наблюдаемых вариаций геомагнитного поля — возрастает амплитуда короткопериодных колебаний всех типов, увеличивается количество локальных пикообразных импульсов (рис. 87.1). Суточный ход тех же вариаций характеризует однотипность движения как в районе объекта, так и за его пределами. Район объекта равен площади окружности тройного радиуса его магнитной аномалии.

До недавнего времени роль магниторазведки в выделении тектонических дислокаций осадочного чехла была крайне незначительна. Последний рассматривался как слабо дифференцированное в петромагнитном отношении горизонтально-слоистое образование.

Петрофизические исследования, проведенные в свое время НПО «Рудгеофизика», позволяют иначе взглянуть на эту проблему. Изучение количественной связи открытой пористости (n_0) образцов и других физических параметров показало, что за счет гидрохимических реакций в зонах повышенной трещиноватости и дробления создаются условия для скопления магнитного материала, и этого вполне достаточно для возникновения локальных магнитных аномалий (ЛМА) интенсивностью до 30 нТл.

Являясь поисковыми участками, благоприятными для внедрения трубок взрыва, тектонические узлы, представляя собой вертикальную колонну аномальных петрофизических характеристик во вмещающих осадочных породах, в ряде случаев сами являются одним из источников нескольких классов аномалий-помех: это линейные эрозионно-тектонические структуры, достаточно широко развитые на территории региона, и узлы пересечения разломов. Такие участки могут являться причиной локальных повышений магнитного поля до 10—30 нТл, по интенсивности и морфологии соответствующих аномалиям «трубочного» типа. Они, как и кимберлитовые тела, будут сопровождаться аномалиями повышенной электрической проводимости благодаря увеличению их пористости.

В процессе исследований авторами был зафиксирован факт изменения динамики геомагнитных вариаций, т. е. выявлена способность вертикальных геологических структур глубинного заложения, в частности узлов пересечения одноранговых тектонических нарушений, резко усиливать амплитудно-частотные характеристики короткопериодической составляющей спектра вариаций в момент магнитных бурь (эффект природного диполя, электромагнитное дипольное излучение геопроводящих зон, формирующих особые условия для развития коррозионно-электролитической опасности для размещения путе- и нефтепроводов, инженерных сооружений, освоения месторождений минерального сырья). Авторское определение «геопроводящая зона» детально обосновано в работе (Чистова и др., 2000). Выявленная способность не исключает магнитный частотный резонанс (Чистова, Кутинов, 1999; 2000), который теоретически должен сопровождаться возникновением наведенных теллурических токов и изменением скорости миграции ионов в минерализованных водах. Учитывая аномальный эффект от узлов пересечения разломов, возможны несколько вариантов «искажения» наблюдаемого магнитного поля: 1 — резкое возрастание амплитуды наблюдаемой ЛМА, что делает ее неотличимой от

«трубочной аномалии»; 2 — смещение эпицентра ЛМА, особенно при применении трансформаций; 3 — необнаружение аномалии, выделяемой аэромагниторазведочными работами при проведении детальных наземных работ; 4 — искажение коэффициента угасания ЛМА как разбраковочного критерия.

На рис. 96 приведен фрагмент авторской региональной карты геопроводящих зон, формирующих особые условия, которые приводят не только к «искажению» наблюдаемого магнитного поля, но и к развитию, как указывалось выше по тексту, коррозионно-электрической опасности, недоучет которой, безусловно, приведет к

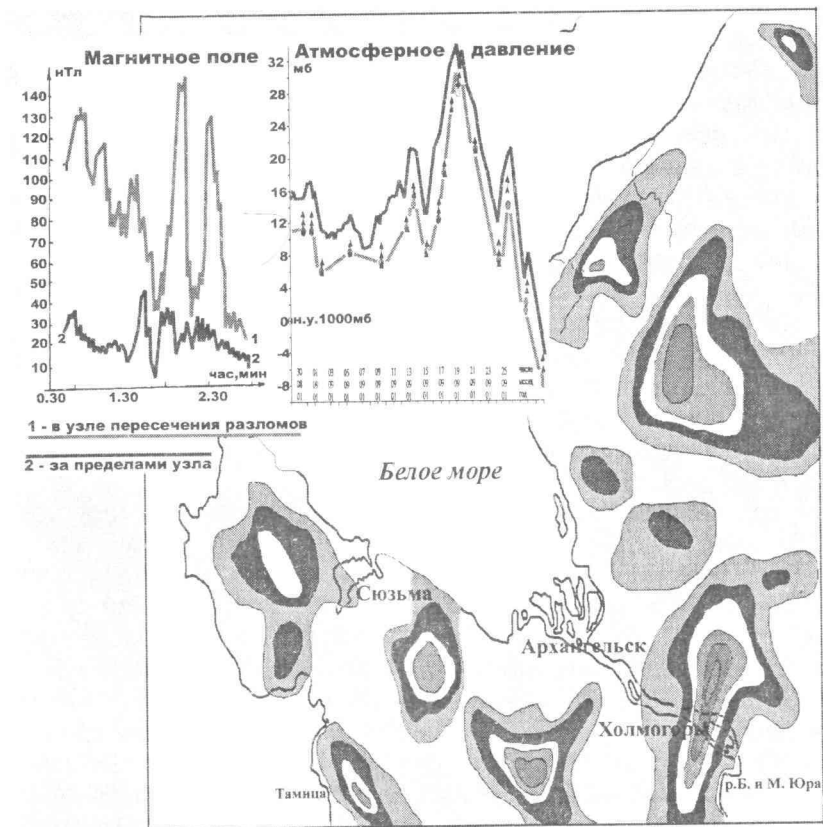


Рис. 96. Фрагмент региональной карты геопроводящих зон Юго-Восточного Беломорья

увеличению числа аварийных ситуаций на путе- и нефтепроводах, инженерных сооружениях (в т. ч. и на планируемых могильниках радиоактивных отходов), а следовательно, представляющей определенный интерес на стадии интенсивного освоения месторождений минерального сырья в Архангельском регионе. В зависимости от решаемых задач авторская методика построения предусматривает отрисовку локальных карт на конкретные площади.

В результате данного исследования на основе анализа временной структуры геомагнитных вариаций, петрофизических моделей трубок взрыва и объектов-«помех» с учетом выявленного ореола повышенной магнитной восприимчивости в околотрубном пространстве авторы утверждают, что повышение достоверности выделения рудоперспективных магнитных аномалий достигается путем использования дополнительных методов и методических приемов, таких, как: 1) микромагнитные исследования, учета изрезанности магнитного поля над объектом и за его пределами в процессе увеличения степени детальности исследования; 2) учет временной структуры геомагнитных вариаций конкретно для высоких широт Архангельской алмазоносной провинции; 3) изучение изменения характера резких аномальных вариаций в районе рудного объекта. Объективность данного утверждения подтверждается обширным фактическим материалом многолетних исследований в пределах Архангельской провинции и сходными результатами, полученными независимыми исследованиями НПО «Рудгеофизика» (наличие ореолов, дисперсия магнитного поля трубок Золотицкого поля) и установленными изменениями характера магнитных вариаций над трубками взрыва в Якутской провинции.

Дальнейшее игнорирование динамических особенностей структуры геомагнитных вариаций в пределах Архангельской алмазоносной провинции, недоучет многочисленных высокочастотных магнитных импульсов, характерных конкретно для данной провинции в силу ее высокоширотного расположения, установленных на основе кондиционного фактического материала многолетних высокоточных измерений и обработанных приемами количественной интерпретации, приведет не только к резкому снижению качества всех видов магниторазведочных работ (а это прямой поисковый метод трубок взрыва), но и сделает невозможным использование дополнительных методических приемов разбраковки выявленных магнитных аномалий, а их сейчас накопилось «несметное» количество, и число их будет расти.

Заключение

В настоящей работе предпринята попытка охарактеризовать основные кимберлитоконтролирующие структуры региона, выделенные и изученные авторами на основе комплексного анализа данных как по докембрийскому фундаменту, так и венд-палеозойскому осадочному чехлу, оценить их роль в локализации кимберлитовых таксонов и дать их геолого-геофизическую характеристику.

В результате проведенных исследований был сделан вывод о главенствующей роли в контроле проявлений кимберлитового магматизма тектонических факторов и выделены конкретные рудоконтролирующие структуры, а также сделан вывод о возможности выделения сквозных малоамплитудных тектонических нарушений осадочного чехла по материалам магнитометрических съемок. При этом наиболее общей моделью является взаимодействие динамопары глубинных дислокаций — глубинного магмоподводящего разлома и поперечных сдвигов, в узлах пересечения которых создаются наиболее благоприятные условия растяжения.

Основное внимание было уделено выделению геологических признаков кимберлитоконтролирующих структур, обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого в геофизических материалах эффекта. На основе анализа характера геофизических полей (данные грави- и магниторазведки, электроразведки и сейсморазведки) выделены закономерности тектонического строения территории и размещения разноранговых кимберлитовых таксонов, позволяющие с новых позиций рассмотреть многие аспекты строения и развития региона.

В целом выполненные комплексные исследования нацелены на выделение дополнительных прогнозных геофизических критериев и поисковых признаков новых проявлений кимберлитового магматизма, что в условиях региона с широким развитием четвертичных отложений и мощным осадочным чехлом будет максимально способствовать повышению достоверности прогноза и поиска кимберлитовых образований в пределах Архангельской алмазоносной провинции на новом этапе исследования.

Авторы отдают себе отчет, что представленная работа отражает лишь одну из сторон многогранного процесса — прогноза и поиска проявлений кимберлитового магматизма. Нами не рассматривались возможности обнаружения кимберлитовых тел мезозойского возраста, хотя такие предпосылки есть, учитывая сходство Канадской и Русской провинций (или единой мегапровинции Лавразии). Не исчерпаны и возможности обнаружения новых алмазонасных тел на территории Зимнебережного кимберлитового района на площадях распространения как палеозойских, так и вендских отложений. В этом процессе немаловажная роль будет принадлежать имитационному моделированию и на его основе прогнозированию новых типов аномалий и геолого-структурных ситуаций, характерных для трубок взрыва. Сделан один из шагов по пути решения проблемы. Полное решение возможно только на пути совместных усилий специалистов разного профиля.

Список литературы

1. Александров С. П., Губайдуллин М. Г. Некоторые особенности детальной магниторазведки при поисковых работах в условиях высокочастотных помех // Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М., 1987. С. 82—87.
2. Антонова И. Б. Выделение структур трубочного типа дистанционными методами // Разв. и охрана недр. 1986. № 2. С. 15—18.
3. Аристов В. В. Поиски полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 253 с.
4. Архангельская алмазонасная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под. ред. О. А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
5. Балакишин Г. Д., Саврасов Д. И. Об эффективности использования наземной магнитной и аэромагнитной съемок при поисках кимберлитовых трубок // Разв. и охрана недр. 1971. № 3. С. 45—50.
6. Башилов В. И. Разломы фундамента Севера Восточно-Европейской платформы, их тектоническое значение и методы выявления // Геология и геохимия Севера Европейской части СССР. М.: Изд-во МГПИ им. Ленина, 1983. С. 104—119.
7. Башилов В. И. Некоторые вопросы использования снимков из космоса для изучения геологического строения закрытых территорий // Проблемы геологии Европейского Севера СССР. М.: Изд-во МГПИ им. Ленина, 1984. С. 55—66.
8. Белов А. В. Определение оптимальных параметров в поисковой сети и оценка надежности прямого подсечения единичных кимберлитовых тел на локальных перспективных участках // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 134—150.
9. Белоусов В. В. Основы геотектоники. М., 1975. 263 с.
10. Белоусов В. В. Основы структурной геологии. М.: Недра, 1985. 207 с.
11. Березовский В. З., Губайдуллин М. Г., Егоркин А. В. и др. Комплексная плотностная модель земной коры Архангельской области // Строение литосферы Балтийского щита. М.: Изд-во РАН, 1993. С. 109—116.
12. Билибина Т. В. Глобальные проблемы металлогении и тектоники докембрия // Сов. геол. 1983. № 6. С. 19—34

13. Бишбина Т. В. Блоковая тектоника и геодинамика земной коры северо-запада Русской платформы и принципы прогнозирования рудоносных структур // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 22—29.
14. Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. 137 с.
15. Богатилов О. А., Кононова В. А., Первое В. А., Карпухина Е. В. Потенциально алмазоносный магматизм севера Восточно-Европейской платформы // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2002. С. 209—225.
16. Богданова С. В., Гафаров Р. А. Состав и строение фундамента восточной части Русской плиты и некоторые особенности становления континентальной коры в раннем докембрии // Тектоника фундамента Восточно-Европейской и Сибирской платформы. Тр. ГИН АН СССР, 1978, вып. 321.
17. Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М: Недра, 1967. 303 с.
18. Брахфогель Ф. Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1984. 126 с.
19. Бродовой В. В. Геофизические исследования в рудных провинциях. М.: Недра, 1984. 268 с.
20. Бродовой В. В. Комплексирование геофизических методов при разведке рудных месторождений // Изв. вузов. Геол. и разведка 1987. № 1. С. 69—75.
21. Бродовой В. В. Внешнее и внутреннее комплексирование методов при геологическом изучении и поисках в свете системного подхода // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1989. № 6. С. 104—111.
22. Бродовой В. В. Особенности и содержание физико-геологического моделирования рудных объектов в свете системного подхода // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1994. № 5. С. 120—129.
23. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и Мира (основы прогнозирования). М: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 371 с.
24. Васильев В. Г., Ковальский В. В., Черский Н. В. Проблемы происхождения алмазов. Якутск: Якутск. кн. изд-во, 1961. 150 с.
25. Вахромеев Г. С., Давыденко А. Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987.
26. Веричев Е. М., Гаранин В. К., Гриб В. П., Кудрявцева Г. П. Геологическое строение и петрологические особенности кимберлитов

- Архангельской провинции // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. № 4. С. 88—94.
27. Винник А. М. О метрических связях между элементами кимберлитового поля // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1992. № 4. С. 71—77.
28. Владимиров Б. М., Твердохлебов В. А., Колесникова Т. П. Геология и петрография изверженных пород юго-западной части Гвинейско-Либерийского щита. М.: Наука, 1971. 242 с.
29. Внутреннее строение рудоносных докембрийских разломов / Ред. И. Н. Томсон. М.: Наука, 1985. 168 с.
30. Воеводова Г. П., Савицкий А. В. Принципы и методика выделения блоков и основных элементов глубинного строения северо-запада Русской платформы // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 5—21.
31. Волчанская И. К., Сапожникова Е. И. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 159 с.
32. Временные методические указания по составлению карт глубинных кимберлитоконтролирующих структур Восточно-Европейской платформы с элементами прогноза районов проявления кимберлитового магматизма м-ба 1:1000000. М., 1985. 26 с.
33. Выручаев В. А. Терромагнитная характеристика брекчий Онежского полуострова // Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М., 1987. С. 112—122.
34. Выручаев В. А. Терромагнитные свойства брекчий трубки им. Ломоносова // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 59—67.
35. Гафаров Р. А. Типы магнитных аномалий и тектоника фундамента Восточно-Европейской платформы // Аномалии геомагнитного поля и глубинное строение земной коры. Матер. междунар. рабочего совещ. Киев: Наук. думка, 1981. С. 38—40.
36. Гендлер Е. В., Белкина И. Л., Берендеев Н. С., Гершаник С. Ю. Использование космических снимков для изучения земной коры Карело-Кольского региона // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 39—52.
37. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. Русская платформа / Ред. В. Д. Наливкин, К. Э. Якобсон. Л.: Недра, 1985. 356 с.
38. Геологические формации осадочного чехла Русской платформы / Под ред. Н. С. Иголкиной. Л.: Недра, 1981. 224 с.

39. Геология и геохронология докембрия Восточно-Европейской платформы / Под ред. С. Б. Лобач-Жученко и Е. Н. Бибиковой. Л.: Наука, 1990. 301 с.
40. Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы / Под ред. В. П. Гриба. М., 1987. 151 с.
41. Геофизические методы поисков и разведки / Под ред. В. П. Захарова. Л.: Недра, 1982. 304 с.
42. Геофизические методы разведки рудных месторождений / Ред. В. В. Бродовой. М.: Недра, 1990. 296 с.
43. Геофизическая характеристика и тектоника нефтегазоносных провинций Средней Азии и Европейской части СССР / Ред. Н. В. Неволин. М.: Недра, 1988. 189 с.
44. *Главатских С. П.* Геохимические критерии и методы поисков алмазоносных кимберлитов (на примере Архангельской кимберлитовой провинции). Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. наук. М., 1992. 211 с.
45. Глубинные исследования недр в СССР // Докл. сов. геол. на XXVIII сессии Междунар. Геол. конгр. Вашингтон, июль 1989 г. Л., 1989. 271 с.
46. *Глуховской М. З., Кац Я. Г., Коген В. С. и др.* Нуклеары докембрийских платформ и некоторые вопросы минерагении // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1988. № 1. С. 58—65.
47. *Гриб В. П.* Новые данные о геологии Архангельской области // Геология и полезные ископаемые Архангельской области. М., 1986. С. 5—20.
48. *Гринсон С. А.* Формирование и размещение кимберлитов восточной части Сибирской платформы в связи с особенностями ее глубинного строения // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. № 3. С. 54—65.
49. *Губайдуллин М. Г., Александров С. П., Фефилятьева Т. В.* К определению элементов залегания магнитовозмущающих объектов бесконечного распределения на глубину // Геология и полезные ископаемые Архангельской области. М., 1986. С. 143—148.
50. *Губайдуллин М. Г., Пестриков В. В.* О возможностях сейсмических методов для решения структурно-поисковых задач в юго-восточном Беломорье // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 151—160.
51. *Губайдуллин М. Г.* Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во ПТУ, 2002. 310 с.

52. *Губерман Ш. А.* Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра, 1987. 261 с.
53. *Губин В. Н., Коркин В. Д.* Геоиндикационный подход к дешифрированию проявлений неотектонических движений // Разведка и охрана недр. 1986. № 1. С. 21—24.
54. *Гусев Г. С., Никишов К. Н., Петров А. Ф.* Новые представления о закономерностях размещения кимберлитовых тел на северо-востоке Сибирской платформы // Корреляция эндогенных процессов Сибирской платформы и ее обрамления. Новосибирск, 1982. С. 37—42.
55. *Дементицкая Р. М.* Кора и мантия Земли. Л.: Недра, 1982. 273 с.
56. *Демура Г. В.* Пути повышения эффективности и разрешающей способности геофизических методов при исследовании рудных полей // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1986. № 10.
57. *Добрынина М. И.* Использование многомерного статистического анализа для разбраковки магнитных аномалий // Геология и полезные ископаемые Архангельской области. М., 1986. С. 149—153.
58. *Добрынина М. И.* Палеорифтовые системы севера Русской плиты по геолого-геофизическим данным. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. наук. Киев, 1991. 18 с.
59. *Духовской А. А., Артамонова Н. А., Беляев Г. М., Никишов К. Н.* Связь кимберлитовых образований со структурами Анабарского мегаблока // Сов. геология. 1986. № 9. С. 79—88.
60. *Духовской А. А.* Региональные закономерности пространственного размещения кимберлитового магматизма Восточной Сибири по геофизическим данным // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 5. С. 1136—1140.
61. *Дэвис Дж. С.* Статистический анализ данных в геологии. Т. 2. М.: Недра, 1990. 427 с.
62. *Жаворонкин В. И.* Ортогональная система разломов Воронежского кристаллического массива по геолого-геофизическим данным // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1989. № 11. С. 10—18.
63. *Зайченко В. Ю., Чернышев Н. М.* Структуры растяжения Сибирской платформы // Геодинамические модели некоторых нефтегазоносных и рудных районов. Л., 1987. С. 10—32.
64. Земная кора восточной части Балтийского щита / Под ред. К. О. Кратца. Л.: Наука, 1987. 230 с.
65. *Иванкин П. Ф., Фельдман А. А., Варламов В. А. и др.* Региональные геолого-геофизические закономерности размещения кимберлитов и принципы районирования Якутской алмазоносной провинции

- // Научные методы прогнозирования поисков и оценки месторождений алмазов. Тезисы докладов. М.: ВИЭМС, 1980. С. 6—8.
66. Изучение тектонических структур / В. Д. Вознесенский, А. Н. Балашов, Н. В. Горлов и др. Л.: Недра, 1984. 287 с.
67. Инструкция по магниторазведке. Л.: Недра, 1981. 263 с.
68. История развития и минерагении чехла Русской платформы / Под ред. Ю. Г. Старицкого. Л.: Недра, 1981. 224 с.
69. Итоги научно-исследовательских работ в области прогнозирования месторождений алмазов / Ваганов В. И., Барышев А. С., Михайлов М. В. и др. Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Матер. IV Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 3—7.
70. *Калинкин М. М., Арзамасцев А. А., Поляков И. В.* Кимберлиты и родственные им породы Кольского региона // Петрология. 1993. Т. 1. № 2. С. 205—214.
71. *Капустин И. Н., Кирюхин Л. Г.* Геологические формации осадочного чехла Восточно-Европейской платформы и их нефтегазоносность // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1987. № 5. С. 16—24.
72. Карта разломов СССР и сопредельных стран. Масштаб 1:2500000. Объяснительная записка. Л., 1982. 56 с.
73. *Кац Я. Г., Поletaев А. И.* Линеаментная тектоника. М.: ВМЭМС, 1984. 43 с.
74. Кимберлиты и кимберлитоподобные породы: Кимберлиты — ультраосновная формация древних платформ / Владимиров Б. М., Соловьева Л. В., Кисилев А. И. и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1990. 264 с.
75. *Клименко В. М., Дубровский В. В., Петрикей Т. А.* Поиски скрытых кимберлитовых тел по ореолам сорбированных газов // Разведка и охрана недр. 1986. № 3. С. 22—27.
76. *Клименко Н. Ф., Митюхин С. И.* Глубинная структура Мало-Ботуобинского алмазоносного района // Глубинное строение и полезные ископаемые Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1985. С. 33—37.
77. *Кнорринг Л. Д., Деч В. Н.* Геологу о математике. Советы по практическому применению. Л.: Недра, 1989. 208 с.
78. *Комогорова Л. Г., Стадник Е. В., Федоров В. И.* Фитогеохимические исследования в контурах кимберлитовых тел // Докл. АН СССР. 1987. Т. 297. № 2. С. 468—470.
79. *Красный Л. И.* Глобальная система геоблоков. М.: Недра, 1984. 224 с.

80. *Крейтер В. М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1969. 383 с.
81. *Кутинов Ю. Г.* О структурно-тектоническом контроле эксплозивных тел Зимнего берега по данным аэроэлектроразведки // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. № 6. С. 118—121.
82. *Кутинов Ю. Г.* Роль систем разломов в формировании тектонических структур Севера Русской плиты и размещении платформенного магматизма // Геология и полезные ископаемые Севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 23—33.
83. *Кутинов Ю. Г.* Роль разломно-блоковой тектоники в контроле размещения алмазоносных объемов недр (кимберлитовые районы и поля юго-восточного Беломорья). Критерии и признаки. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. наук. М.: МГГРИ, 1992. 150 с.
84. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* Геологическое строение западной части низовья Северной Двины по геофизическим данным // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1987. № 11. С. 136—139.
85. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* О возможном проявлении магматизма в протерозойском осадочном чехле в западной части низовья Сев. Двины по геофизическим данным // Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М., 1987. С. 47—52.
86. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* К вопросу разбраковки перспективных геофизических аномалий в геоэкологических условиях юго-восточного Беломорья с целью снижения степени экологического риска // Экологические проблемы европейского Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С. 200—215.
87. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Потов В. П., Юдахин Ф. П.* Отдельные аспекты геодинамики Фенно-Скандии // Геодинамика и геоэкология. Матер. Междунар. конфер. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 1999. С. 200—202.
88. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург: УрО РАН. 2001. С. 68—112.
89. *Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* Поиски трубок взрыва в Архангельской алмазоносной провинции // Геофизика. 2002. № 1. С. 71—76.
90. *Лехи К., Тэйлор Р.* Влияние глубинной структуры региона Глени на алмазы в кимберлитах Саскачевана // Геол. и геофиз. 1997. Т. 38. № 2. С. 451—460.
91. *Литвиненко И. В.* Особенности глубинного разреза земной коры северо-западной части Кольского полуострова и южной части

Баренцева моря // Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита. Л., 1968. С. 90—96.

92. Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 408 с.

93. Лобацкая Р. М. О некоторых количественных характеристиках разломов в связи с особенностями их структурной организации // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1987. № 10. С. 3—12.

94. Любомиров Б. Н. Гидрогеологические условия севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и основные направления дальнейшего изучения // Нефтегазоносность северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар, 1977. С. 108—113.

95. Магматизм и металлогения рифтогенных систем восточной части Балтийского щита / А. Д. Щеглов, В. Н. Москалева, Б. А. Марковский и др. СПб.: Недра, 1993. 244 с.

96. Малое А. И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 234 с.

97. Мальков Б. А., Холопова Е. Б. Трубки взрыва и алмазоносные россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 1995. 52 с.

98. Макаров В. И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. 1996. Вып. 13. С. 53—60.

99. Металлогения скрытых линеаментов и концентрических структур / Томсон И. Н., Кравцов В. С., Кочнева Н. Т. и др. М.: Недра, 1984. 272 с.

100. Металлогения восточной части Балтийского щита / Ред. А. В. Сидоренко, Т. В. Билибина. М.: Недра, 1980. 247 с.

101. Методические рекомендации по крупномасштабным магнитным и гравиметрическим съемкам при поисках кимберлитовых тел в условиях развития траппов Западной Якутии / Под ред. Б. Д. Микова. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1986. 120 с.

102. Милашев В. А. Структуры кимберлитовых полей. Л.: Недра, 1979. 183 с.

103. Милашев В. А., Соколова В. П. Мегатрещиноватость земной коры и структурные границы кимберлитовых полей // Геол. и геофиз. 1984. № 10. С. 133—140.

104. Милашев В. А. Трубки взрыва. Л.: Недра, 1984. 268 с.

105. Милашев В. А. Кимберлиты и глубинная геология. Л.: Недра, 1990. 167 с.

106. Молчанов Ю. Д., Саврасов Д. И. Физико-геологическая характеристика кимберлитоконтролирующих разломов Мирнинского кимберлитового поля // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Новосибирск, 1985. С. 78—91.

107. Невская Н. М., Дедеев В. А. Геотермические и гидродинамические особенности чехла Печорской синеклизы и их связь с эндогенными процессами // Прогнозирование нефтегазоносности по гидрогеологическим данным. Л., 1973. С. 63—69.

108. Никитин А. А. Основные аспекты теории и практики комплексирования геофизических методов // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1987, № 1. С. 94—105.

109. Никитин А. А., Чэнь Юйдун. Применение метода главных компонент для количественной интерпретации потенциальных полей // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1992. № 4. С. 128—134.

ПО. Никитин Б. М. Деформации вмещающих пород при формировании кимберлитовых трубок // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 11. С. 41—49.

111. Никитин В. Г., Смирнов Ю. Д., Якобсон К. Э. Основные этапы формирования осадочного чехла севера Русской платформы // Геология и полезные ископаемые Архангельской области. М., 1986. С. 33—43.

112. Никишов К. Н. Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука, 1984. 213 с.

113. Никулин В. И. Методология прогноза районов эндогенной алмазоносности // Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Матер. Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 155—157.

114. Основные направления геологоразведочных работ на алмазы на Русской платформе и ее складчатом обрамлении / Михайлов М. В., Гриб В. П., Зильберман А. М. и др. Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Матер. Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 57—62.

115. Основные проблемы геологического строения Русской плиты / Кратц К. О., Берковский А. Н., Бондаренко Л. П. и др. Л.: Наука, 1979. 120 с.

116. Очерки по геологии и полезным ископаемым Архангельской области / Отв. ред. Р. М. Галимзянов. Архангельск: Изд-во ПТУ, 2000. 192 с.

117. Парсадян К. С., Кононова В. А., Богатиков О. А. Источник гетерогенного магматизма Архангельской алмазоносной провинции // Петрология. 1996. Т. 4. № 5. С. 496—517.

118. *Пейве А. В.* Общая характеристика, классификация и пространственное расположение глубинных разломов. Главнейшие типы глубинных разломов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 1. С. 3—13.
119. *Посеев В. И., Никулин В. И.* Выделение и оконтуривание кимберлитовых районов Западной Якутии по комплексу глубинных методов (ГМТЗ, ГСЗ, гравиметрия, петрология) // Научные методы прогнозирования поисков и оценки месторождений алмазов. М.: ВИЭМС, 1980. С. 116—117.
120. *Прокопчук Б. И.* Методы поисков алмазных месторождений за рубежом. М., 1982. 35 с.
121. *Родионов А. Н., Ключников В. И., Леонтьев И. А.* О геологической природе аномалий проводимости эруптивного объекта // Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М, 1987. С. 64—72.
122. *Саблуков С. М.* К вопросу о фазах формирования и возрасте трубок взрыва Онежского полуострова // ДАН СССР. 1984. Т. 277. № 1. С. 168—170.
123. *Саблуков С. М.* О петрохимических сериях кимберлитовых пород // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 4. С. 935—939.
124. *Саблуков С. М.* Вулканизм Зимнего берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ЦНИГРИ, 1995. 24 с.
125. *Савицкий А. В., Афанасьева Е. Н., Гукасян Г. О.* и др. Разрывные нарушения северо-запада Русской платформы и их металлогеническое значение // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности северо-запада Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 39—52.
126. *Саврасов Д. И.* Слабомагнитные кимберлитовые тела и предпосылки их обнаружения магниторазведкой // Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск: ЯФ АН СССР, 1976. С. 87—96.
127. *Салон Л. И.* Геологическое строение Земли в докембрии. Л.: Недра, 1982. 343 с.
128. *Сарсадских Н. Н.* Региональные и локальные закономерности размещения эндогенных месторождений алмаза. Л.: Недра, 1973. 68 с.
129. *Светов Б. С.* Теоретико-информационные основы повышения эффективности и разрешающей способности геофизических методов // Математические методы и автоматизированные системы в геологии. М.: Геоинформмарк, 1992.

130. *Серокуров Ю. Н., Мельникова Н. Д., Калмыков В. Д. и др.* Особенности выявления Зимнебережной алмазоносной площади по результатам дешифрирования космических снимков // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1992. № 4. С. 54—61.
131. *Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д.* Структурная позиция кимберлитов на Сибирской платформе по данным изучения космических материалов // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1994. № 5. С. 74—80.
132. *Синицын А. В.* Региональная тектоника и металлогения раннего докембрия. Л.: Недра, 1990. 491 с.
133. *Синицын А. В., Ермолаева Л. А., Станковский А. Ф. и др.* О мезозойской тектонической и магматической активизации северной части Русской плиты // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 6. С. 39—52.
134. *Скороспелкин С. А.* Геотектоническое развитие и перспективы алмазоносности северной части Восточно-Европейской платформы // Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Материалы IV Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 78—80.
135. *Соболев В. К., Клюев Ю. А. и др.* Структурный типоморфизм Северо-Европейских алмазов // Докл. АН СССР. 1983. Т. 269. № 1. С. 200—204.
136. *Соболев В. К.* Проблема коренных источников алмазов (природа и особенности поисков по минералам-индикаторам на примере территории Архангельской области) // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 68—100.
137. *Солдатов В. С.* Региональная трещиноватость центральной части Московской синеклизы, ее геологическое и поисковое значение // Геология и полезные ископаемые центральных районов Восточно-Европейской платформы. Матер. совещания. М., 1986. С. 101—110.
138. *Сорохтин О. Г.* Тектоника литосферных плит и происхождение алмазоносных кимберлитов. М.: ВИЭМС, 1985. 47 с.
139. *Станковский А. Ф.* Венд Юго-Восточного Беломорья // Разведка и охрана недр. 1997. № 5. С. 4—9.
140. *Станковский А. Ф., Веричев Е. М., Гриб В. П. и др.* Венд юго-восточного Беломорья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 2. С. 78—87.
141. *Станковский А. Ф., Веричев Е. М., Гриб В. П.* и др. Новый тип магматизма в венде на севере Русской платформы // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 6. С. 1456—1460.
142. *Станковский А. Ф., Якобсон К. Э.* Структура фундамента и осадочного чехла Юго-Восточного Беломорья // Блоковая тектоника и

- перспективы рудоносности северо-запада Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 75—81.
143. Строение литосферы Балтийского щита. М: Изд-во РАН, 1993. 166 с.
144. Структура платформенного чехла европейского Севера СССР / Под ред. В. А. Дедеева. Л.: Наука, 1982. 200 с.
145. Сычев П. М. Аномальные зоны в верхней мантии, механизм их образования и роль в развитии структур земной коры // Тихоокеан. геол. 1985. № 6. С. 25—35.
146. Суворов В. Д., Крейнин А. Б., Селезнев В. С. и др. Глубинные сейсмические исследования по профилю Олгуйдах-Мирный-Ленск // Геол. и геоф. 1983. № 9. С. 72—80.
147. Тектоно-магматические факторы концентрации оруденения / Ред. М. А. Фаворская. М.: Наука, 1988. 231 с.
148. Трофимов В. С. Закономерности размещения и образования алмазных месторождений. М.: Недра, 1967. 299 с.
149. Трофимов В. С. Геология месторождений природных алмазов. М.: Недра, 1980. 303 с.
150. Тяпкин К. Ф., Кивелюк Т. Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1982. 239 с.
151. Тяпкин К. Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. Киев: Наук. думка. 1986. 168 с.
152. Фельдман А. А. Роль глубинного строения восточной части Сибирской платформы в размещении кимберлитового магматизма // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1989. № 7. С. 44—51.
153. Фельдман А. А., Олофинский Л. Н. Структурно-геофизические обстановки размещения кимберлитовых полей на древних платформах. Ст. 1 // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. № 7. С. 67—83.
154. Францессон Е. В. Петрология кимберлитов. М.: Недра, 1968. 198 с.
155. Хаин В. Е., Божко Н. А. Историческая геотектоника. М.: Недра, 1988.
156. Хаин В. Е., Михайлов А. Е. Общая геотектоника, М.: Недра, 1985. 326 с.
157. Хелмштедт Х. Х., Герни Дж. Дж. Геодинамический контроль кимберлитов — какую роль играют горячие точки и плитная тектоника // Геол. и геофиз. 1997. Т. 38. № 2. С. 461—476.
158. Хомич П. З., Никитин Е. А., Гришко А. И. и др. Новая кимберлит-лампроитовая провинция на западе Восточно-Европейской

- платформы и направления геологических работ по оценке ее алмазности // Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы. Матер, IV Всесоюз. совещания. Иркутск, 1990. С. 80—83.
159. Цыганов В. А., Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П. О проблеме оценки генеральной совокупности по неслучайным выборкам (на примере индикационных характеристик кимберлитов) // Докл. АН СССР. 1988. Вып. 301. С. 672—677.
160. Цыганов В. А., Микоев И. И., Черный С. Д. Локальные критерии структурного контроля кимберлитового магматизма Западной Якутии // Сов. геол. 1988. № 7. С. 36—46.
161. Четвериков Л. И. Геокинематика, или геометрия развития геологических структур // Идея развития в геологии: вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 294—301.
162. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г., Губайдуллин М. Г. Некоторые закономерности проявления трубок взрыва в геофизических полях на северо-восточном борту Онежского грабена // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1990. № 4. С. 108—115.
163. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г., Иерархический ряд проявлений кимберлитового магматизма и их отражение в геолого-геофизических материалах // Геофизика. 1997. № 3. С. 62—66.
164. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г. Геомагнитные вариации и деформационные поля земной коры. Геоэкологические аспекты // Геодинамика и геоэкология. Матер. междунар. конферен. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 1999. С. 403-405.
165. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г. Пространственно-временная структура геомагнитных вариаций - неотъемлемая часть экологических исследований // Север: экология. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. С. 388—405.
166. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г., Афанасова Т. Б. Возмущенные вариации магнитного поля высоких широт: геоэкологические аспекты Геофизический вестник. 2000. № 8. С. 6—15.
167. Чистова З. Б. Выявление геофизических признаков рудного поля, куста и трубки взрыва с целью совершенствования методики поисков коренных источников алмазов на Русском Севере // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР, Архангельск, 1991. С. 161—171.
169. Чистова З. Б. Система геофизических исследований с целью прогноза и поиска кимберлитовых образований в пределах Архан-

гельской (Русской) алмазонасной провинции. Автореф. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. наук. М.: МГГА, 1996. 25 с.

170. Чистова З. Б. Геомагнитные вариации в пределах Архангельской алмазонасной провинции // Сырьевая база России в XXI веке. Матер. конфер. М.: ВНИИОЭНГ, 2002. С. 451—465.

171. Щеглов А. Д. Эндогенная металлогения и тектоносфера // Геотектоника. 1990. № 5.

172. Шукин В. С., Ефремов И. В., Гриб В. П. Новые данные о геологическом строении междуречья Северной Двины и Пинеги // Тр. ЦНИГРИ. 1984. Вып. 188. С. 33—39.

173. Шукин В. С., Колодько А. А., Саблукова С. М. и др. Позднедевонский вулканизм на Юго-Восточном Беломорье Архангельской области // Сырьевая база России в XXI веке. Матер. конфер. М.: ВНИИОЭНГ, 2002. С. 484—499.

174. Шукин В. #., Минорин В. Е., Харьков А. Д. Тектонический контроль, стадийность формирования и алмазонасность кимберлитов Мало-Ботуобинского района // Рудообразование и его связь с магматизмом. М.: Наука, 1972. С. 171—177.

175. Юдахин Ф. И., Шукин Ю. К., Макаров В. И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН. 2003. 299 с.

176. Яковлев Г. Ф. Тектоно-плутогенные структуры рудных полей и месторождений // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1987. № 11. С. 57—65.

177. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977.

178. Anderson O. L., Perkins P. S. A plate tectonic mode! involving non laminar asthenospheric flow to account for irregular patterns of magmatism in Southwestern United States // Phys. Chem. Earth. 1975. V. 9. P. 421—441.

179. Bardet M. G. La geologie du diamant: Mem. B. R. G. M., Paris, 1974. V. 1, 2.

180. Clifford T. N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth Planet. Sci. Lett. 1966. № 1. P. 421—434.

181. Crockett R. N., Mason R. Foci of mantle disturbance in Southern Africa and economic significance II Econ. Geol. 1988. V. 63. № 5. P. 569—580.

182. Crough T. S., Morgan W. /., Hargraves R. B. Kimberlites: their relation to mantle hotspots // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. Vol. 50.

183. Haggerty S. E. Kimberlites in Western Liberia. 1. Generalized tectonic framework and model for the regional distribution of kimberlites // Kimb. Symp. II. —1979. P. 39—45.

184. Dawson B. The structural setting of African kimberlite magmatism. — In.: African magmatism and tectonics. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1970. P. 321—335.

185. Gaal G., Gorbachev R. An outline of the precambrian evolution of the Baltic Shield // Precambrian Research. 1987. V. 3. P. 287—318.

186. Kutinov Y. G. Main directions of scientific researches of the Arctic region // A Common Approach to Collaborative Technological Research for Arctic development. Proceeding of the Joint EU-Russia-Canada-USA Workshop. Brussels. Belgium, 2002. P. 173—186

187. Mahotkin I. I., Gibson S. A., Thompson R. N. et al. Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in Arkhangelsk region, NW Russia // J. Petrol. 2000. V. 41. № 2. P. 210—227.

188. Parrish I. B., Levin P. M. Tectonic model for kimberlite emplacement in the Appalachia Plateau of Pennsylvania // Geol. 1982. Vol. 10.

189. Sharp W. E. A plate tectonic origin for diamond-bearing kimberlites // Earth Planet. Sci. Lett. 1974. V. 21. P. 351—354.

190. Steward I. C., Keen C. E. Anomalous upper mantle structure beneath the Cretaceous Fogo seamounts indicated by P-wave reflection delays // Nature. 1978. V. 274. № 5673. P. 1111—1119.

191. Sykes L. R. Jitraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism and other tectonism post dating continental fragmentation // Rev. Geophys. Space Phys. 1978. Vol. 16.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Геолого-геофизическая характеристика района	8
1.1. Геологическая характеристика района	9
1.2. Магматизм.....	28
1.3. Физические свойства пород.....	36
Глава 2. Состояние проблемы: обобщение и критический анализ полученных результатов	40
2.1. Вопросы структурного контроля и локализации кимберлитового магматизма.....	42
2.2. Анализ достоверности выделения аномалий.....	57
2.3. Обзор состояния применяемых приемов моделирования	68
Глава 3. Иерархический ряд проявлений кимберлитового магматизма и их отражение в геолого-геофизических материалах	91
3.1. Методика тектонического районирования региона	93
3.2. Свойства разломов, методики выделения разломных структур.....	97
3.2.1. Методика обработки топоматериалов	НО
3.2.2. Составление структурно-тектонической карты района.....	115
3.2.3. Составление карты геометрического прогноза	118
3.2.4. Методика обработки геохимических данных	122
3.3. Региональные геолого-геофизические критерии	126
3.4. Среднемасштабные геолого-геофизические критерии	138
3.5. Локальные геолого-геофизические критерии.....	158
Глава 4. Трубки взрыва Архангельской алмазонасной провинции и их характеристики в геофизических полях	175
4.1. Анализ поисковых предпосылок и признаков трубок взрыва.....	181
4.1.1. Стратиграфические предпосылки.....	181
4.1.2. Минералогические предпосылки и признаки	182
4.1.3. Геохимические предпосылки и признаки.....	183
4.1.4. Геоморфологические предпосылки и признаки	187
4.1.5. «Геометрические» признаки.....	188
4.1.6. Структурно-тектонические критерии и предпосылки	189
4.2. Геофизические предпосылки и признаки трубок взрыва как объектов поисков и разведки.....	205

4.2.1. Основные геофизические признаки.....	205
4.2.2. Характеристика объектов-«помех».....	222
4.3. Дополнительные методические приемы разбраковки аномалий по перспективности.....	237
4.3.1. Изучение характера дисперсии магнитного поля над объектом.....	237
4.3.2. Изучение полной временной картины магнитовариационного поля региона.....	239
Заключение	265
Список литературы	267

Научное издание

Кутинов Юрий Григорьевич, Чистова Зинаида Борисовна

**ИЕРАРХИЧЕСКИЙ РЯД ПРОЯВЛЕНИЙ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРА-
ОСНОВНОГО МАГМАТИЗМА АРХАНГЕЛЬСКОЙ
АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.
ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ**

Монография

Рекомендована к изданию
Ученым советом Института экологических проблем Севера УрО РАН

Подписано в печать 12.11.2004.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 16,74. Печать офсетная.
Тираж 1000 экз. Заказ 3168

Институт экологических проблем Севера УрО РАН
163061, Архангельск, наб. Северной Двины, 23

ОАО «Издательско-полиграфическое предприятие «Правда Севера»
163002, г. Архангельск, пр. Новгородский, 32



КУТИНОВ

Юрий Григорьевич

(13.01.1956 г.р.)

Доктор геолого-минералогических наук. Закончил геологоразведочный факультет Московского геологоразведочного института. Специальность: геология и разведка месторождений полезных ископаемых (диплом Г-1 № 912466); геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений (диплом ДВА № 086936).

Квалификация: горный инженер геолог. С 1979 по 1994 г. работал в ПГО «Архангельскгеология», один из авторов 13 производственных отчетов, посвященных поискам и прогнозу кимберлитового магматизма. В настоящее время — директор института экологических проблем Севера, Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск; член Европейского геофизического общества, Арктической рабочей группы Евросоюза, Объединенного Совета наук о Земле УрО РАН, редакционного совета журнала «Экономика и экология». Автор более 70 научных публикаций. Область научных интересов: Арктический сегмент земной коры (геодинамика, геоэкология, ГИС-технологии).



ЧИСТОВА

Зинаида Борисовна

(03.10.1951 г.р.)

Кандидат геолого-минералогических наук. Закончила геофизический факультет Московского геологоразведочного института. Специальность: геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (диплом Б-1 № 409988); прикладная математика и вычислительная техника (диплом ДВА № 138340).

Квалификация: горный инженер геофизик. С 1977 по 1994 г. работала в ПГО «Архангельскгеология», одна из авторов 7 производственных отчетов, посвященных геофизическим методам поисков коренных источников алмазов. В настоящее время — заведующий лаборатории Глубинного геологического строения и динамики литосферы ИЭПС УрО РАН, член Европейского геофизического общества. Автор 41 научной публикации. Область научных интересов: север Русской плиты (магнитосфера, атмосфера, экофизиология, геоэкология).