

На правах рукописи

МЯСНИКОВ ФЕДОР ВАСИЛЬЕВИЧ

**Прогнозирование коренных алмазных месторождений на основе
статистического анализа геолого-минералогических данных**
(на примере закрытой территории Мало-Ботуобинского района Республики Саха–Якутия)

Специальность:

25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2009

Работа выполнена в Межрегиональном центре по геологической картографии (ГЕОКАРТ).

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Межеловский Николай Васильевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Игнатов Петр Алексеевич

доктор геолого-минералогических наук
Афанасьев Валентин Петрович

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт цветных и
благородных металлов» (ЦНИГРИ)

Защита диссертации состоится 19 ноября 2009 года в аудитории 5-53 на заседании диссертационного Совета Д.212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по адресу:
117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан 17 октября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Бобков А.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Шлихоминералогический метод является важным и эффективным методом поисков алмазных месторождений, как на площадях простого геологического строения, так и на закрытых территориях. Переход на опосредованное освоение закрытых территорий приводит к необходимости разработки новых и усовершенствованию принятых в алмазопромышленной геологии методических приемов, способов обработки и анализа минералогической информации. Информация о минералах-спутниках алмазов (далее – МСА), которая остается главным предметом изучения по своей природе и из-за выборочного способа опробования является статистической и многомерной. Это обстоятельство и ранее определяло, а из-за концентрации работ в настоящее время на закрытых территориях еще в большей степени обуславливает необходимость применения вероятностно-статистических методов для обработки, анализа и представления многомерной минералогической информации. Проблема актуальна и для работ, проводимых в Мало-Ботуобинском районе Западной Якутии (рис. 1).

Цель работы и постановка задачи

Цель работы состоит в повышении геологической эффективности шлихоминералогического метода поисков алмазных месторождений на закрытых территориях посредством системного применения статистических методов обработки, интерпретации, анализа и представления шлихоминералогической и общегеологической информации. Конкретная задача исследований состояла в установлении природы верхнепалеозойских ореолов рассеяния МСА в северо-западной части Мало-Ботуобинского алмазоносного района и, на основе этого, оценке перспектив коренной алмазоносности в пределах Чернышевско-Лапчанской (далее – ЧЛП) и Ирелях-Чайдахской (далее – ИЧП) площадей. Изучение ореолов было направлено на их сравнительный пространственно-статистический анализ, установление общности и отличий, классификацию ореолов, выявление направлений их переноса и удаленности областей питания, анализ изменчивости типоморфных признаков МСА с расстоянием.

Выбор объектов исследования и фактический материал

Объектами исследования являлась территория северо-западной части Мало-Ботуобинского алмазоносного района (далее – МБР), шлиховые ореолы рассеяния МСА, выявленные в коллекторах юрского верхнепалеозойского возраста на территории исследований по результатам работ Чернышевской и Ботуобинской геологоразведочных экспедиций. Для исследований привлекались данные сокращенного полуколичественного минералогического анализа проб. Использовались также количественные характеристики современного положения структурных поверхностей нижнепалеозойского основания, погребенного рельефа нижнепалеозойского основания, данные о положении реперных поверхностей в толще верхнепалеозойских отложений.

В основу работы положены исследования автора, выполненные в составе Чернышевской экспедиции при поисковых работах в Западной Якутии.

Задачи исследования

1). Оценка статистических параметров ореолов МСА, характера и вида изменчивости типоморфных признаков с удаленностью от источников питания на примере изучения юрских ореолов Мирнинского поля. Построение множественных регрессионных моделей изменчивости типоморфизма в экзогенных условиях и на основе этого оценка удаленности ореолов ближнего сноса от областей их питания.

2). Оценка характера и вида изменчивости типоморфных признаков с удаленностью от источников питания на примере изучения ореолов среднего и дальнего сноса ИЧП. Построение множественной регрессионной модели изменчивости типоморфизма в экзогенных условиях и на основе этого характеристика ореолов данной площади с оценкой их пространственно-генетической связи с Мирнинским полем.

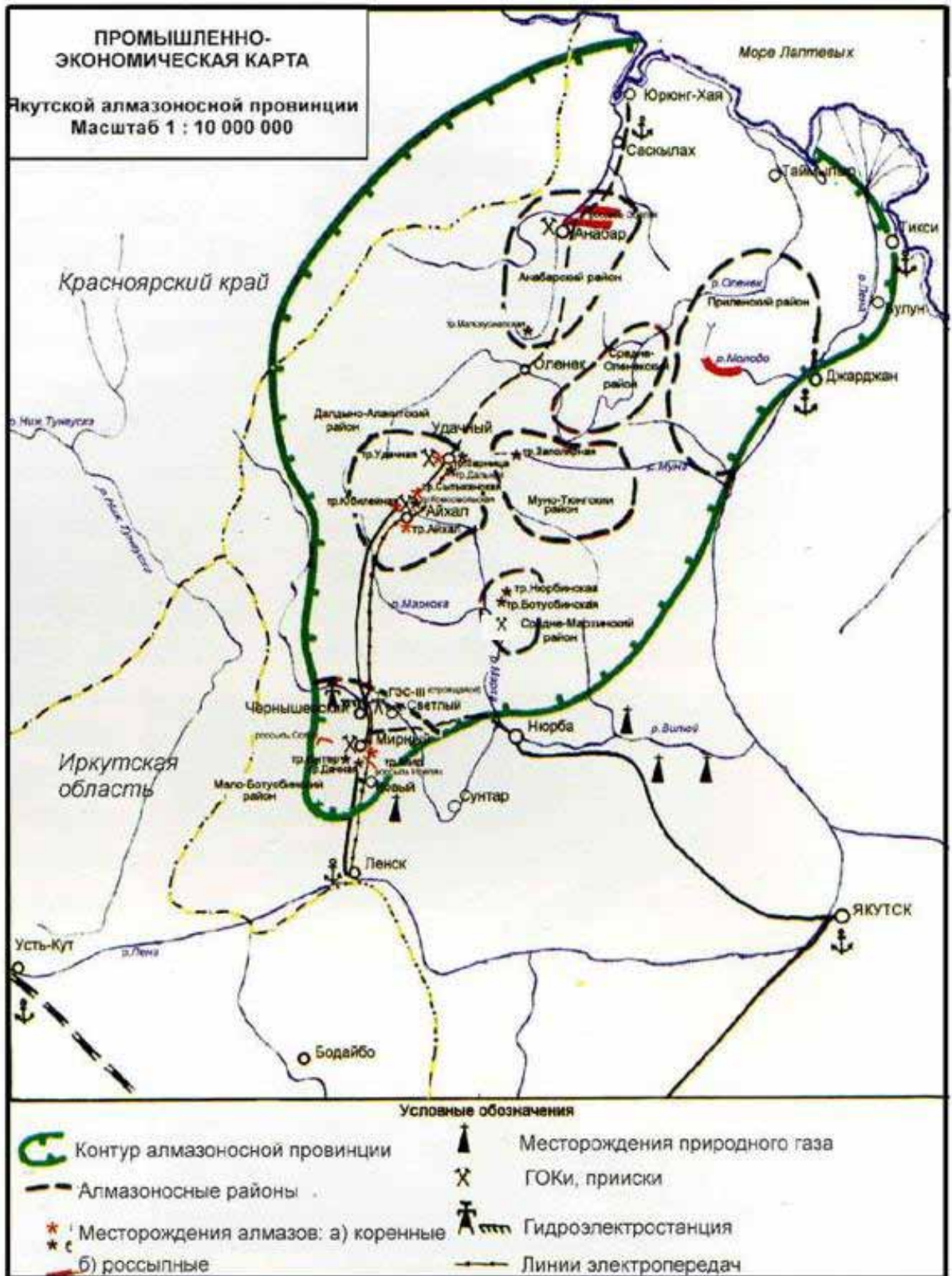


Рис. 1

3). Установление в многопризнаковом пространстве типоморфных свойств ореолов ИЧП и ЧЛП их кластерной структуры, оценка уровня и характера разделения ореолов на основе функции дискриминации, оценка удаленности ореолов до источников их питания, изучение сходства и различий шлиховых ореолов этих площадей.

4). Разработка новых приемов и подходов, алгоритмов и компьютерной технологии обработки минералогической информации на закрытых территориях.

5). Разработка эмпирико-статистических моделей современных и ранее существовавших взаимосвязей реперных поверхностей и палеорельефа нижнепалеозойского основания, реперных поверхностей верхнепалеозойских отложений и типоморфных особенностей МСА ореолов из древних коллекторов и осуществление на их основе разномасштабных палеогеологических построений с выходом на прогнозно-поисковые выводы.

Методы исследования

- систематизация и анализ фондовых и литературных материалов по вопросу применения статистических методов в алмазописковой геологии;
- изучение и анализ методики и опыта шлихового опробования при поисковых работах на открытых и закрытых территориях, способов обработки и представления минералогических данных о типоморфизме МСА;
- изучение и анализ опыта проведения палеотектонических реконструкций;
- систематизация минералогических данных, разработка структуры и создание компьютерных баз данных шлихоминералогического опробования МСА;
- разработка алгоритмов и общей компьютерной технологии обработки, анализа и представления шлихоминералогических данных;
- аналитические исследования и расчеты распределений типоморфных особенностей МСА, их изменчивости и т.д. из верхнепалеозойских и юрских коллекторов по площадям, группам ореолов, по всей исследуемой территории;
- создание эмпирико-статистических моделей типоморфизма МСА, ряда геологических поверхностей кимберлитовмещающего субстрата и перекрывающей верхнепалеозойской толщи и моделей взаимосвязи геолого-минералогических переменных и геологических процессов на территории исследований.

Решение поставленных задач осуществлялось с помощью одно-, двух- и многомерных статистических методов. Многомерные статистические методы включали многомерный корреляционный анализ, множественный линейный и нелинейный регрессионный анализ, кластерный анализ, различные модификации факторного анализа, дискриминантный анализ, многомерное шкалирование. Реализация статистических процедур, построение графических, табличных и текстовых материалов базировались на использовании средств Microsoft Office, STATISTICA, Surfer, Coscad 3d, Photoshop, а также ряда программных продуктов, разработчиком общей идеологии и алгоритмов которых являлся автор настоящей работы.

Научная новизна работы

1) Обоснованы и апробированы новые принципы и подходы к анализу и представлению минералогической информации о типоморфных особенностях МСА применительно к закрытым территориям.

2) Разработаны и внедрены алгоритмы и новая технология компьютерной обработки, анализа и представления информации о типоморфных признаках МСА.

3) Впервые апробирован широкий класс методов многомерного статистического анализа данных о типоморфизме МСА из шлиховых ореолов.

4) Впервые обоснован и апробирован факторный анализ геологических данных в целях выполнения палеогеологических построений на закрытых территориях.

5) Разработана совокупность эмпирико-статистических моделей типоморфизма МСА верхнепалеозойских и юрских шлиховых ореолов, а также ряд моделей геологических процессов и объектов для территории исследований.

6) Установлена общность шлиховых ореолов МСА ИЧП, показана их принадлежность к единому эволюционному ряду шлиховых ассоциаций, сформировавшихся за счет переноса и дифференциации кимберлитового материала Мирнинского поля.

7) Установлено по материалам рассмотрения типоморфизма МСА верхнепалеозойских ореолов ЧЛП и результатам палеогеологических реконструкций, что ореолы площа-

ди представляют собой непрерывный ряд шлиховых ассоциаций, образованный в процессе экзогенной эволюции кимберлитового материала из неизвестных источников, расположенных в «голове» эволюционного ряда, вблизи участков Правобережный, Водораздельный и Курунг-Юрях (западный) в пределах Нижнеботуобинской палеовозвышенности.

Защищаемые положения

I). Впервые обоснована необходимость преобразования исходных шлихо-минералогических данных, представленных независимыми случайными дискретными величинами, в ряды других атрибутов, обеспечивающих более корректное их использование при решении алмазопроисловых задач на закрытых территориях.

II). Разработанные впервые статистические модели типоморфизма МСА из древних шлиховых ореолов позволяют количественно определить параметры ореолов, оценить направления переноса минералов и удаленность ореолов от источников питания.

III). Использование предложенных статистических методов обеспечивает выполнение историко-геологических реконструкций структур платформенного чехла, морфоструктур нижнепалеозойского основания и ореолов рассеяния МСА в древних коллекторах на время их формирования, что позволяет выделить перспективные прогнозные площади в Мало-Ботуобинском алмазонасном районе.

Практические результаты работы и их апробация

1) В северной части участка Водораздельный ЧЛП впервые в истории алмазопроисловых работ, осуществляемых в МБР на площадях развития верхнепалеозойских отложений, выявлен ореол ближнего сноса, указывающий на наличие неизвестных коренных источников на данной площади.

2) Выполнены палеогеологические построения на закрытых территориях путем использования факторного анализа.

3) Разработаны новые подходы, алгоритмы и технология обработки, анализа и представления шлихо-минералогической информации о типоморфизме МСА применительно к закрытым алмазоперспективным территориям.

Результаты работы отражены в виде самостоятельных глав в геологических отчетах Чернышевской геологоразведочной экспедиции (Манакон и др., 1989; Калмыков и др., 1996; Калмыков и др. 1997; Пелецкий М.Н. и др., 1996).

По теме диссертации автором опубликовано 8 работ.

Результаты работы в части прогнозных выводов об алмазоперспективности поисковых площадей, расположенных севернее участка Водораздельный в пределах Нижнеботуобинской палеовозвышенности, находятся в стадии апробации. Первый этап проверки прогнозных выводов завершен в рамках проведения работ по объекту «Нижне-Ботуобинский» (Князьков А.П., Пелецкий М.Н. и др., 2002). Этими работами в керновых пробах выявлены три обломка кимберлита, установлены структурно-тектонические особенности строения Нижнеботуобинской возвышенности, аналогичные строению Мирнинского кимберлитового поля; площадь рекомендована для дальнейшего опроискования.

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 180 страниц текста, 16 таблиц, 49 рисунков в виде схем и карт, графиков, разрезов. Список литературы включает, с учетом фондовых источников, 111 наименований.

В первой главе рассматриваются вопросы развития алмазопроисловых работ, определяются цели и задачи исследований, дается краткое изложение истории применения статистических методов в алмазной геологии и характеристика состояния и проблем использования математической статистики при шлихоминералогических поисках на закрытых территориях. Вторая глава содержит краткое описание геологического строения территории исследования, характеристику объектов исследования и общую оценку методов статистического анализа, задействованных в работе. Здесь показана необходимость преобразования исходных минералогических данных, что составляет первое защищаемое положение. Третья глава включает результаты статистического

моделирования при минералогическом районировании закрытых территорий на примере изучения юрских и верхнепалеозойских ореолов МСА ИЧП и ЧЛП северо-западной части МБР. Глава содержит многочисленные примеры статистических моделей типоморфизма МСА, которые иллюстрируют и обосновывают второе защищаемое положение. В четвертой главе обосновывается необходимость совершенствования приемов и средств обработки и анализа шлихоминералогической информации, а также содержится краткое описание разработанной автором компьютерной технологии и примеры ее использования на закрытых территориях. Пятая глава раскрывает принципы применения и результаты создания статистических многомерных моделей в целях выполнения палеотектонических реконструкций. Эта глава обосновывает третье защищаемое положение и содержит прогнозно-поисковые выводы в части перспектив коренной алмазности северо-западной части Мало-Ботуобинского района.

Работа выполнена в Межрегиональном центре по геологической картографии под научным руководством доктора геолого-минералогических наук Николая Васильевича Межеловского, которому автор выражает глубокое признание и уважение.

Автор выражает признательность всем коллегам по работе в составе Чернышевской геологоразведочной экспедиции и, прежде всего, Васильеву А.Т., а также Горохову С.Л., Шукину В.Н., Лихтарову Д.З., Зорину Л.А., Рукавишникову В.М., Калмыкову Б.А., Швецовоу Т.Г. и другим товарищам по работе.

В ходе выполнения работы автор обсуждал ее результаты или пользовался консультациями Богатых И.Я., Черного С.Д., Подчасова В.М., Кривонос В.Ф., д.г.м. Афанасьева, к.г.-м.н. В.В. Бабенко, к.г.-м.н. К.Г. Чумирина, к.г.-м.н. М.В. Михайлова, к.г.-м.н. Салтыкова, к.г.-м.н. Ю.М. Эринчека, д.г.-м.н. Цыганова В.А. и других коллег по работе в области алмазной геологии на территории Западной Якутии. Им автор выражает свое глубокое уважение. Автор признателен также за поддержку при завершении работы к.т.н. Липилину А.В., к.г.-м.н. Чепкасовой Т.В. и к.г.-м.н. Киликко В.А.

Глубокую благодарность автор выражает Мясниковой З.А. за терпение, поддержку, консультации по вопросам минералогии и благодаря которой при совместной работе над проблемой развития методики обработки и анализа шлихоминералогической информации стало возможным выполнение настоящих исследований.

Краткое содержание работы

Глава 1. Состояние вопроса, постановка цели и задач исследований

В последнее десятилетие отмечается сокращение минерально-сырьевой базы алмазодобывающих предприятий России, что обуславливает необходимость ее ускоренного восполнения. Реализация перспектив обнаружения новых месторождений алмазов связывается с расширением опоискования закрытых территорий.

Переход на опоискование закрытых территорий приводит к необходимости разработки новых и усовершенствованию принятых в алмазопоисковой геологии методологии, принципов, методических приемов и подходов к производству геологоразведочных работ и, в частности, к обработке и анализу геологической информации.

Основой геологических построений являются эмпирические данные, которые в силу природной изменчивости свойств объектов и выборочного метода их опробования, носят статистический характер. Это обстоятельство из-за концентрации работ в настоящее время на закрытых территориях обуславливает применение статистических методов для обработки, анализа и представления многомерной геологической информации.

Метод опробования древних шлиховых ореолов, осуществляемый на закрытых территориях совместно с изучением свойств вмещающих, перекрывающих и подстилающих образований на основе опробования керна скважин, неадаптирован к параметрам ореолов и приводит к получению некоррелированных и обладающих высокой изменчивостью минералогических данных. Такие минералогические переменные характеризуют на-

блюдаемую изменчивость различных свойств МСА и представляют собой наборы случайных величин. Это обстоятельство приводит к необходимости использования адекватных получаемым данным статистических методов.

Использование статистических методов в алмазопроисковой геологии имеет длительную историю и начато в 50-х годах прошлого столетия. Методы применялись при изучении геологии, тектоники, петрографии, минералогии и геохимии кимберлитов, перекрывающих и вмещающих пород.

В 80-90 годы прошлого века ЯФ ЦНИГРИ, коллективами экспедиций предпринимались меры по расширению масштабов использования статистических методов обработки, анализа и представления шлихоминералогической информации. Благодаря работам В.П. Афанасьева, В.В.Бабенко и других исследователей существенно повышается качество, уровень и глубина использования статистических методов обработки и анализа типоморфных особенностей МСА, данных частичного и полного микрорентгеноспектрального анализа этих минералов.

В последние годы в результате углубленного изучения МСА с возможно полным охватом фактического материала возрастает объем шлихо-минералогических данных. Роль и значение статистических методов, адекватных виду, структуре, характеру и объему получаемых данных, растет, поскольку увеличивается и сложность решаемых задач.

Статистические методы необходимы для оценки одно-, двух- и многомерных распределений различных минералогических данных; для корректной проверки гипотез соответствия одно-, двух- и многомерных минералогических объектов сравнения; для выполнения на этой основе минералогического районирования, разграничения и идентификации шлиховых ассоциаций, для распознавания новых шлиховых объектов и т.д.

Важной, но нерешенной задачей является создание, апробация и развитие эмпирико-статистических моделей шлиховых ореолов, их групп и минералогических полей. В частности, не нашли количественной оценки и описания эмпирически установленные в алмазопроисковой геологии закономерности изменения типоморфных признаков МСА с удаленностью от коренных источников, как на открытых, так и на закрытых территориях.

Актуальными являются задачи картирования пространственно-статистических закономерностей в распределении типоморфных свойств МСА на поисковых площадях. Важной является задача выявления скрытых пространственно-статистических связей между распределением типоморфных особенностей МСА, характеристиками вмещающих их коллекторов, погребенным палеорельефом и структурно-тектоническим строением кимберлитовмещающих пород.

Таким образом, целью работы является адаптация и системное внедрение ряда новых статистических методов, приемов и подходов к обработке, анализу и представлению многомерной геолого-минералогической информации при проведении поисковых работ на закрытых территориях.

Глава 2. Общие сведения о геологическом строении района. Объекты исследования, характеристика материала и методы его изучения

Мало-Ботуобинский алмазонасыщенный район находится в южной части Якутской алмазонасыщенной провинции в пределах Мирнинского поднятия, территориальной тектонической единицы Непско-Ботуобинской субпровинции (антеклизы).

В геологическом строении района, которое широко освещено в многочисленных работах, принимают участие метаморфические комплексы кристаллического фундамента, осадочные отложения чехла платформы и различные магматические образования.

На изучаемой территории выявлены коренные (Мир, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС) и россыпные месторождения алмазов (Ирелях, Новинка, Водораздельные Галечники, Восточная и др.), а также газонефтяные, нефтегазовые и газовые месторождения (Иреляхское, Мирнинское и др.). На площади установлены месторождения строительных материалов, известны проявления бурых углей, черных металлов и различных неметаллических ископаемых (соль, сера).

Минерально-сырьевая база является основой развития Мирнинского района, одного из наиболее промышленно развитого района Республики Саха (Якутия).

Основным объектом исследований являлись МСА из шлиховых ореолов рассеяния юрского и, преимущественно, верхнепалеозойского возраста. Верхнепалеозойские и мезозойские отложения выступают в качестве промежуточного (между коренными источниками и современными отложениями) коллектора алмазов, что позволяет прогнозировать на основе их изучения местоположение кимберлитовых тел.

Неоднократное чередование регрессивных и трансгрессивных этапов развития территории привело к формированию ореолов рассеяния МСА на различных литолого-стратиграфических уровнях в различных палеогеографических, палеогеоморфологических и палеофациальных условиях. Происходило образование многоярусных, полигенных и полихронных, прерывистых по простиранию и в разрезе минералогических скоплений (ореолов, потоков и шлейфов) продуктов дезинтеграции кимберлитового материала. Это усложнило и уменьшило связи типоморфных особенностей МСА с процессами их экзогенного развития, направлением, условиями переноса и захоронения, а также обусловило литолого-стратиграфический отрыв ореолов от коренных источников.

Ключевыми вопросами изучения погребенных шлиховых ореолов, от решения которых зависит повышение эффективности шлихоминералогического метода на закрытых территориях, являются определение, на основе расшифровки экзогенной эволюции индикаторных минералов кимберлитов и их ассоциаций, направлений переноса МСА и их удаленности от коренных источников. Выявление процессов переноса, масштабов и условий экзогенной эволюции базируется на исследовании изменчивости типоморфных признаков МСА. Наиболее системно и полно установленные закономерности приведены в работах А.Д. Харькива и В.П. Афанасьева.

Формальное перенесение закономерностей, свойственных современным потокам рассеяния кимберлитовых минералов, на древние ореолы МСА не всегда оправдано. Поиски на закрытых территориях происходят, чаще, по прямоугольной сети скважин, не учитывающей палеогеологической обстановки. Объем шлиховых проб ограничен диаметром керна. Опробуемые осадки даже в разрезе одной скважины являются разновозрастными или разнофациальными образованиями. Закономерности экзогенной эволюции ореолов МСА по материалам поисковых работ на закрытых территориях в настоящее время остаются предметом изучения, имеющиеся выводы не в полной мере апробированы.

Настоящая работа в определенной степени направлена на решение этих вопросов.

Необходимость использования аппарата математической статистики для обработки и анализа типоморфных особенностей МСА при расшифровке их экзогенной эволюции в прогностических целях обуславливается, по крайней мере, двумя важными причинами.

Первой причиной является природная, вне зависимости от систем изучения объектов (МСА) генетически обусловленная статистическая природа как первичных, так и вторичных признаков минералов. Первичные признаки минералов, их числовые оценки, всегда носят интервальный характер. Это обусловлено изменчивостью условий их образования: температуры, давления, активности компонентов, кинетических факторов и т.д. В результате с разных образцов одной и той же генерации какого-либо минерала, отобранных в пределах одного кимберлитового тела, снимаются несколько варьирующих значений признака. Вторичные признаки минералов формируются в процессе их экзогенной эволюции в меняющихся во времени и пространстве условиях среды, что приводит также к значительному варьированию их значений.

Второй причиной является выборочный метод исследования шлиховых ореолов, что особенно свойственно процессу опробования погребенных ассоциаций МСА. Выборочный метод опробования, являясь единственной возможностью изучения геологической совокупности в силу ее недоступности для полного обследования, обуславливает статистический характер данных опробования.

Таким образом, генетически обусловленная статистическая природа признаков МСА и выборочный характер опробования древних ореолов объективно указывает на необходимость применения на всех стадиях изучения типоморфизма минералов математической статистики от процедур обработки до принятия прогностических решений.

Для достижения поставленных целей и задач в работе использовались, преимущественно, вышеперечисленные многомерные статистические методы. При проведении исследований использовались одно- и двухмерные аналоги регрессионного и корреляционного анализа, точечные и интервальные, в том числе робастные процедуры оценки свойств геолого-минералогических данных.

На основе критического рассмотрения принятых на закрытых территориях приемов обработки, способов представления шлихоминералогической информации, а также характера и статистической природы минералогических данных автором предложены и разработаны новые подходы и элементы аналитической обработки признаков МСА по материалам минанализа шлиховых проб. Основой подхода является нормализация исходных данных и их отнесение к уровню структурной организации вещества, который является объектом изучения при поисковых работах на соответствующей стадии работ.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать **первое** защищаемое положение, которое развивается в четвертой главе работы:

1. Впервые обоснована необходимость преобразования исходных шлихоминералогических данных, представленных независимыми случайными дискретными величинами, в ряды других атрибутов, обеспечивающих более корректное их использование при решении алмазоперспективных задач на закрытых территориях.

Глава 3. Статистическое моделирование при минералогических исследованиях закрытых алмазоперспективных территорий

Статистическое моделирование при минералогических исследованиях алмазоперспективных территорий направлено на решение задач прогнозирования коренной и россыпной алмазности. Это достигается на основе изучения типоморфных особенностей и химического состава МСА, анализа изменчивости их типоморфизма и химизма с последующим сравнением, классификацией и идентификацией ореолов, определением направлений переноса МСА, оценкой удаленности ореолов от источников питания. Учитывается также литологический и фациальный состав коллекторов, положение в вертикальном разрезе и другие характеристики геологического пространства.

В первом разделе главы на примере *юрских ореолов* ближнего сноса Мирнинского поля показаны возможности статистического моделирования при оценке параметров ореолов, оценке характера, вида и степени изменчивости признаков с удаленностью от источников питания. Второй раздел содержит результаты моделирования изменчивости типоморфизма МСА с расстоянием на примере *верхнепалеозойских* и *юрских ореолов* среднего и дальнего сноса ИЧП. В последнем разделе приведен сравнительный статистический анализ верхнепалеозойских ореолов ИЧП и ЧЛП по типоморфизму МСА (рис. 2).

Общая оценка одномерных распределений значений признаков МСА из *юрских ореолов* показала, что они редко соответствуют нормальному распределению, а выборки часто содержат аномальные значения признаков. Двухмерные распределения признаков МСА характеризуются пониженными корреляционными связями разного знака, наличием линейных и, преимущественно, нелинейных соотношений.

Установлено, что выход слабоизношенных зерен МСА в шлиховых пробах справедливо считается наиболее чувствительным к удаленности от коренного источника (или иных источников питания). Аппроксимация статистической связи двухмерной системы «выход слабоизношенных МСА – расстояние» уравнениями линейной регрессии неудовлетворительно описывает статистическую взаимосвязь этих величин.

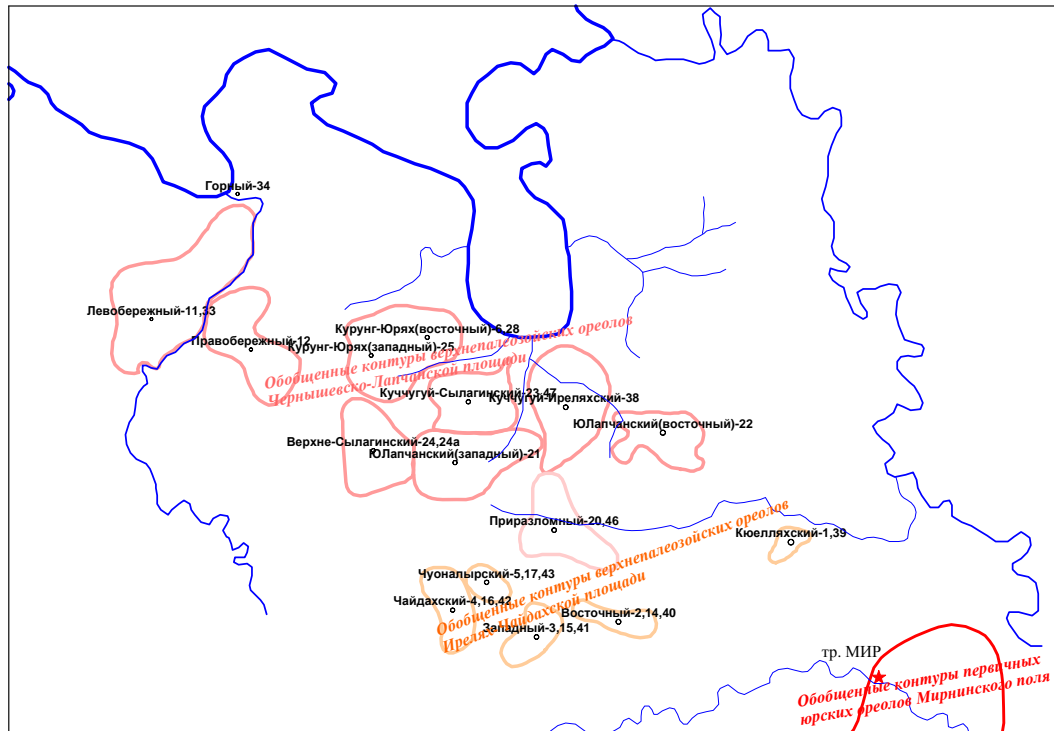


Рис. 2. Положение верхнепалеозойских и юрских ореолов рассеяния МСА в северо-западной части Мало-Ботубинского алмазоносного района

Использование в этих целях уравнений нелинейной регрессии вида $Y=k/X$, где Y – выход слабоизношенных спутников, а X – расстояние от их предполагаемых коренных источников (R) оказалось более обоснованным (рис. 3).

Анализ статистической зависимости выхода кимберлитовых минералов I+II класса износа от расстояния до их источника вида $Y=k/X$ позволил сформулировать ряд выводов:

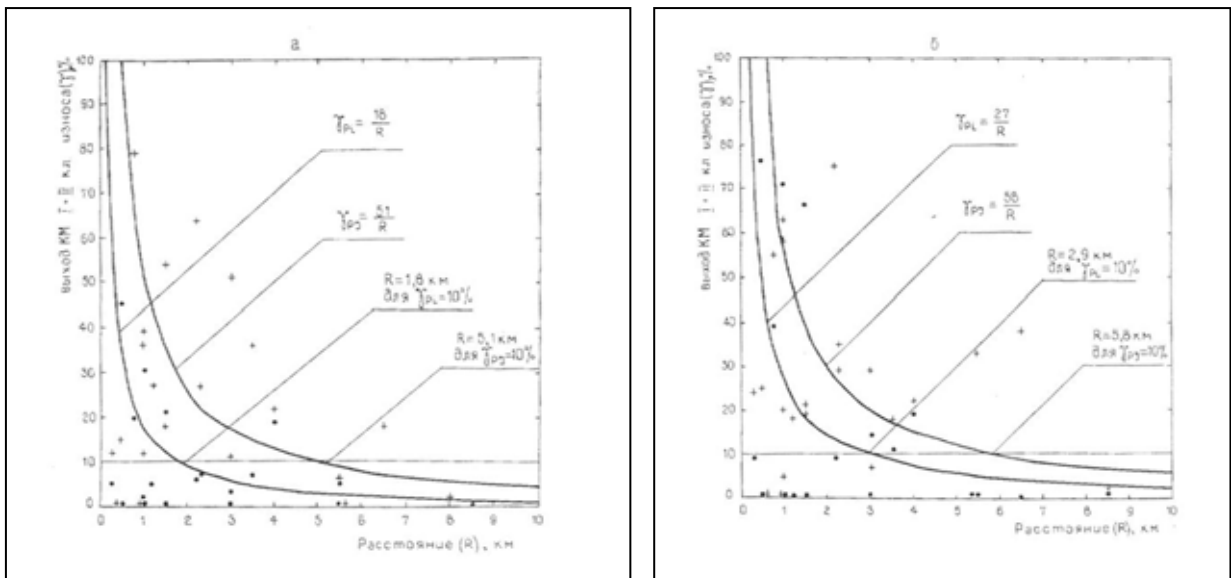


Рис. 3. Зависимость выхода (γ) кимберлитовых минералов (КМ) I+II класса износа от расстояния (R) до коренного источника алмазов: а – класс крупности – 1мм; б – класс крупности + 1мм;

• - пироп (Pi); + - пикроильменит (Pj)

- 1). В шлиховой ассоциации быстрее уменьшается выход слабоизношенных зерен пироба, нежели выход слабоизношенных зерен пикроильменита.
- 2). Быстрее уменьшается выход слабоизношенных зерен в классе –1 мм.
- 3). Выход слабоизношенных зерен МСА резко уменьшается до 10% в пределах 1-2 км от коренного источника, а в дальнейшем, с увеличением расстояния, медленно спадает.

При наличии сведений о сохранности МСА во вновь выявленных ореолах по условиям формирования аналогичным условиям формирования ореолов выборочной совокупности возможна статистическая оценка удаленности этих ореолов до коренных источников с использованием приведенных уравнений нелинейной регрессии.

Для решения такой исследовательской задачи, относящейся к типу «обратных» задач, эффективным является использование аппарата *множественной нелинейной регрессии* с установлением зависимости прогнозируемой удаленности шлиховых ассоциаций от выхода слабоизношенных МСА. Целесообразность применения нелинейного оценивания параметров следует из-за значительной неадекватности линейных регрессионных моделей фактическим данным. Нелинейное оценивание зависимости отклика (удаленности) от предикторных переменных (выход P_i и P_j I+II класса сохранности в классах крупности – 1мм и +1мм) показало, что оптимальной моделью является множественная кусочно-линейная регрессия с контрольной точкой. Применительно к рассматриваемым материалам полученное решение имеет следующий вид:

$$R_1 = 0,9133 + 0,0003 \times T_8 \text{ (выход } P_i \text{ I+II, +1мм)} - 0,0170 \times T_9 \text{ (выход } P_i \text{ I+II, -1мм)} + 0,0041 \times T_{15} \text{ (выход } P_j \text{ I+II, +1мм)} + 0,0106 \times T_{16} \text{ (выход } P_j \text{ I+II, -1мм)};$$

$$R_2 = 7,0956 + 0,6509 \times T_8 \text{ (выход } P_i \text{ I+II, +1мм)} - 0,6056 \times T_9 \text{ (выход } P_i \text{ I+II, -1мм)} + 0,0691 \times T_{15} \text{ (выход } P_j \text{ I+II, +1мм)} - 0,2467 \times T_{16} \text{ (выход } P_j \text{ I+II, -1мм)};$$

Сплайны кусочно-линейной регрессии объясняют 86% дисперсии удаленности. Распределение отклонений расчетных значений удаленности от фактических расстояний до источников близко к нормальному распределению.

Кусочно-линейные регрессионные модели, характеризующие двухмерные зависимости удаленности от рассматриваемых признаков ореолов, представлены ниже.

Пироп, +1мм (78% дисперсии)	$R_1 = 1,249 - 0,0033 \times T_8$	$R_2 = 5,708 - 0,1395 \times T_8$
Пироп, -1мм (72% дисперсии)	$R_1 = 1,272 - 0,0104 \times T_9$	$R_2 = 5,375 - 0,1028 \times T_9$
Пикроильменит, +1мм (71% дисперсии)	$R_1 = 0,830 + 0,0108 \times T_{15}$	$R_2 = 5,359 - 0,0219 \times T_{15}$
Пикроильменит, -1мм, (81% дисперсии)	$R_1 = 0,864 + 0,0099 \times T_{16}$	$R_2 = 6,213 - 0,0699 \times T_{16}$

Статистическое моделирование изменчивости типоморфизма МСА *верхнепалеозойских ореолов и юрских* ореолов среднего и дальнего сноса ИЧП с расстоянием от условного центра Мирнинского поля (трубки Мир) показало, что наиболее чувствительными к расстоянию признаками МСА данной совокупности ореолов, являются выход корродированных зерен пироба и его гранулометрические характеристики (рис. 4).

Наличие, характер, вид и сила связи между оценками средних диаметров зерен пироба и пикроильменита, суммарным выходом корродированных пиробов и расстоянием до условного центра поля, свидетельствуют о принадлежности этих ореолов к одной выборочной статистической совокупности и высокой вероятности их формирования за счет кимберлитового материала Мирнинского поля.

Данные о типоморфизме МСА шлиховых ореолов ИЧП позволяют осуществить оценку расстояния от вновь выявленного или известного ореола, принадлежащего к подобной геологической совокупности ореолов, до источника МСА. Эта задача решается на основе расчета множественной регрессионной модели вида:

$$Y = b_0 + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_p \times X_p, \text{ где } Y \text{ – расстояние до источника МСА; } X_i \text{ – типоморфные признаки МСА; } b_i \text{ – регрессионные коэффициенты (или } B \text{ – коэффициенты).}$$

Пример такого подхода реализован применительно к Чуоналырскому ореолу, расположенному на расстоянии 2-4 км северо-восточнее Чайдахского ореола. Для оценки прогнозного значения расстояния использовано уравнение регрессии:

$$R = 58,77 + 0,16 \times (\text{содержание } P_i) + 0,04 \times (\text{содержание } P_j) - 84,77 \times (\text{средний диаметр } P_i) - 16,44 \times (\text{средний диаметр } P_j) + 8,83 \times (\text{сортировка } P_i) + 18,14 \times (\text{сортировка } P_j)$$

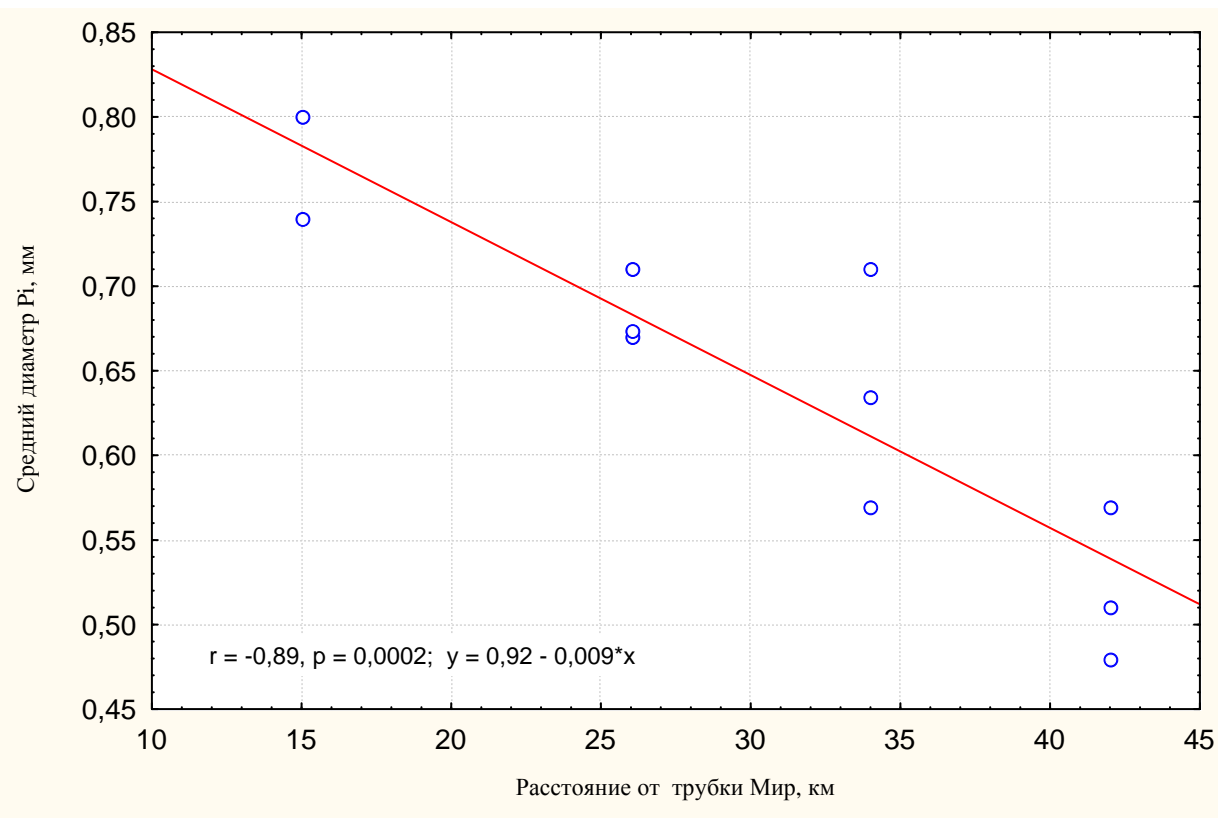


Рис. 4. Статистическая зависимость оценки среднего диаметра пиропы верхнепалеозойских шлиховых ореолов МСА Ирелях-Чайдахской площади от расстояния до трубки Мир

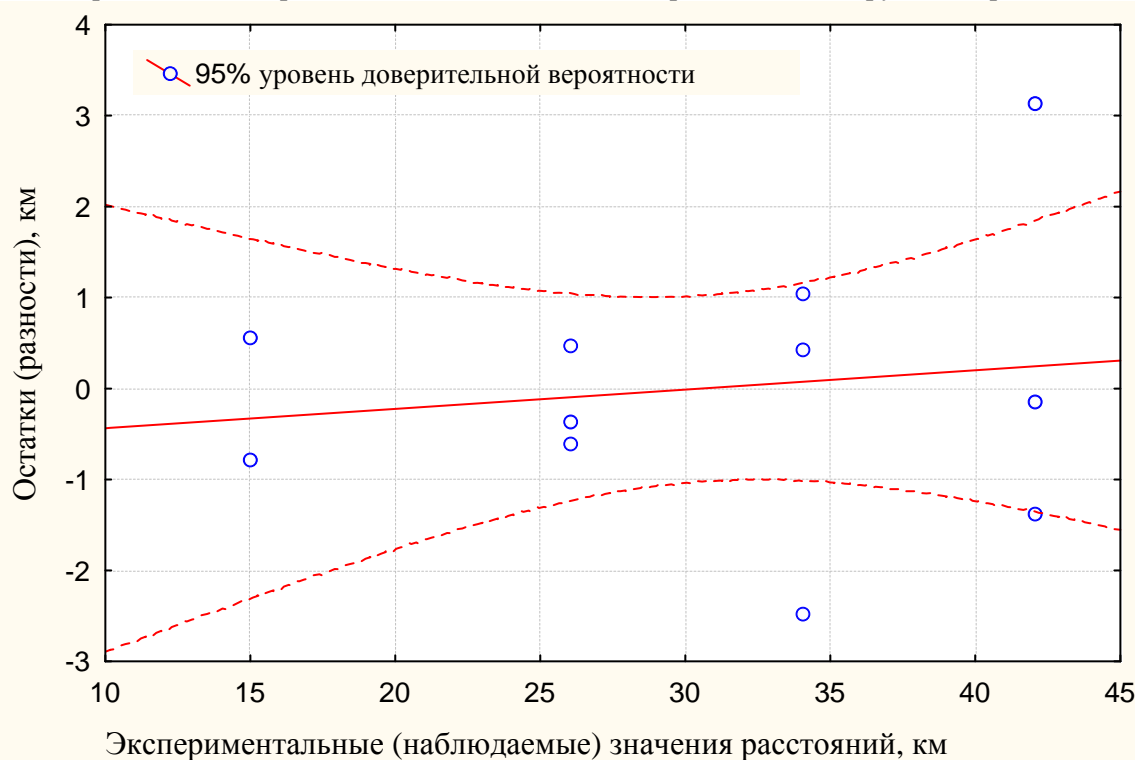


Рис. 5. Распределение остатков между эмпирическими (наблюдаемыми) значениями расстояний и их модельными (прогнозными) значениями

Оценка адекватности выбранной модели на основе анализа остатков приведена на рис. 5 и показала ее высокое соответствие эмпирическим данным, на что указывает приемлемая величина их рассеяния и нормальность распределения.

Сравнительный статистический анализ *верхнепалеозойских ореолов ИЧП и ЧЛП* по типоморфизму МСА был направлен на оценку степени сходства (различия) ореолов, их

групп, выделение статистических сообществ, определение уровня и характера их разделения (дискриминации), а также оценку удаленности ореолов до источников питания.

Простые *одномерные* статистические процедуры сравнения обобщенных минералогических характеристик этих групп ореолов показали ряд существенных их отличий: отличаются средние диаметры пиропов (в 1.45 раза), выход агрегатных пикроильменитов (1.8), содержания пикроильменитов в шлиховых пробах (3.0) и т.д.

Двухмерное моделирование ореолов позволило получить более полное представление об их распределении и соотношениях в двухмерном пространстве различных сочетаний признаков, выявить наличие, характер (прямая или обратная), вид (линейная или нелинейная) и силу корреляционных связей типоморфных свойств МСА, характеризующих эти ореолы. Двухмерные диаграммы рассеяния точек, соответствующих ореолам, иллюстрируют значительную неоднородность объединенной выборочной совокупности, включающей ореолы обеих площадей (рис. 6). Эти и другие диаграммы, приведенные в работе, подтверждают принципиальные отличия типоморфизма МСА ореолов ИЧП и ЧЛП.

Эти группы ореолов образуют две изолированные области коррелятивных точек. Совокупности точек имеют эллиптическую, вытянутую к началу координат форму и дают наглядное геометрическое представление о внутренне однородных со своими параметрами рассеяния группах ореолов. Поля рассеяния точек описаны уравнениями линейной регрессии и коэффициентами линейной парной корреляции:

для ИЧП: $r^2=0,16$; $r=0,41$; $p=0,15$; $d_{PJ}=0,636 + 0,3449 \times d_{Pi}$ и

для ЧЛП: $r^2=0,81$; $r=0,90$; $p=0,00001$; $d_{PJ}=0,214 + 0,6122 \times d_{Pi}$

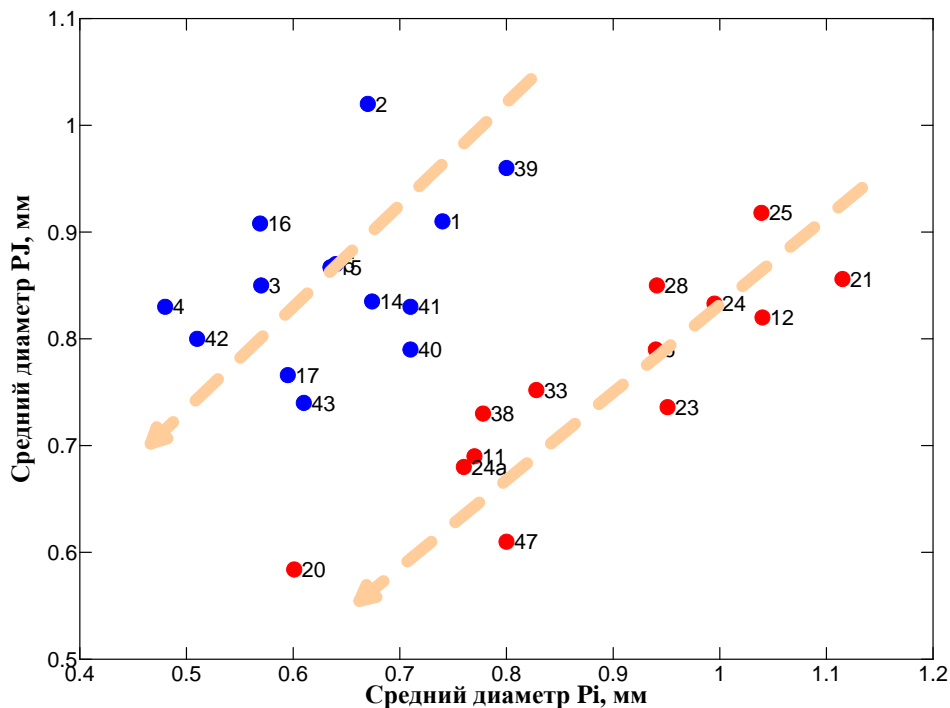


Рис. 6. Диаграмма распределения верхнепалеозойских шлиховых ореолов в координатах оценок средних диаметров МСА (кл. крупности $-4+0,25$ мм, синие – ореолы ИЧП, красные – ореолы ЧЛП, пунктиром показано направление эволюционного тренда гранулометрического состава МСА)

Уравнения регрессии устанавливают направление и проявленность эволюционного тренда гранулометрического состава и силу связи средних размеров МСА в шлиховых ассоциациях этих площадей в ходе формирования соответствующих минералогических полей в верхнепалеозойский этап развития изучаемой территории.

Многомерное статистическое моделирование расширяет возможности анализа внутренней структуры и взаимосвязей многомерных исходных данных. Совместное изучение наборов взаимосвязанных переменных способствует выявлению дополнительной,

зачастую скрытой, информации об изменчивости изучаемых объектов и обеспечивает выявление и прогнозирование их неизвестных свойств.

Применение *факторного в R- и Q-модификациях и кластерного* анализов для изучения МСА ореолов ИЧП подтвердило их общность с позиций принадлежности к одним источникам питания, позволило выделить «фактор удаленности», дающий возможность классифицировать ореолы в зависимости от удаленности источников питания, количественно оценить близость геологических обстановок формирования этих ассоциаций.

Аналогичные процедуры, реализованные по отношению к ореолам ЧЛП, показали возможность на основе установления «фактора удаленности», его количественной оценки и пространственной привязки осуществить мелкомасштабное прогнозирование потенциальных источников кимберлитовых минералов. То есть территории, которая, возможно, являлась поставщиком МСА в ореолы этой площади (рис. 7).

Мощным статистическим средством разделения (дискриминации) и классификации ореолов ИЧП и ЧЛП, охарактеризованных многомерным признаковым пространством типоморфных свойств МСА, является *дискриминантный анализ* (далее – ДА). Разделение всех ореолов изучаемых смежных площадей на две априорно заданные группы осуществляется с высоким уровнем значимости и независимо от способа построения дискриминантной функции, что иллюстрируется рис. 8.

Важным следствием применения ДА является возможность количественной оценки информативности используемых для классификации признаков и выбора из их набора оптимальной комбинации.

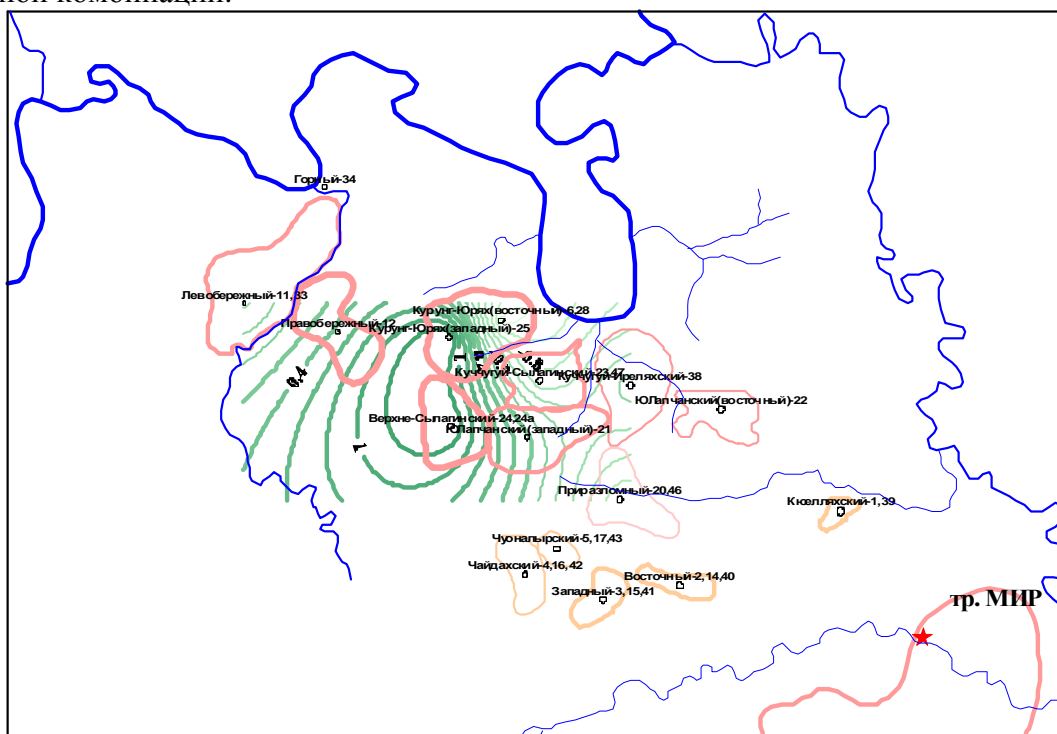


Рис. 7. Схема изолиний значений «фактора удаленности» (показаны зеленым цветом) одновозрастных ореолов ЧЛП по материалам обработки типоморфных особенностей МСА

Апробация метода *многомерного шкалирования* показала, что он успешно решает задачи разделения, классификации и таксономизации объектов исследования. Метод не накладывает на исследуемые данные ограничений к виду их распределений и соотношениям между переменными. Существенно и то, что многомерное шкалирование применяется к любым типам расстояний или сходств объектов, тогда как факторный анализ оперирует с матрицами коэффициентов парной линейной корреляции.

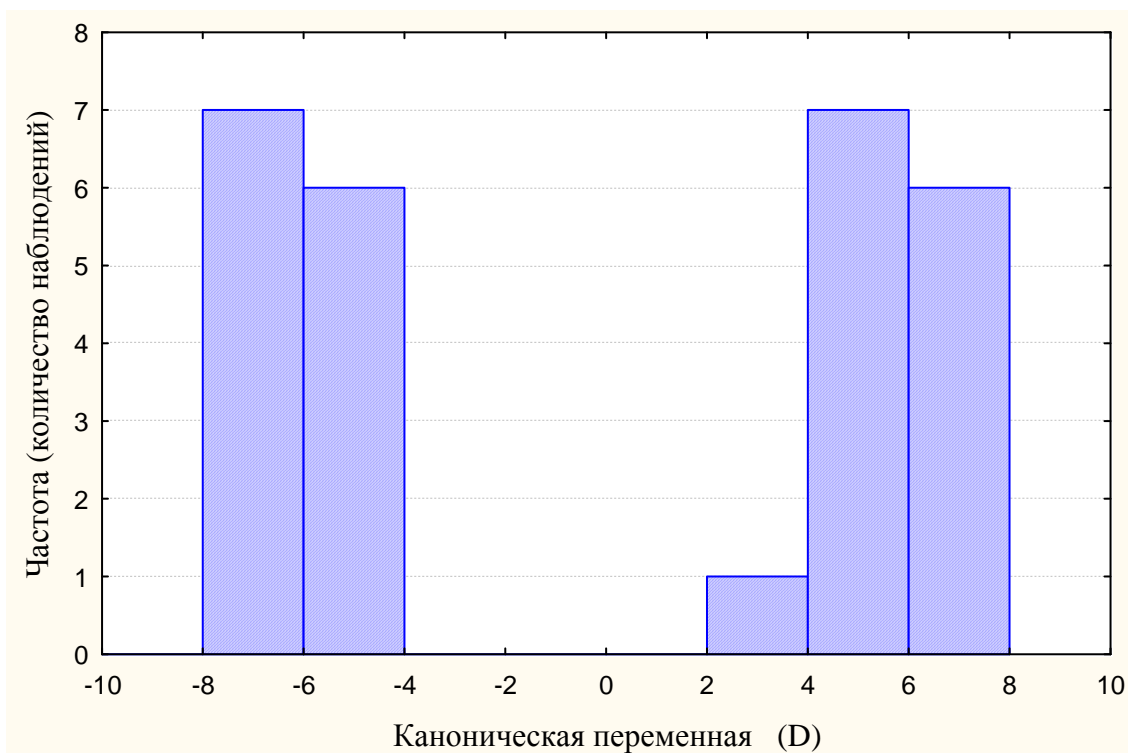


Рис. 8. Гистограмма распределения ореолов Ирелях-Чайдахской (значения $D > 0$) и Чернышевско-Лапчанской площадей (значения $D < 0$) при их классификации на две группы (стандартный метод)

Метод позволяет перейти от многомерного пространства, в котором размещены объекты, к его отображению в пространство меньшей размерности с максимальным сохранением исходных расстояний между ними. Результаты такого отображения применительно к исследованию наборов данных об ореолах ИЧП и ЧЛП показаны на рис. 9. Рисунок иллюстрирует результаты проецирования на двухмерное пространство ореолов лапчанского и ботубинского возраста из 14-мерного пространства признаков МСА.

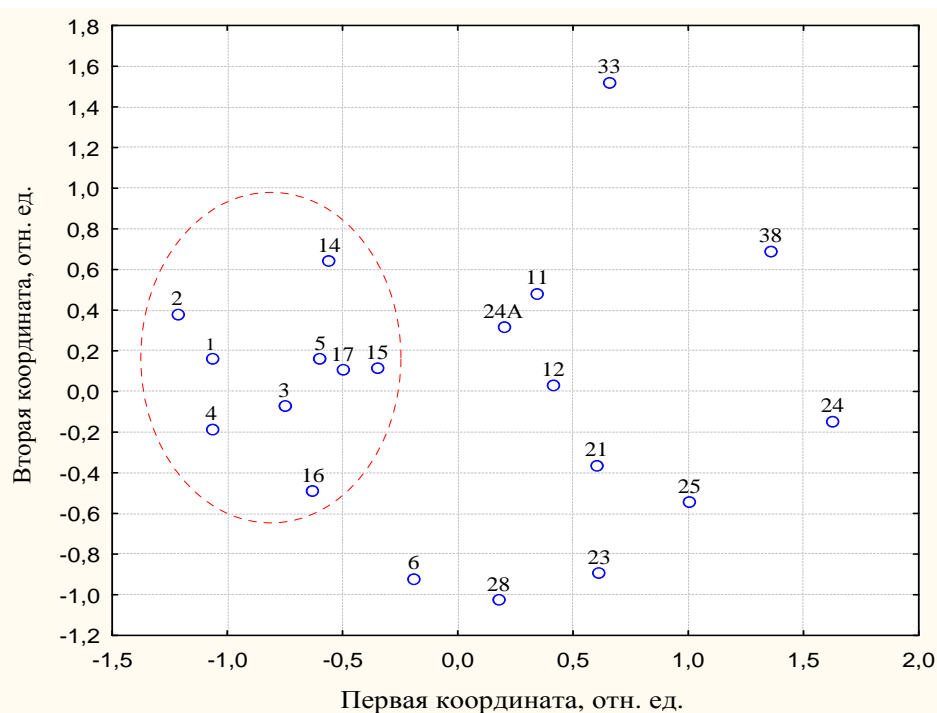


Рис. 9. Проецирование шлиховых ореолов ИЧП ЧЛП из 14-мерного пространства признаков на плоскость двух координат (пунктиром выделен кластер ореолов ИЧП)

Рассмотрение карт отображения ореолов показывает на изолированность группы ореолов ИЧП, их более плотную упаковку в кластере, что особенно характерно для ореолов средне-верхнекаменноугольного возраста. Иная топология наблюдается у ореолов ЧЛП, которые занимают $\frac{3}{4}$ всего пространства плоскости отображения, характеризуются разобщенностью и не образуют четко выраженных сгущений.

В ы в о д ы : Сравнительный одно-, двух- и многомерный статистический анализ типоморфных особенностей пиропита и пикроильменита из ореолов ИЧП и ЧЛП позволяет уверенно констатировать их принадлежность к различным выборочным и геологическим совокупностям.

Статистический анализ типоморфных признаков МСА ореолов ИЧП свидетельствует, в целом, об их единстве, но указывает и на их существенные внутригрупповые различия. Внутригрупповое разделение ореолов достигается при их классификации на основе гранулометрических характеристик ассоциаций, которые, наряду с корродированностью пиропита, статистически значимо меняются с удаленностью от трубки Мир. Это, с высокой вероятностью, указывает, что ореолы позднепалеозойских коллекторов ИЧП образуют свой эволюционный ряд и сформировались за счет переноса и дифференциации кимберлитового материала Мирнинского поля.

Совместное рассмотрение типоморфизма МСА ореолов ЧЛП площади, распределение векторных характеристик типоморфизма и «фактора удаленности» позволяет установить общность ореолов площади. Ореолы площади представляют собой непрерывный ряд шлиховых ассоциаций, образованный в процессе экзогенной эволюции кимберлитового материала из неизвестных источников, расположенных вблизи участков, находящихся в «голове» эволюционного ряда. Выделяются участки этого единого минералогического поля рассеяния МСА, составляющие центральную часть ассоциации, максимально приближенную к источникам питания, и периферийную, обрамляющую эту область. Центральную часть по материалам исследований составляют ореолы Правобережный, Курунг-Юрях (западный) и Верхне-Сылагинский, а периферийную – Левобережный, Курунг-Юрях (восточный), Куччугуй-Сылагинский, Горный, Куччугуй-Иреляхский, Южно-Лапчанский и Приразломный.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать **второе** защищаемое положение:

II. Разработанные впервые статистические модели типоморфизма МСА из древних шлиховых ореолов позволяют количественно определить параметры ореолов, оценить направления переноса минералов и удаленность ореолов от источников питания.

Глава 4. Компьютерная технология обработки данных о типоморфных особенностях МСА при поисковых работах на закрытых территориях

В ходе проведения шлихового опробования при поисковых работах на *открытых* территориях практически всегда обеспечивается реализация важных методологических принципов изучения геологических объектов. В том числе, принципа соответствия методики изучения объектов их составу и внутреннему строению, а также принципа адекватности исследуемых свойств объектов соответствующим уровням их структурной организации.

В условиях *закрытых* территорий объекты изучения, погребенный рельеф, коллектора, ореолы рассеяния МСА, их скопления недоступны для полного и всестороннего исследования. Шлиховые пробы из погребенных коллекторов МСА отбираются в ограниченных объемах по редкой и неориентированной сети скважин с одновременным изучением других свойств геологического пространства. Методика шлихового опробования погребенных коллекторов МСА, таким образом, не является адаптированной или объектно-ориентированной.

Идентификация выявляемых скоплений МСА, их картирование, оконтуривание и объединение в однородные пространственно-генетические минералогические ассоциации (ореолы и потоки рассеяния МСА) на закрытых территориях носит неоднозначный характер. Единство параметров сети наблюдений и опробования по отношению к различным уровням организации вещества (минералы-спутники, их скопления, ореолы, продуктивный горизонт, геологический слой, пачка, подсвита, свита и т.д.) при проведении работ на закрытых территориях обуславливают вынужденное нарушение приведенных выше принципов изучения характеристик геологических объектов.

Это означает, что параметры опробования не соответствуют положению, составу и внутреннему строению ореолов рассеяния, как одному из самых низких уровней организации вещества изучаемого геологического пространства. Этот структурный уровень характеризуется, в отличие от состава и строения слоев, пачек, свит вмещающих и перекрывающих пород высокой природной изменчивостью. Уровень соответствия выборочных совокупностей реальным минералогическим объектам имеет неопределенный характер.

При разработке авторской технологии обработки и анализа минералогической информации учтены специфические особенности выборочных данных. Предусмотрена необходимость ухода от обработки дискретных рядов метризованных данных, которыми являются исходные минералогические наблюдения в карточках минанализа, к их представлению в виде других атрибутов. Реализована возможность изучения состава, структуры и взаимосвязи свойств МСА в различных объемах геологического пространства, что обеспечивает «привязку» данных о типоморфизме МСА к различным уровням организации среды. Технология адаптирована к принятой системе описания признаков МСА. Ее оригинальные, а также типовые этапы отражены на рис. 10.



Рис. 10. Общая последовательность компьютерной обработки, анализа и визуализации шлихоминералогической информации

Программные средства обеспечивают обработку и анализ минералогической информации одно- и разновозрастных отложений, одного литотипа или любой их комбинации. Обработке могут подвергаться пробы одинакового или разного объема, пробы по списку скважин и т.д. Это позволяет оценить средние характеристики признаков МСА, их изменчивость по площади и в разрезе в зависимости от литотипов, объемов проб; установить закономерности распределения МСА с заданными типоморфными особенностями; выполнить минералогическое районирование площади на основе различных подходов и критериев. Результатом обработки данных являются пространственно-статистические распределения признаков или их комбинаций, коэффициентов соответствия и результатов других преобразований, которые могут служить исходными данными для выявления, анализа и изучения векторных характеристик, для выявления общих и частных закономерностей в изменчивости типоморфизма МСА на поисковых площадях.

Глава 5. Статистическое моделирование при историко-геологическом анализе геологических объектов и процессов

Эффективность шлихоминералогического метода при выявлении, идентификации шлиховых ассоциаций, локализации объектов поисковых работ на закрытых территориях связана с развитием способов, методов и технологий палеогеографических, палегеоморфологических и палеоструктурных построений (далее - палеогеологические построения).

Использование многомерных статистических методов, в данном случае факторного анализа, для выполнения палеогеологических построений вызвано неоднозначным решением вопроса о направлениях регионального и локального сноса обломочного, в том числе, кимберлитового материала, что иллюстрируется на примере ЧЛП. Задача анализа состояла в восстановлении гипсометрического положения погребенного палеорельефа и реперных поверхностей на время формирования продуктивных отложений для северо-западной части МБР и участка Водораздельный¹ (рис. 11).

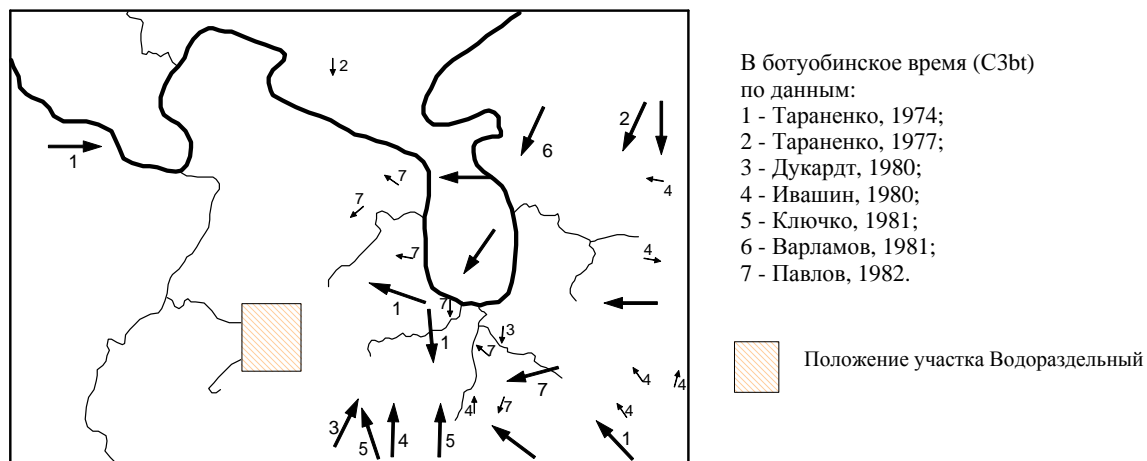


Рис. 11. Направления переноса обломочного материала по данным различных авторов в пределах северо-западной части Мало-Ботуобинского алмазоносного района

Для анализа привлечено: гипсометрическое положение сейсмического горизонта «А» (X_1), поверхности мирнинской свиты (X_2), эродированной поверхности холомолохской свиты (X_3), значения остаточной мощности холомолохской свиты (X_4) и положение подошвы верхней подсвиты ботуобинской свиты верхнего карбона (X_5).

Фиксируемые в настоящее время значения переменных (X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5) представляют собой конечные результаты воздействий геологических процессов (факторов),

¹ Материалы по участку Водораздельный в автореферате не представлены из-за его ограниченного объема.

которым присущи две особенности. Во-первых, факторы оказывают воздействие на комплекс (набор) переменных, характеризующих природную систему, а не на одно какое-то свойство. При этом имеет место генерация каждым из факторов определенных, свойственных только им, корреляций между переменными. Во-вторых, одна и та же переменная получает свое количественное выражение под влиянием различных факторов, причем доля изменений, вносимая каждым из геологических процессов, в общем случае не одинакова и коррелируется с величиной и знаком инициируемых корреляций с другими переменными. Фиксируемые по современным наблюдениям корреляции между переменными отражают суммарный эффект воздействий геологических процессов, поэтому истолкование наблюдаемых корреляционных связей между геологическими объектами без приведенных выше соображений может привести к ложным выводам.

С незначительными допущениями можно утверждать, что: П3 – отражает тектонические движения мезозойского возраста; П2 – обусловил рельеф погребенного карбонатного цоколя к началу формирования верхнепалеозойских отложений; П1 – отражает тектонические движения среднепалеозойского и вендско-нижнепалеозойского этапов развития территории (рис. 12).

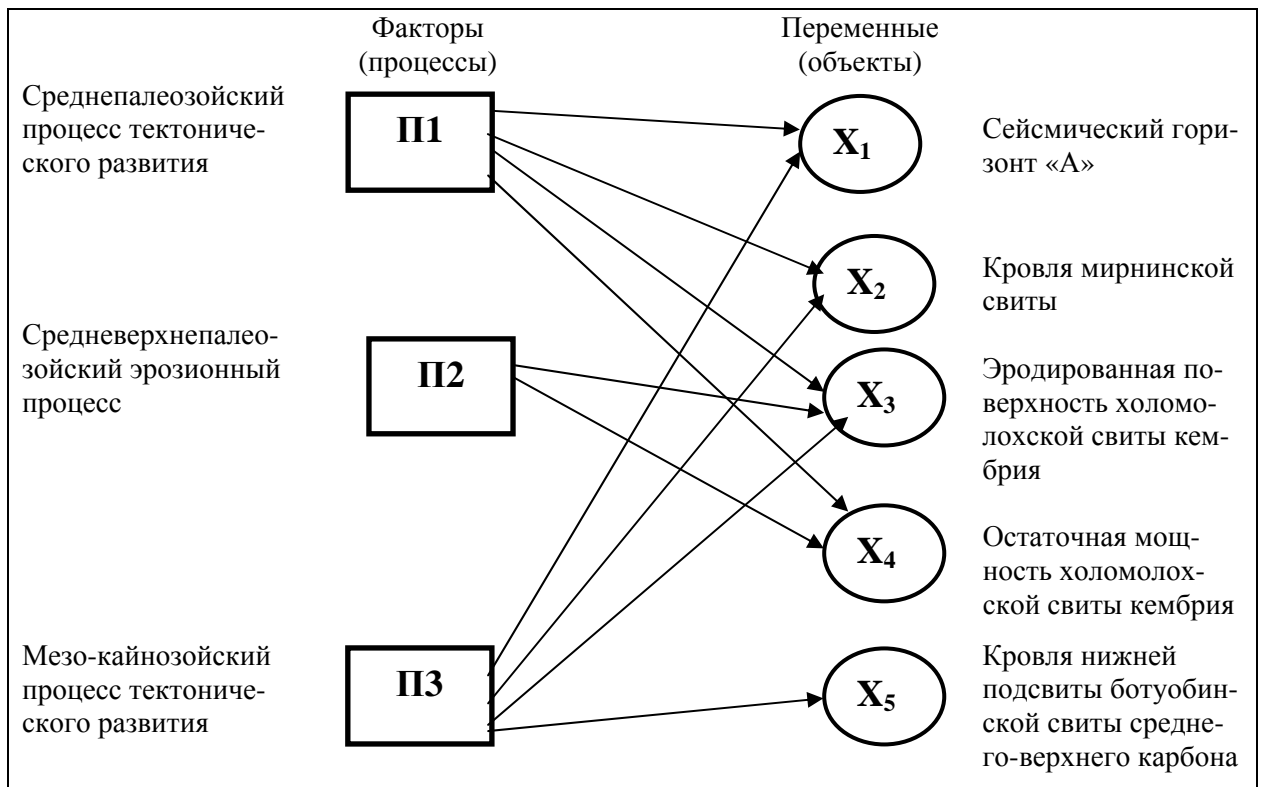


Рис. 12. Модель взаимосвязей основных геологических процессов с геологическими переменными (объектами) природной системы после формирования в ее пределах платформенного чехла

Задачи статистического анализа состояли в выявлении П1, П2 и П3, оценке их роли и значимости, расчете их значений в точках наблюдений.

Для территории *северо-западной части МБР* определяющий вклад в изменчивость признаков пространства (до 90%) вносит первый фактор, с которым отождествляется структурно-формирующий процесс постверхнепалеозойского этапа тектонической истории территории (П3). Второй фактор (до 26%) связывается с эрозионным процессом (П2), который предшествовал захоронению карбонатного цоколя отложениями.

Содержательная интерпретация результатов анализа и последующие расчеты позволили установить составляющие движений эродированной поверхности холмолохской свиты и кровли мирнинской свиты, обусловленные постверхнепалеозойским структурно-

формирующим процессом и реконструировать их гипсометрическое положение к началу формирования верхнепалеозойских отложений (рис. 13, 14).

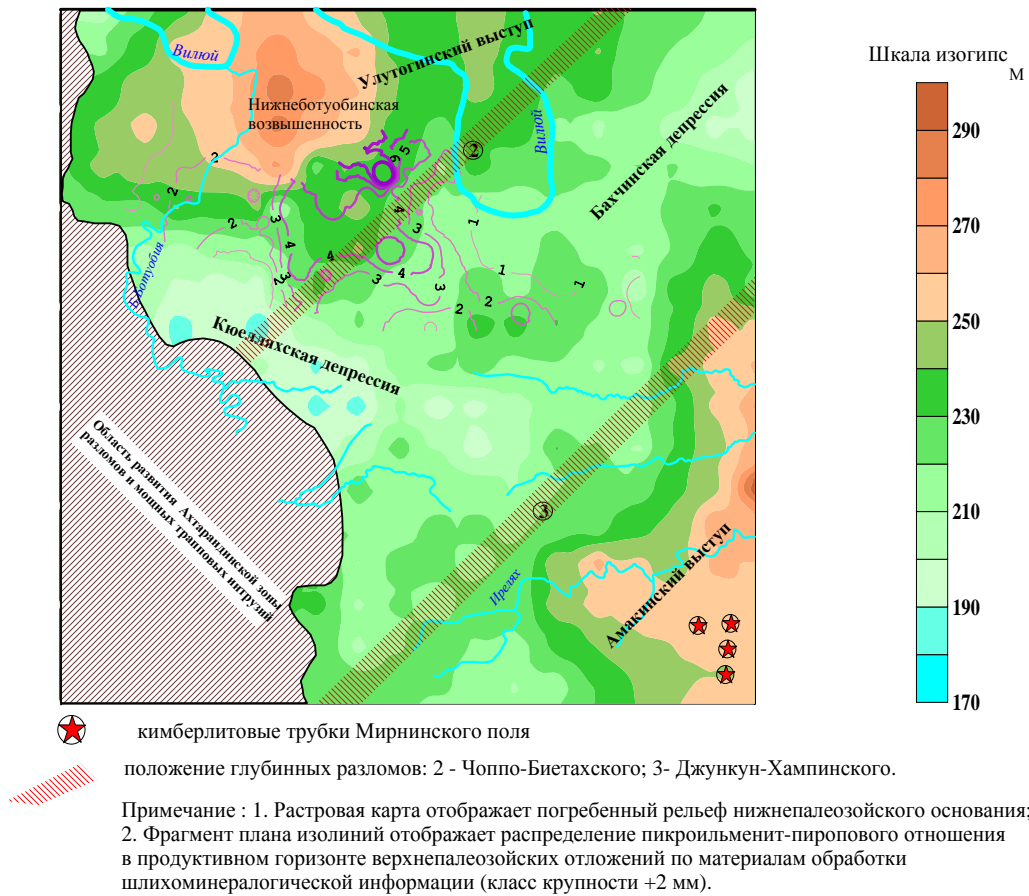


Рис. 13. Схематичная карта погребенного рельефа нижнепалеозойского кимберлитовмещающего основания в пределах северо-западной части МБР на начало верхнего карбона.

Результаты анализа показывают, что до постверхнепалеозойских тектонических движений и формирования верхнепалеозойских отложений рельеф нижнепалеозойского основания представлял собой слабопересеченную равнину. К положительным палеоморфоструктурам относятся Амакинский и Улутогинский выступы нижнепалеозойского основания. Положение палеоморфоструктур хорошо согласуется с положением глубинных разломов северо-восточного простирания (Чоппо-Биетахским и Джункуно-Хампинским), которые, определяли их формирование и развитие. Отрицательной палеоморфоструктурой является Кюеляхская и Бахчинская депрессии, разделяющие эти два крупных блока.

В пределах Улутогинского выступа, на его юго-западном окончании в нижнем течении реки Б. Ботуобия, устанавливается Нижнеботуобинская палеовозвышенность, с которой поступал обломочный материал в сторону депрессий. Совместно с обломочным материалом с возвышенности и ее склонов в южном, восточном и западном направлении осуществлялся перенос кимберлитового материала. На это указывает сопряженность с рельефом карбонатного цоколя векторных параметров типоморфных особенностей МСА в верхнепалеозойских терригенных коллекторах (рис. 13). Сопряженность свидетельствует о пространственно-генетических взаимосвязях между восстановленным палеорельефом нижнепалеозойского основания в пределах ЧЛП и векторными характеристиками свойств МСА, которые сохранялись неизменными после формирования и захоронения их в составе продуктивной толщи верхнепалеозойских отложений.

Рассмотрение положения кровли мирнинской свиты на начало формирования верхнепалеозойских отложений показывает, что на данной территории в ее центральной части в этот период существовало крупное Ботуобинское палеоподняtie с пологими склонами,

ориентированное в северо-восточном направлении² (рис. 15). Оно ограничено разломами северо-восточного простирания, известными как Чоппо-Биетахская и Джункун-Хампинская зоны разломов, принадлежащими к Ангаро-Виллойской системе глубинных разломов. На юго-восточном склоне этого палеоподнятия находится Мирнинское поле. Палеоструктурный план кровли мирнинской свиты и образование Ботубинского поднятия, по нашему мнению, связано со среднепалеозойским этапом развития территории, когда она испытывала тектоно-магматическую активизацию, общее воздымание, в дальнейшем подвергалась интенсивной денудации и пенеplanation. Мирнинское поле приурочено к данному поднятию, точнее, к участкам его сочленения с опущенными блоками.

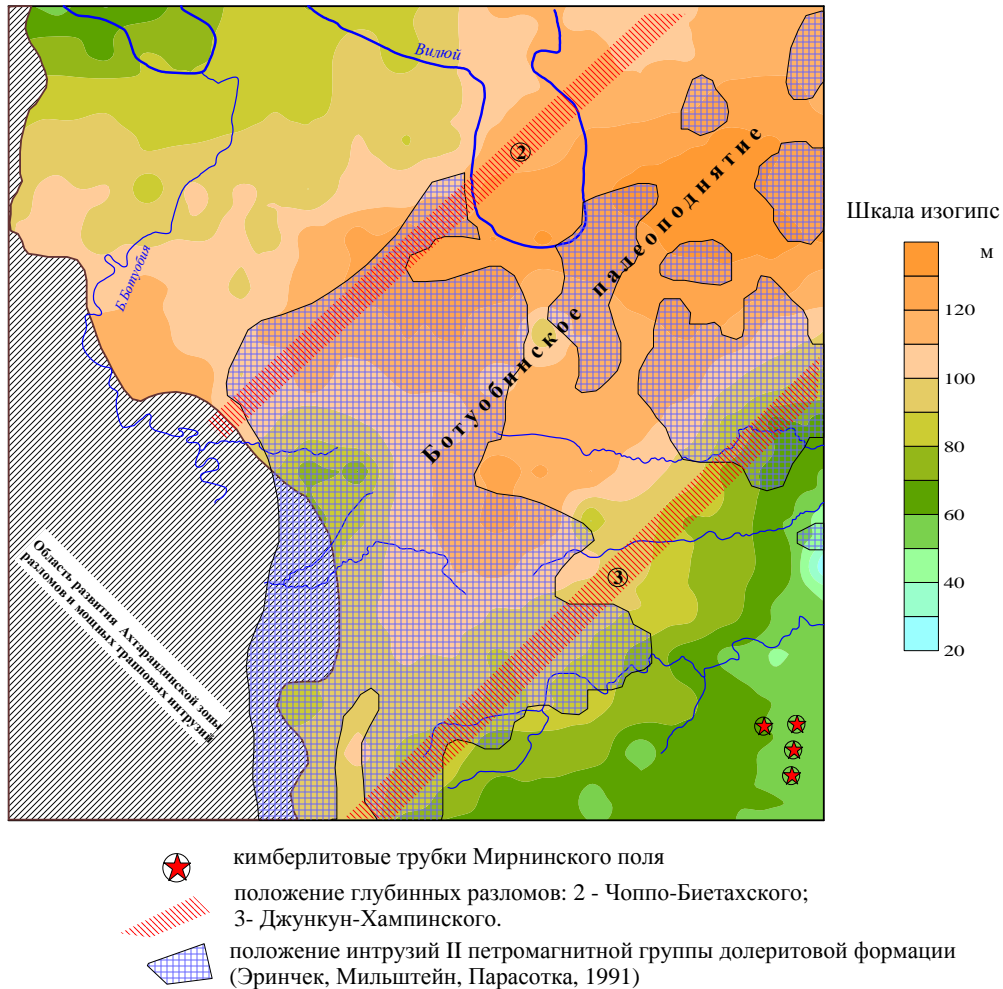


Рис. 14. Схематическая карта кровли мирнинской свиты в северо-западной части Мало-Ботубинского алмазоносного района на начало верхнего карбона

Палеоструктурный план кровли мирнинской свиты согласуется с предельной эрозионно-денудационной поверхностью нижнепалеозойского основания, которая в основных своих морфологическо-структурных чертах сохранилась до настоящего времени. Реконструкция этой структурной поверхности объясняет наращивание остаточных мощностей холмолохской свиты как в районе Мирнинского поля, так и в северо-западном направлении. Соответствие структурному плану отмечается в расположении Кюэляхской и Бахчинской депрессий. Они развивались на сводовой части поднятия, вытянуты в северо-восточном направлении и образуют “обращенный” древний рельеф. Сопряженные с ними эрозионно-денудационные выступы нижнепалеозойского основания (Улутогинский и Амакинский) сформировались в пределах склонов палеоподнятия. Из этого следует, что

² Впервые это поднятие (в предварительных контурах) выделено авторами отчета Чернышевской экспедиции по объекту «Центрально-Лапчанский» (Калмычков, 1989).

структурный план погребенного рельефа был обусловлен каркасом крупных структурных элементов платформенного чехла, границами которых служили глубинные разломы, неоднократно активизирующиеся в геологической истории территории. Глубинные разломы Ангаро-Вилуйской системы разломов определяли на территории исследований и размещение раннемезозойских интрузий долеритовой формации. Это иллюстрируется согласованным положением интрузий II петромагнитной группы и положением Джункуно-Хампинской и Чоппо-Биетахской разломов этой системы (см. рис. 14).

Приведенные материалы свидетельствуют о пространственно-генетических связях структур платформенного чехла и морфоструктур нижнепалеозойского основания, которые длительное время контролировали интенсивность и характер процессов переноса и аккумуляции МСА в северо-западной части МБР. В связи с мощным мезо-кайнозойским этапом тектоно-магматического развития территории, структурный план площади и погребенные геологические поверхности претерпели значительные изменения. Пространственно-генетические связи платформенных структур, проявлений магматизма, древнего рельефа, связи крупных и локальных форм погребенного рельефа с ореолами рассеяния алмазов и его минералов-спутников в верхнепалеозойских коллекторах в значительной степени были утрачены, что резко ограничило эффективность алмазопроисковых работ.

Поисковыми работами, выполненными в северной части участка Водораздельный, южнее Нижнеботуобинской палеовозвышенности, выявлены МСА прямого сноса (Пелецкий и др. 1996). В ходе опробования в 1998-2002 годах по редкой сети скважин Нижнеботуобинской палеовозвышенности, выделенной на основании представленных в разделе построениях, установлены три обломка кимберлита. Здесь впервые откартированы особенности структурно-тектонического строения, свойственные Мирнинскому полю.

Площадь Нижнеботуобинской палеовозвышенности располагается в полосе северо-восточного простираения, характеризуется минимальным уровнем эрозионного среза, который обусловлен относительно высоким гипсометрическим положением кровли пород нижнего палеозоя и низким положением его подошвы. Породы вмещающего субстрата, таким образом, представляют собой в разрезе двояковыпуклое геологическое тело, положение кровли которого определялось эрозионно-тектоническими процессами, а положение подошвы тектоническими процессами. Это позволяет охарактеризовать его как грабеннообразный прогиб среднепалеозойского возраста, что является важным структурно-тектоническим критерием кимберлитового поля (Манаков, Горев).

Изложенные материалы позволяют сформулировать **третье** защищаемое положение:

III. Использование предложенных статистических методов обеспечивает выполнение историко-геологических реконструкций структур платформенного чехла, морфоструктур нижнепалеозойского основания и ореолов рассеяния МСА в древних коллекторах на время их формирования, что позволяет выделить перспективные прогнозные площади в Мало-Ботуобинском алмазонасном районе.

Заключение

Основные выводы работы сводятся к следующему:

- 1) Минералогическая информация на закрытых территориях имеет принципиальные содержательные и статистические отличия от информации на открытых территориях.
- 2) Информация о признаках МСА, получаемая на закрытых территориях в целях ее последующей корректной обработки и статистического анализа должна подлежать процедурам стандартизации для приведения наборов наблюдений к рядам других атрибутов.
- 3) Разработанная технология анализа минералогических данных позволяет расширить использование потенциала поисковой минералогии на закрытых территориях.
- 4) Сравнительный пространственно-статистический анализ и любые совместные исследования минералогических и геологических данных должны осуществляться с учетом их принадлежности к различным структурным уровням организации вещества.

5) Исследование кластерной структуры и внутренних взаимосвязей геолого-минералогических переменных статистическими методами позволяют получить дополнительные эмпирико-статистические критерии, характеристики и модели древних ореолов МСА в целях установления направлений переноса и удаленности от источников.

6) Закономерности в изменчивости признаков МСА с удаленностью от источников питания в древних ореолах проявлены менее отчетливо, не проявлены или ведут себя иначе, чем закономерности, установленные на открытых территориях. Эмпирические правила, используемые при поисковых работах для выявления процессов переноса, масштабов и условий экзогенной эволюции ореолов нуждаются в изучении и количественной оценке.

7) Характер наблюдаемых закономерностей (динамика, диапазон) в изменчивости признаков МСА с удаленностью от областей питания в древних ореолах отвечают в большей степени нелинейным, кусочно-линейным и, реже, линейным регрессионным моделям.

8) Применение методов статистического анализа позволяет реализовать принципы историко-геологического подхода к изучению закрытых территорий и реконструировать пространственно-генетических связи структур чехла, морфоструктур основания и ореолов рассеяния МСА на время их формирования и захоронения.

9) Установлена общность верхнепалеозойских ореолов ИЧП и показана их принадлежность к единому эволюционному ряду шлиховых ассоциаций, сформировавшихся за счет переноса и дифференциации кимберлитового материала Мирнинского поля.

10) Установлено единство верхнепалеозойских ореолов ЧЛП и показано, что они представляют собой ряд шлиховых ассоциаций, образованный в процессе экзогенной эволюции кимберлитового материала из неизвестных источников в пределах Нижнеботуобинской палеовозвышенности и ее склонах.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Опыт совершенствования шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений при среднемасштабном прогнозировании. Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири. Тезисы докладов. ВостСибНИИГГиМС. Иркутск, 1990. С. 49. (совместно с Васильевым А.Т. и Мясниковой З.А.).

2. Опыт применения прогрессивных методов организации геолого-поисковых работ в юго-западной части Якутской алмазоносной провинции. Геология, методы поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых. Отечественный производственный опыт. Экспресс информация. ВИЭМС, 1988, вып. I, С. 1-11. (совместно с Горховым С.Л. и Васильевым А.Т.).

3. Опыт оценки коренной алмазоносности на основе обработки шлихоминералогической информации математическими методами (на примере Чернышевско-Лапчанской площади). // Тезисы докладов VI Всесоюзного совещания. Иркутск, 1990 г. С. 118-119. (совместно с Мясниковой З.А. и Васильевым А.Т.).

4. Применение математических методов и ЭВМ для детального минералогического районирования шлиховых ореолов при поисках алмазных месторождений на примере участка Левобережный. // Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири. Тезисы докладов. ВостСибНИИГГиМС. Иркутск, 1990. С. 90-91 (совместно с Мясниковой З.А.).

5. Опыт применения статистических методов при поисках коренных месторождений алмазов в Западной Якутии. Практическая геостатистика. // Труды II Всесоюзного семинара по геостатистике. Петрозаводск, 1991. С. 137-145 (совместно с Мясниковой З.А.).

6. Опыт использования многомерных статистических методов при среднемасштабных палеогеологических построениях. // Разведка и охрана недр. – 2007. - №2-3. – С. 68-76

7. Применение многомерных статистических методов для выполнения палеогеологических реконструкций при алмазопроисловых работах на закрытых территориях. // Разведка и охрана недр. – 2008. - №2. – С. 17-25.

8. Статистические модели типоморфизма минералов-спутников алмаза из погребенных шлиховых ореолов. // Разведка и охрана недр. – 2008. - №7. – С. 25-31.