

2. Все известные на Сибирской платформе кимберлитовые поля верхнепротерозойского, среднепалеозойского и мезозойского возраста пространственно располагаются в зонах сжатия литосферы.

3. Использование информации о свободной поверхности мантии и динамических неоднородностях литосферы в комплексном сочетании с другими геологическими и геофизическими данными позволяет резко сократить поисковые площади на региональной стадии изучения перспектив алмазоносности крупных частей Сибирской платформы.

Список литературы

1. Артемьев М.Е., Кабан М.К., Чесноков Е.М. Плотностные неоднородности мантии Земли по данным о глубинах до её «свободной поверхности»: Континентальные районы // Физика Земли. - 1983. - № 5 - С. 3-12.
2. Барышев А.С. Геофизические основы прогнозирования и поисков месторождений железа, золота, алмазов в Восточной Сибири // Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. - Иркутск, 1987. - 35 с.
3. Закузенный В.И., Барышев А.С., Понушкова Т.Ф. Рельеф свободной поверхности мантии - источник информации о состоянии её вещества // Геофизические исследования Сибирской платформы и смежных регионов. - М.: Изд. ВНИИГеофизика. - 1982. - С. 110-113.
4. Манаков А.В. Особенности строения литосферы Якутской кимберлитовой провинции. - Воронеж, 1999. - 58 с.
5. Закузенный В.И., Барышев А.С., Понушкова Т.Ф. и др. Методические рекомендации по решению геологических задач на основе принципа изостазии / - Иркутск, 1984. - 37 с.
6. Садовский М.А., Денщиков В.А., Кондратьев В.И., и др. О модели верхних слоев земной коры // Физика Земли. - 1982. - № 9. - С. 3-9.

УДК 551.243

СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО РАЙОНА (ЯКУТИЯ)

А.С. Гладков¹, Н.Н. Зинчук², С.И. Шерман¹, А.В. Манаков²,
С.А. Борняков¹, В.А. Матросов², И.А. Дзюба¹, М.Н. Гарат²

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

²АК «АЛРОСА», Якутское научно-исследовательское

геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

С помощью методов тектонофизики изучена разломная тектоника платформенного чехла в пределах Вилюйско-Мархинской зоны разломов в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе. Установлено, что формирование сети разрывных нарушений в пределах осадочного чехла территории происходило в результате трех этапов сдвиговых движений по разломам фундамента. В строении сдвиговых зон, сформировавшихся в платформенном чехле, наблюдается наложение разновременных парагенезисов разрывов разных этапов. Известные кимберлитовые тела приурочены к участкам взаимодействия сдвиговых кулис север-северо-восточного направления, где на определенных этапах развития возникали локальные структуры растяжения (дуплексы и пулл-апарт).

Как известно, структурные факторы, играют определяющую роль в локализации магматогенных месторождений полезных ископаемых. Не являются исключением в этом плане и кимберлитовые трубки. Поэтому выделение факторов структурного контроля кимберлитовых тел и разработка на их основе поисковых критериев и признаков является одной из важнейших составляющих научного обеспечения прогнозно-поисковых работ. Основной упор при изучении взаимосвязи разломов и кимберлитового магматизма в сложных условиях слабообнаженных платформенных территорий традиционно делался на геолого-геофизические и геоморфологические методы. Опыт прошедших лет убедительно свидетельствует о том, что данных, полученных с их помощью, не всегда достаточно для решения поставленных задач. Необходимо привлечение прямых геолого-структурных методов, специально ориентированных на выявление в верхних частях платформенного чехла разломных зон, изучение их внутреннего строения и динамики развития. Весьма перспективным в этом плане является комплексный подход к изучению разломов, базирующийся на совокупности тектонофизических методов, позволяющих получать принципиально новую информацию о внутреннем строении кимберлитовмещающих разломных зон. В настоящей статье представлены результаты

совместных тектонофизических работ, проведенных ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА» и ИЗК СО РАН в пределах Мало-Ботубинского алмазоносного района.

Краткая характеристика разломной тектоники района

Мало-Ботубинский район занимает бассейны рек Малая и Большая Ботубобия (правые притоки среднего течения р. Виллой). В его пределах расположено Мирнинское кимберлитовое поле с известными месторождениями алмазов: трубками Мир, Интернациональная, Дачная и другие. Основным элементом разломной структуры Мало-Ботубинского района является Виллойско-Мархинская зона разломов. Известно, что в фундаменте платформы она состоит из серии субпараллельных, сближенных в пространстве разрывных нарушений субмеридионального направления, которые уверенно выделяются сейсморазведкой по горизонту КВ (граница раздела вендских и нижнекембрийских отложений). В потенциальных полях нарушения имеют вид линейных положительных аномалий различной интенсивности за счет того, что их сместители выполнены дайками основных пород. Региональные разломы фундамента проявляются и в фанерозойском платформенном чехле, как линейные зоны шириной до 2,5-3 км с повышенной плотностью сети локальных разрывов. Внутреннее строение этих зон было слабо изучено, несмотря на то, что именно в их пределах размещены все обнаруженные к настоящему времени алмазоносные кимберлитовые тела. Региональные разломы фундамента других направлений, отличных от субмеридионального, проявлены в геофизических полях и рельефе менее отчетливо, фрагментарно, что приводило к существенно разным вариантам интерпретации их роли в контролировании пространственного размещения кимберлитовых тел. Например, предполагалось, что существенную роль в контроле кимберлитовых тел играют разломы северо-восточного [4], субширотного [1, 14] и, наконец, северо-западного [2, 3, 10, 15] направлений.

Изложенное показывает, что для территории Мало-Ботубинского района прямые геолого-структурные данные, характеризующие строение разломной сети в пределах платформенного чехла, практически не устанавливаются. Поэтому первым шагом в наших исследованиях стало создание сети точек наблюдения согласно принципам тектонофизического анализа [13]. Основными объектами изучения служили наиболее достоверно установленные по геофизическим данным разломы Виллойско-Мархинской зоны - Западный, Параллельный, Центральный и Восточный. Были выполнены площадные исследования на площади Мирнинского кимберлитового поля, маршрут по р. Малая Ботубобия от п. Алмазный до п. Светлый, а также изучение карьеров трубок Дачная, Таежная и Мир. Всего в процессе работ создано 78 точек тектонофизических наблюдений (рис. 1) в отложениях палеозоя и мезозоя, в пределах которых охарактеризовано, в общей сложности, около 6000 тектонических трещин и разноранговых разрывных нарушений.

Установлено, что определяющую роль в тектоническом строении осадочного чехла играют субвертикальные и субгоризонтальные разрывные нарушения локального ранга. Первые, как правило, представлены зонами повышенной трещиноватости, грубого расщепления и дробления пород мощностью от первых метров до десятков, редко - сотен метров. По своей пространственной ориентации наиболее многочисленными являются зоны северо-северо-восточного простирания. Меньшую распространенность имеют зоны северо-западной и близширотной ориентировок, с тенденцией разделения последних на восток-северо-восточные и запад-северо-западные. Кинематика субвертикальных разрывов всех указанных ориентировок неясна. Наиболее отчетливо фиксируются малоамплитудные (первые сантиметры - первые десятки см) вертикальные смещения, преимущественно, сбросового, реже взбросового типа. Они восстанавливаются достаточно уверенно благодаря многочисленным горизонтальным маркерам, в роли которых выступают границы слоев осадочного чехла. Диагностика сдвиговых смещений выполнена при прямых наблюдениях с необходимой достоверностью в ограниченном количестве случаев. В большинстве случаев наличие сдвиговых смещений определялось при камеральной обработке по характерному рисунку поясов трещиноватости, расположенных по дуге большого круга на структурных диаграммах, получаемых при вынесении на них элементов массовых замеров параметров трещин [6, 9].

Субгоризонтальные нарушения представлены зонами межслоевых срывов и послойных нарушений (зоны повышенной трещиноватости и дробления пород) мощностью от первых сантиметров до нескольких метров. Основной тип смещений по ним - надвиговый. Надвиговый характер субгоризонтальных разрывов чаще всего устанавливался по наличию характерных структур - приразломных заворотов слоев и складок, а также надвиговых дуплексов. Немногочисленные прямые наблюдения надвигов позволяют выделить среди них две основные системы северо-восточного и запад-северо-западного простирания с углами падения сместителей от 5 до 15°. Амплитуды смещений по субгоризонтальным разрывам колеблются (в зависимости от ранга структур) от первых см до первых десятков м. Отмечены структурные признаки взаимодействия субвертикальных и послойных разрывных нарушений, свидетельствующие о их синхронном «срабатывании».

РАН в

ки сред-
и место-
разлом-
о, что в
ных на-
ризонту
имеют
выпол-
м плат-
ых раз-
разме-
азломы
полях и
ации их
галось,
протно-

турные
не усн-
ния со-
более
адный,
и Мир-
ке изу-
ческих
общей

верти-
влены
первых
ислен-
т зоны
еверо-
провок
и) вер-
доста-
аницы
еобо-
говых
тости,
а них

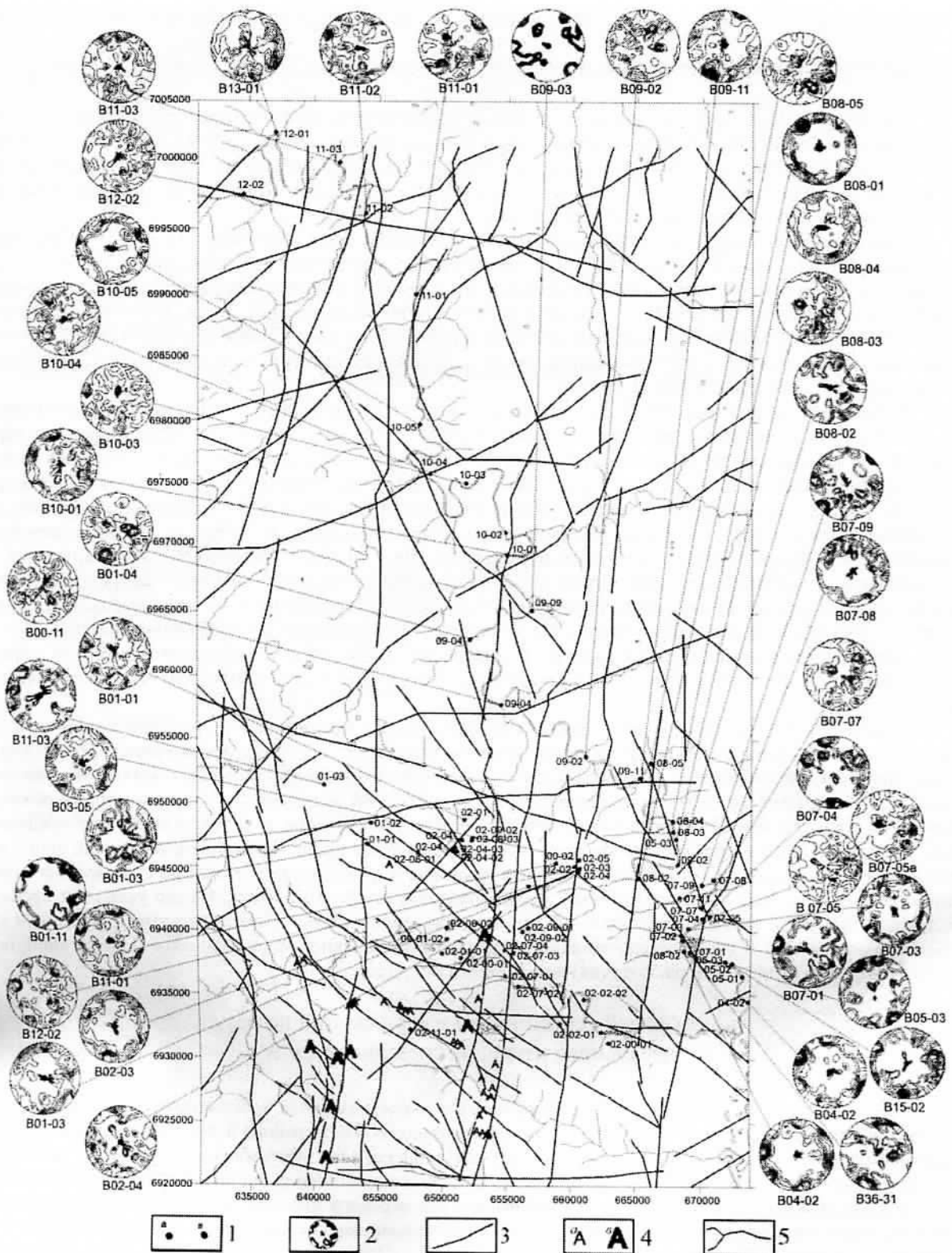


Рис. 1. Карта фактического материала полевых тектонофизических исследований сезонов 2002-2003 гг.

1 - точки полевых тектонофизических наблюдений: а) сезона 2002 г., в) сезона 2003 г.; 2 - диаграммы массовых замеров трещин в точках наблюдений сезона 2003 г. Количество замеров от 30 до 100 шт. Изолинии проведены начиная с 0,5% с шагом 1,0%; 3 - разломы установленные по результатам геофизических работ, 4 - трубки: а) туфовые, в) кимберлитовые; 5 - речная сеть.

При дальнейшей обработке собранного материала использовались различные тектонофизические методы.

Парагенетический анализ ориентировок дизъюнктивных и пликативных структур

Для анализа использовались данные об элементах залегания разноранговых субвертикальных разрывных нарушений и систем субвертикальных трещин, а также складчатых структур. При этом строились розы-диаграммы простираций того или иного типа структур как для всей выборки, так и отдельно для пород разного возраста (палеозой и мезозой), что в дальнейшем позволило выйти на возрастные привязки выделяемых этапов становления разломной сети района.

Розы-диаграммы полученные при рассмотрении всей выборки того или иного типа разрывных структур приведены на рисунке 2А, Г, Ж. Рисунок 3 характеризует направление осей складчатых структур. Суммарная картина основных направлений разрывных нарушений и складок, определяющих тектоническое строение осадочного чехла Мало-Ботуобинского района, представлена на рисунке 4А. С учетом ранее полученных данных [7, 8], можно констатировать, что эта картина образована в результате наложения сдвиговых парагенезисов дизъюнктивных и пликативных структур формировавшихся и активизировавшихся в течение, как минимум, трех этапов (рис. 4Б, В и Г).

Разбровка данных (рис. 1Б, В, Д, Е, З, И) указывает на неодинаковую степень интенсивности структур различных парагенезисов в разных по возрасту породах. Например, субвертикальные разрывные нарушения (R и R'-сколы левосдвигового парагенезиса, рис. 4В) практически не отражены максимумами на диаграмме замеров в палеозойских породах (рис. 2Б). В мезозойских же отложениях ярко проявляются как право-, так и левосдвиговый парагенезисы (рис. 2В). В противоположность этому, на диаграммах замеров субвертикальных систем трещин в мезозойских и палеозойских образованиях лучше выражены максимумы отвечающие R и R'-сколам левосдвигового парагенезиса (рис. 2З, И). Субгоризонтальные нарушения (t-разрывы) левосдвигового этапа дают интенсивные максимумы не зависимо от возраста пород. Структуры сжатия (аналог t-разрывов) для правостороннего сдвигового этапа наиболее отчетливо выражены на диаграмме осей складок, подавляющее большинство которых зафиксировано в отложениях палеозоя. Максимумы субгоризонтальных разрывных нарушений (надвигов) этапа субмеридионального сжатия (и субширотного растяжения) (рис. 4Г) присутствуют в породах обоих возрастов, но в палеозойских – они интенсивнее.

Сквозной характер проявления структур правосдвигового парагенезиса в разновозрастных породах является свидетельством в пользу его более древнего возраста. Начало формирования разрывов этого этапа, скорее всего, следует относить к раннему-среднему палеозою. Появление их в породах мезозоя обусловлено активизацией разрывов данного направления в последующих полях напряжений. "Половинчатое" отражение разрывных структур левосдвигового парагенезиса в отложениях мезозоя и палеозоя позволяет предположить их формирование в среднепалеозойское – верхнемезозойское время. И, наконец, последний этап – активизация сформированной сети субвертикальных разрывов и формирование надвигов субширотного простираения (рис. 4Г) имеет предположительно средне-позднемезозойский возраст. На это указывает преимущественно сбросовый характер вертикальной компоненты смещений по субвертикальным нарушениям север-северо-восточного и север-северо-западного простираения (которые ориентированы на этом этапе под достаточно тупым углом к оси растяжения) в мезозойских породах.

Анализ полей тектонических напряжений по результатам детального изучения трещиноватости

Одним из важных элементов тектонофизического анализа является восстановление полей напряжений, которые определяли формирование и активизацию разломной сети района и, в конечном счете, локализацию кимберлитовых тел. Решение этого вопроса для площади Мало-Ботуобинского района осуществлялось на базе детального изучения трещиноватости. Основу для построений составили документация основных характеристик трещинной сети в коренном выходе и диаграммы массовых замеров трещин, выполненные в большинстве точек наблюдений. Выделение сопряженных пар систем трещин проводилось с использованием критериев М.В. Гзовского [5], В.Н. Даниловича [9], П.Н. Николаева [11], а также исходя из наличия и строения тройственных парагенезисов [12, 13]. Пример построений, для определения направлений осей главных нормальных напряжений в одной из точек наблюдений, приведен на рисунке 5.

Полученные решения в каждой из точек наблюдения были сведены в таблицу, фрагмент которой приведен ниже. Подавляющее большинство из них относится к сдвиговому типу. Обращает на себя внимание тот факт, что во многих точках отмечаются положения осей главных нормальных напряжений, соответствующих двум и более полям напряжений. В ряде случаев это отражает локальные вариации единого поля первого порядка. Однако большая часть полученных данных все-таки указывает на наличие 2-3 независимо проявляющихся полей тектонических напряжений, причем проявленных регионально. В пользу последнего

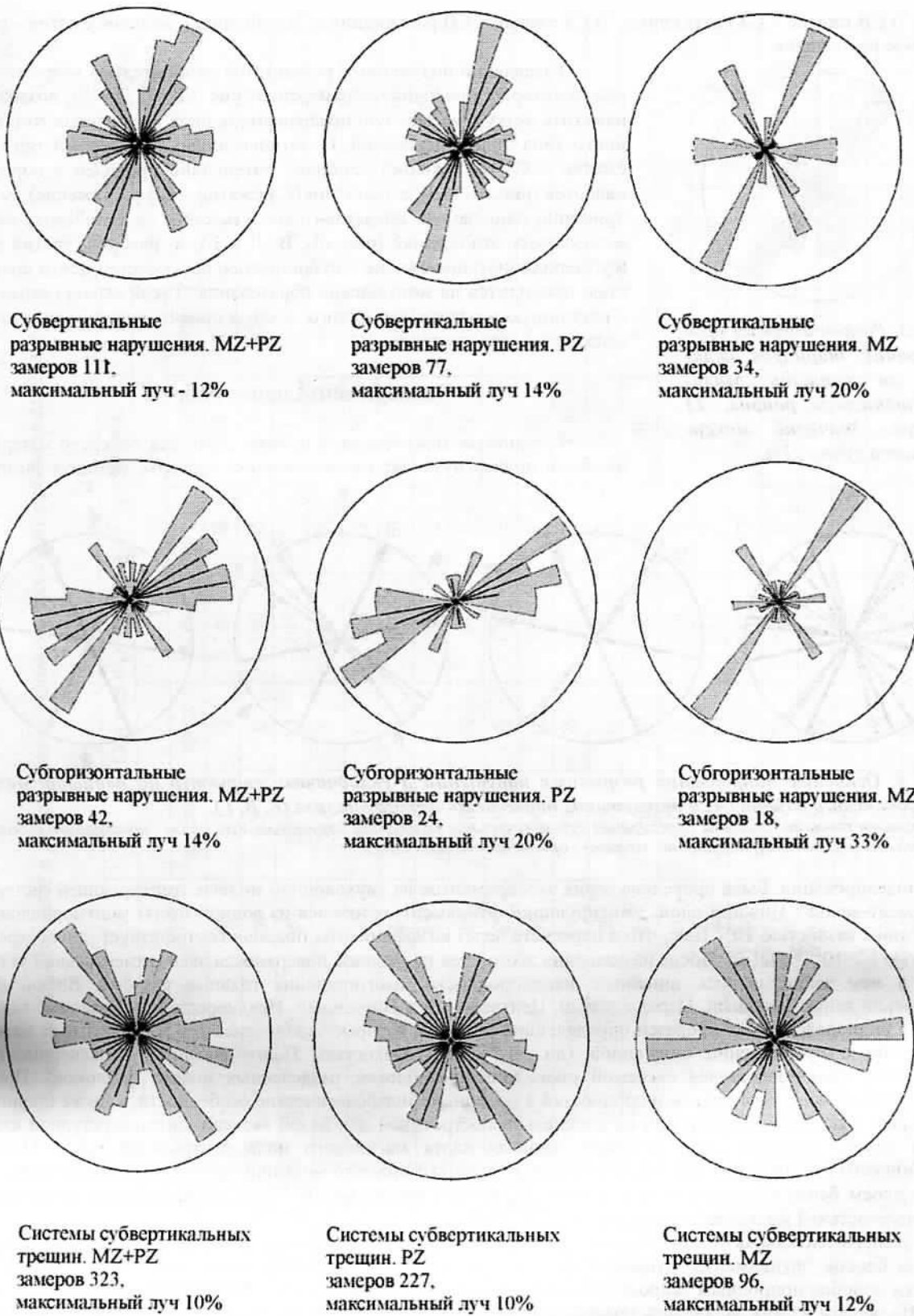


Рис. 2. Розы-диаграммы простираний дизъюнктивных структур на площади Мало-Ботубинского района.

тезиса свидетельствуют сводные розы-диаграммы направлений осей субгоризонтальных сжатия (\square_3) и растяжения (\square_1) (рис. 6). На диаграммах построенных по данным без разделения по возрасту пород (рис. 6А и Г) проявлены максимумы соответствующие положению осей главных нормальных напряжений трех типов

полей: 1) СВ сжатие – СЗ растяжение; 2) СЗ сжатие – СВ растяжение и 3) субмеридиональное сжатие – субширотное растяжение.

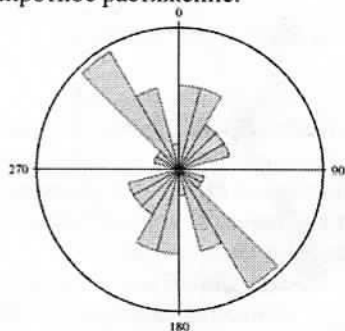


Рис. 3. Роза-диаграмма простираций шарниров складок на площади Мало-Ботубовинского района. 23 замера. Значение максимального луча - 21%.

Разделение полученных результатов относительно возраста пород, в которых проводились измерения (рис. 6Б, В, Д и Е), позволяет наметить четкую временную последовательность проявления того или иного типа поля напряжений. Отчетливо видно, что первый тип (СВ сжатие – СЗ растяжение) наиболее интенсивно проявлен в породах палеозоя (рис. 6Б и Д), второй тип (СЗ сжатие – СВ растяжение) имеет примерно одинаковую представительность как в палеозойских, так и мезозойских отложениях (рис. 6Б, В, Д и Е), и, наконец, третий тип (субмеридиональное сжатие – субширотное растяжение) почти полностью приходится на мезозойские образования. Такой вывод совпадает с результатами парагенетического анализа ориентировок разрывных и складчатых структур (рис. 4).

Экспериментальные работы

Результаты, полученные в процессе анализа полевого материала, были подвергнуты экспериментальной проверке методом физиче-

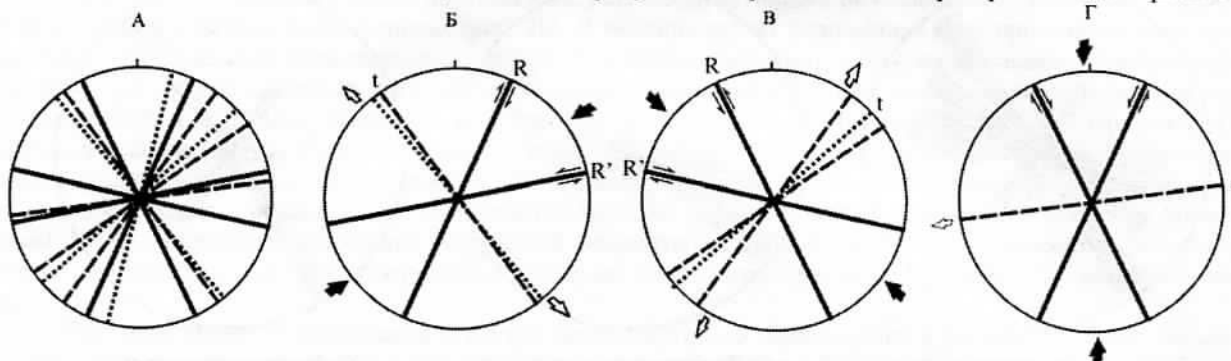


Рис. 4. Основные направления разрывных нарушений и складчатых структур на площади Мало-Ботубовинского района (А) и результаты парагенетического анализа (Б, В, Г).

Сплошными линиями показаны простираения субвертикальных разрывных нарушений, пунктиром - простираения субгоризонтальных (надвиговых) нарушений, точками - ориентировки осей складок.

ского моделирования. Была проведена серия экспериментов на двухслойной модели, имитирующей систему "фундамент-чехол". Нижний слой, имитирующий фундамент, готовился из водной пасты монтмориллоновой глины вязкостью 10^{7-8} Па·с, что в пересчете через коэффициенты подобия соответствует литосфере с вязкостью $\square = 10^{22-23}$ Па·с. После размещения этого слоя на рабочей поверхности экспериментальной установки в нем закладывались линейные неоднородности, имитирующие главные разломы Вилуйско-Мархинской зоны: Западный, Параллельный, Центральный и Восточный. Неоднородности-"разломы" задавались в виде шелевидных прорезей определенной ширины, которые заполнялись тем же модельным материалом, но с существенно сниженной (до 10^{3-4} Па·с) вязкостью. Подготовленный к эксперименту "фундамент" был представлен системой узких линейных блоков, разделенных зонами "разломов". Пространственное расположение неоднородностей в модели, их морфологические особенности, а также ширина находились в полном соответствии со специально построенной для целей эксперимента структурной схемой, в основу которой была положена сводная карта магнитного поля центральной части Мало-Ботубовинского района масштаба 1:10000. После подготовки нижнего моделируемого слоя он перекрывался другим слоем бентонитовой глины толщиной $4 \square 10^{-2}$ м и вязкостью 10^{4-5} Па·с, имитирующим осадочный чехол мощностью 2 км и средней вязкостью 10^{19-20} Па·с.

Экспериментальная установка позволяла задавать право- и левосторонние горизонтальные перемещения всех блоков "фундамента" относительно друг друга с заданными скоростями, соответствующими по условиям подобия природным скоростям в десятые доли миллиметров в год. Эксперимент проводился в два этапа. На первом из них задавались правосторонние перемещения системы блоков, при которых разделяющие их зоны разломов функционировали как правые сдвиги. На втором этапе, равном по длительности первому, после реверса перемещения системы блоков "фундамент" сменялись с право- на левосторонние. В результате двухэтапного разнонаправленного деформирования модели в "чехле" над "глубинными разломами фундамента" сформировались сдвиговые зоны внутреннее строение которых представлено разновременными и разноориентированными структурными парагенезисами разрывов R- и R'-типов (рис. 7Б и В). Полученные экспериментальные данные подтвердили предлагаемую геодинамическую модель многоэтапного формирования основных систем разрывных нарушений осадочного чехла в пределах Вилуйско-

Таблица

Фактические данные и результаты реконструкций полей напряжений

№ т.н.	Возраст пород	Сопряженные системы				Оси главных нормальных напряжений						Угол между системами	Критерии выделения систем	
		Азимут падения	Угол	Азимут падения	Угол	s1		s2		s3				
						аз. скл.	угол	аз. скл.	угол	аз. скл.	угол	аз. скл.	угол	
20101a	Mz	190	80	250	80	40	12	220	78	310	0	310	0	H
20101б		230	80	130	80	90	0	180	75	360	15	360	15	H
20102	Pz	60	50	225	40	289	81	144	7	53	5	53	5	H
		350	70	100	65	316	3	50	54	224	36	224	36	H
20201	Mz	60	65	220	40	52	13	144	12	276	73	276	73	H
20202	Pz	90	80	180	80	225	0	135	76	315	14	315	14	Hп
		340	80	110	85	135	3	36	72	226	17	226	17	Тр
20301	Mz	130	70	315	15	308	62	40	1	131	28	131	28	H + Д
		190	75	70	65	219	6	121	53	313	36	313	36	Тр
		100	40	280	70	280	15	190	0	100	75	100	75	Д
20302	Pz	110	80	347	80	228	20	48	70	318	0	318	0	Hп
		80	80	7	80	223	12	43	78	314	0	314	0	H
		60	15	240	15	330	90	150	0	240	0	240	0	H
20401	Mz (тр)	160	75	260	80	300	3	200	71	31	19	31	19	Тр
		20	60	205	20	197	70	291	2	21	20	21	20	Тр
		190	80	265	80	47	13	227	77	317	0	317	0	H
20402	Mz (тр)	310	50	135	15	127	72	221	1	311	18	311	18	Тр + Д
		5	30	210	20	148	82	285	6	15	5	15	5	H
		40	80	120	80	170	0	80	77	260	13	260	13	Hп
20403	Mz (тр)	235	75	325	80	101	17	268	72	9	4	9	4	Тр
		0	50	190	40	140	83	274	5	5	5	5	5	Hп + Д
		120	50	285	40	349	81	204	7	113	5	113	5	Д

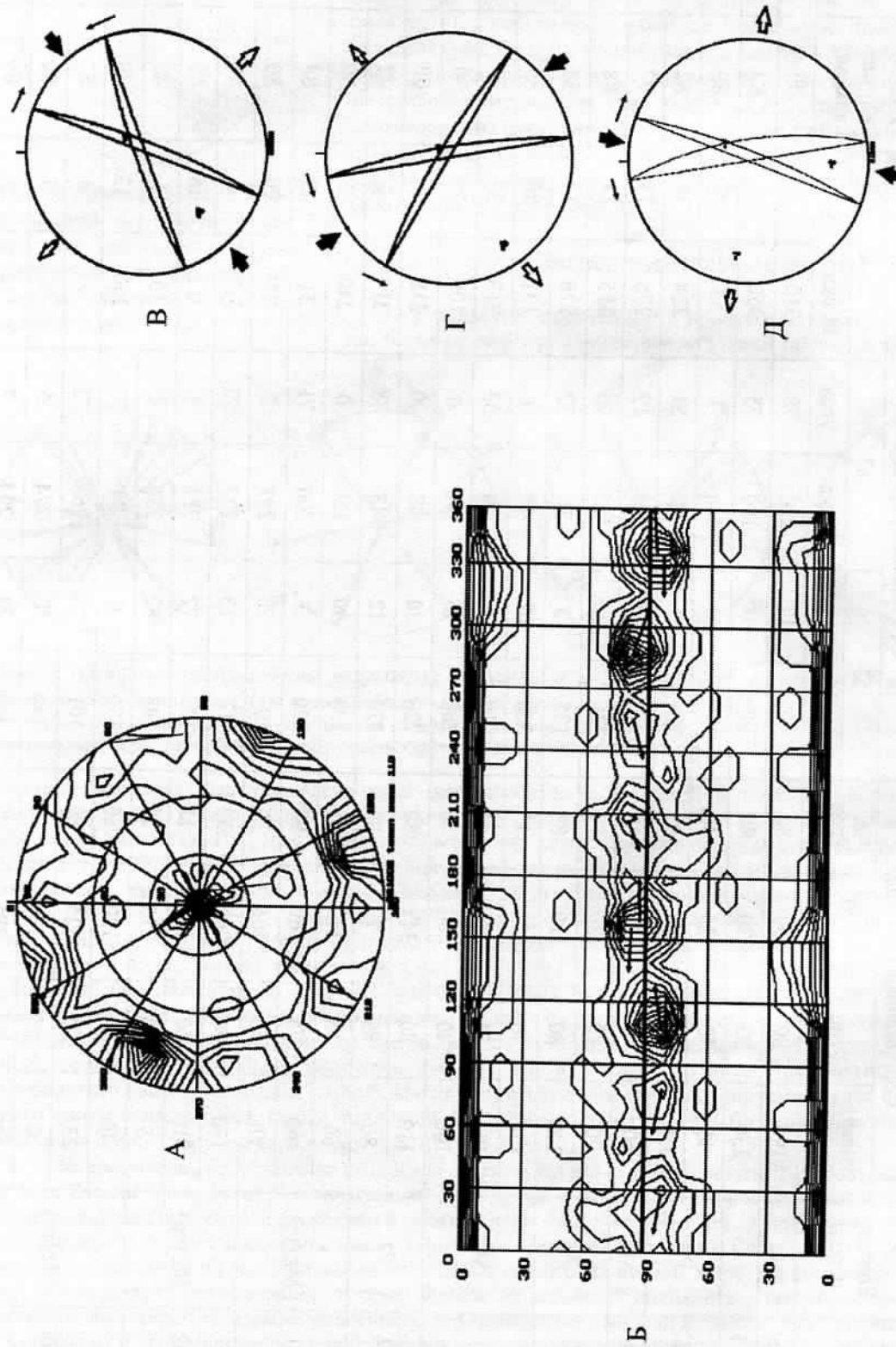


Рис. 5. Диаграммы массового замера трещины и результаты восстановления осей главных нормальных напряжений в точке наблюдения 21002. Карьер трубы Тайшань.
 А, Б - круговая (А) и прямоугольная (Б) диаграммы массового замера трещин. 100 трещин, проекция на верхнюю полусферу, шаг изолиний 1% (начальная изолиния - 0,5%);
 В, Г, Д - результаты восстановления поля тектонического напряжения (см. пояснения в тексте). Тонкими стрелками показано направление разбросов у максимумов систем трещин (по Николаеву, 1977). Крупными стрелками - направление оси сжатия (черные) и растяжения (белые).

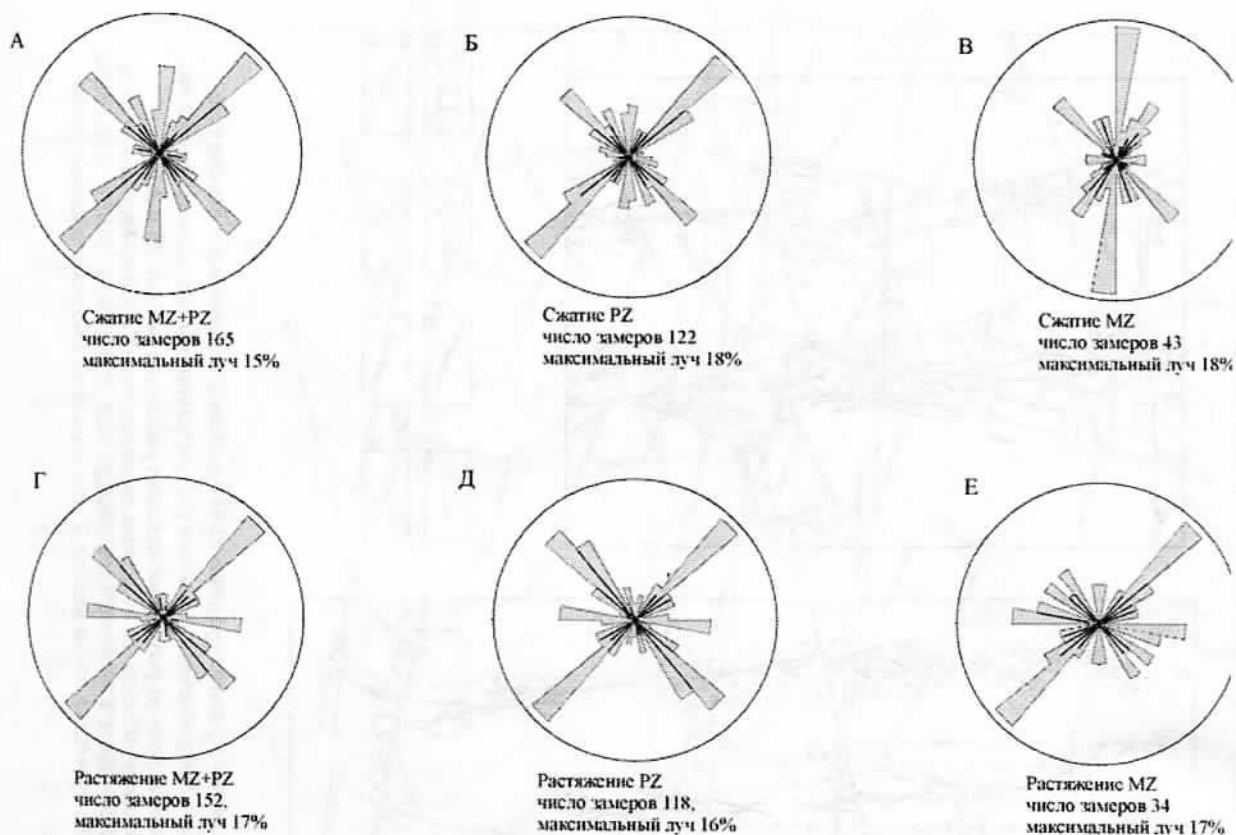


Рис. 6. Розы-диаграммы направления осей главных нормальных напряжений сжатия (А, Б, В) и растяжения (Г, Д, Е), восстановленных в точках наблюдения на площади Мало-Ботубинского района.

Мархинской зоны и намеченную полевыми тектонофизическими методами последовательность в смене кинематики движений по ним с право- на левосторонние.

Особенности строения и формирования разломно-блоковой структуры Мало-Ботубинского района

Установленные особенности проявления разрывных деформаций над разломами Виллойско-Мархинской зоны в верхних слоях платформенного чехла и результаты физического моделирования [7, 8] позволяют, несмотря на очень неравномерный характер распределения точек наблюдения, построить схему разломно-блоковой структуры для южного участка площади исследований - территории Мирнинского кимберлитового поля. Основой для нее послужили данные, характеризующие элементы залегания и основные параметры разрывных нарушений, а также систем трещин, зафиксированные при изучении коренных выходов. При построениях линии разрывных нарушений проводились на основании следующих критериев:

- прямые наблюдения зон повышенной трещиноватости и дробления;
- выделение в точке наблюдения наиболее интенсивной системы трещин в качестве возможного разломного направления;
- наличие спрямленных отрезков речных долин и прочих форм рельефа;
- наличие нарушений, выделенного по геофизическим данным.

Первые два из них были определяющими независимо от наличия или отсутствия геоморфологических или геофизических данных, которые использовались, главным образом, как вспомогательные для трассирования нарушений на участках, где отсутствовали точки наблюдений. Кроме указанных критериев, при проведении линий разрывных нарушений учитывались известные закономерности строения сдвиговых разломных зон и результаты выполненного физического моделирования (рис. 7В). Это касалось, прежде всего, различий в протяженности и выраженности разных групп опережающих разрывов (R и R'-сколов), а также взаимоотношений разрывных структур, сформированных на разных этапах.

Полученная в результате комплексного рассмотрения геолого-структурных, геоморфологических и геофизических данных схема (рис. 8) наиболее полно отражает строение сети разрывных нарушений для

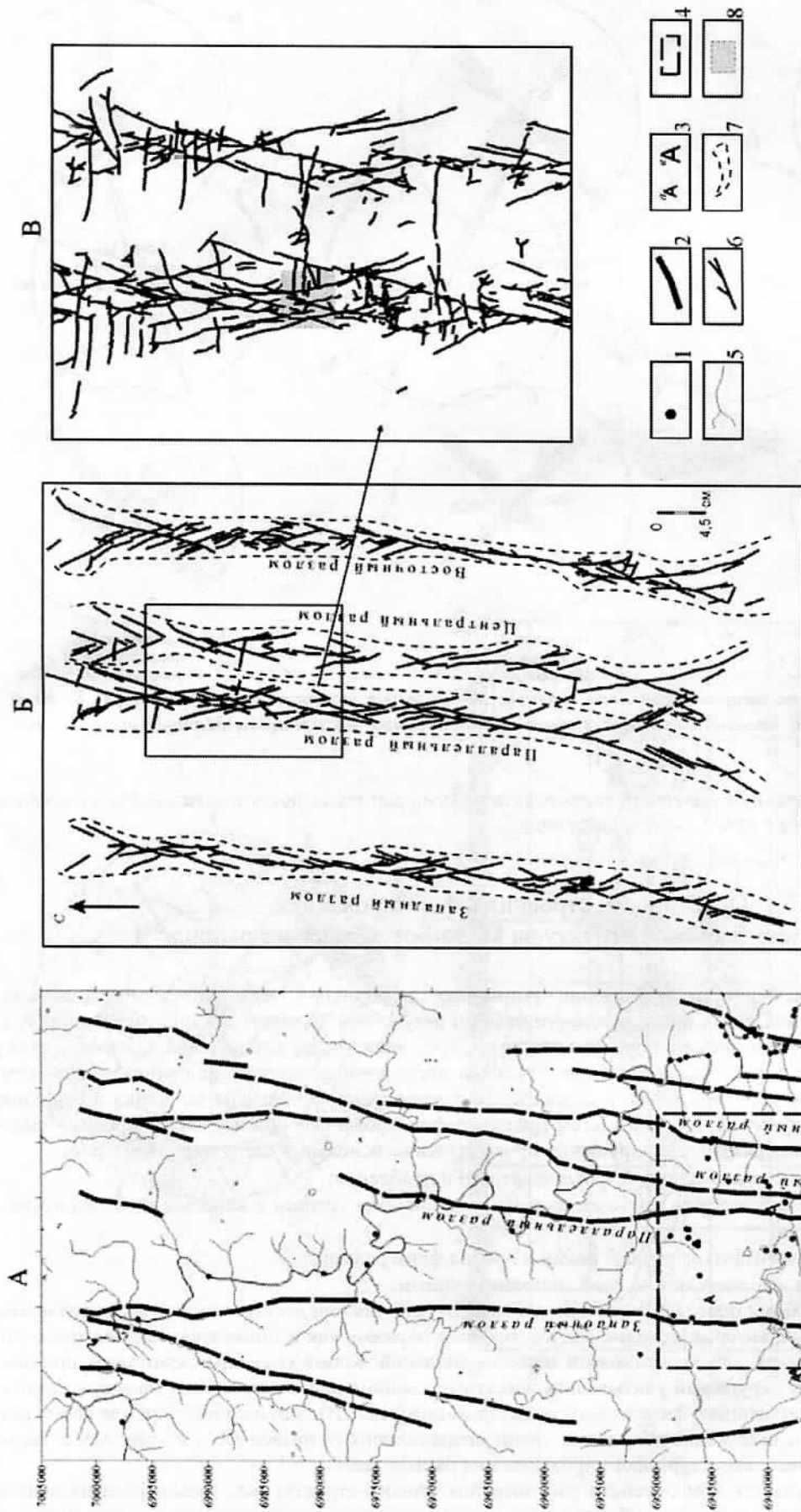


Рис. 7. Схема главных разломов и расположения точек полевых тектонофизических наблюдений на площади Мало-Ботубинского района (А); результаты тектонофизического моделирования формирования этапов развития главных разломов района (Б и В).
 1 - точки полевых тектонофизических наблюдений; 2 - осевые линии разломов Вилгойско-Мархинской зоны; 3 - трубки; 4 - участки, воспроизведенный на модели; 5 - реки; 6 - разрывы на поверхности модели; 7 - границы сдвиговых зон на модели; 8 - площадь возможного расположения трубки Млрд.

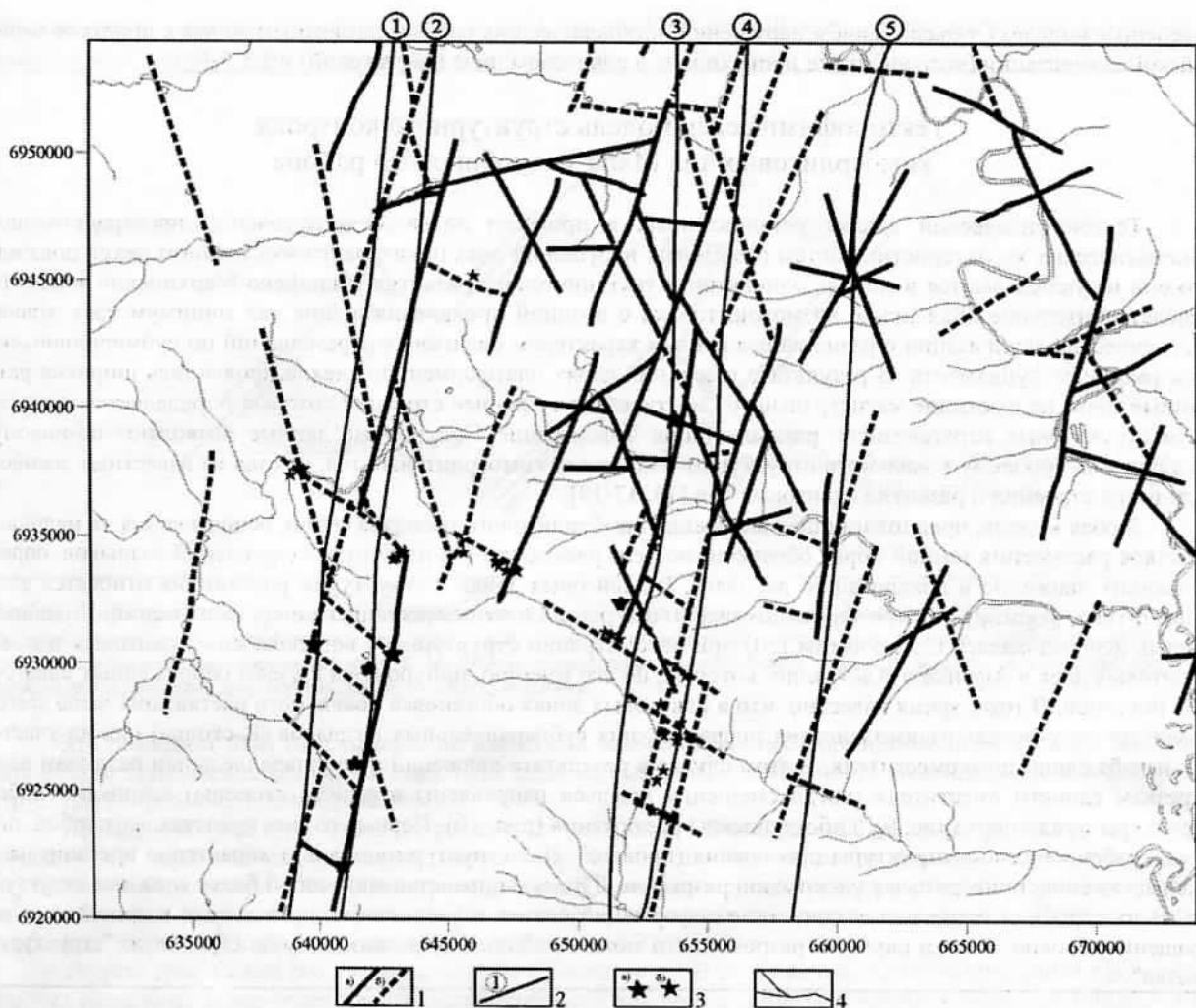


Рис. 8. Схема разломно-блокового строения Мирнинского кимберлитового поля.

1 - разломы в верхних слоях платформенного чехла: а) установленные, б) предполагаемые; 2 - разломы фундамента, выделенные по геофизическим данным: 1 - Кюеляхский, 2 - Западный, 3 - Параллельный, 4 - Центральный, 5 - Восточный; 3 - трубки алмазов, б) туфов; 4 - речная сеть.

центральной части участка, где сосредоточена основная масса точек наблюдения. Для остальной территории разломная сеть пока охарактеризована фрагментарно. Основными элементами итоговой схемы являются серии субпараллельных разрывных нарушений север-северо-восточного и север-северо-западного простираний, характеризующихся практически вертикальным падением. Как первые, так и вторые имеют кулисообразное расположение в зонах, проявленных над субмеридиональными разломами фундамента (Западный, Параллельный, Центральный и Восточный). Именно взаимодействием нарушений указанных ориентировок определяется тот факт, что на изученной площади преимущественное развитие имеют X-образные узлы пересечения разрывов, а также ромбовидные, вытянутые в субмеридиональном направлении блоки. Нарушения других направлений (восток-северо-восточного и запад-северо-западного) подчиненное значение и осложняют структурный план участка, определяя появление более мелких блоков треугольной и трапециевидной формы.

Несмотря на внешнее подобие результатам экспериментальных работ, природная схема характеризуется рядом особенностей. Во-первых, в отличие от итоговой картины, полученной в эксперименте (рис. 7А и Б), где практически все разрывы проявились только над разломами в фундаменте, на территории Мирнинского кимберлитового поля устанавливаются разрывы, проявленные в широких линейных блоках, разделяющих разломные сместители (например между Западным и Параллельным разломами). Можно предположить, что здесь также имеет место субмеридиональный разлом (по каким-либо причинам не выполненный дайковым телом и поэтому "невидимый" для методов геофизики), хотя этот вопрос требует дополнительного изучения и обоснования. Во-вторых, над сближенными в пространстве парами разломов (например, Параллельный - Центральный, Кюеляхский - Западный) часто формируется единая сеть нарушений, хотя в эксперименте каждая из таких разломных зон характеризуется автономным строением. Это может быть вызвано рядом причин: усложнением разрывообразования в слоистых толщах чехла (что пока не было воспро-

изведено в моделях), объединением нарушений, принадлежащих разным разломным зонам в процессе мезозойской активизации (которая также происходила в сдвиговом поле напряжений) и т.д.

Тектонофизическая модель структурного контроля кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского района

Тектонофизический анализ установленных в процессе полевых исследований пространственно-кинематических характеристик систем разрывных нарушений локального ранга в осадочном чехле показал, что они не укладываются в модель одноактного тектонического развития Виллойско-Мархинской зоны. Их удовлетворительное объяснение возможно только с позиций проявления в зоне как минимум трех этапов тектонической активизации с разнонаправленным характером сдвиговых перемещений по субмеридиональным разломам фундамента. В результате в верхних слоях платформенного чехла проявились широкие разломные зоны, не имеющие магистрального сместителя, внутреннее строение которых определяется наложением структурных парагенезисов разных этапов деформаций. Полученные данные позволяют по-новому взглянуть на проблему локального структурного контроля кимберлитовых тел, исходя из известных закономерностей строения и развития сдвиговых зон [13, 17-19].

Любая модель, предполагающая внедрение кимберлитового расплава (тела), основывается на наличии участков растяжения земной коры, обеспечивающего раскрытие тех или иных направлений разрывов, определяющих движение и локализацию расплава. В сдвиговых зонах к структурам растяжения относятся разрывы п-типа, формирующиеся перпендикулярно оси растяжения действующего поля напряжений. Подобная модель использовалась С.Х. Уайтом [20] при рассмотрении структурного контроля кимберлитовых и лампроитовых даек в Африке и Австралии, которые, по его мнению, приурочены к узлам сопряженных сдвиговых разломов. В тоже время известно, что в сдвиговых зонах обстановка локального растяжения чаще всего возникает на участках взаимодействия прорастающих субпараллельных разрывов (R-сколов) или на участках изгиба сдвигового сместителя. В этом случае в результате движений по субпараллельным разрывам или отрезкам единого сместителя (когда смещения крыльев направлены в разные стороны) возникают либо структуры пулл-апарт (рис. 9), либо дуплексы растяжения (рис. 10). Первые из них представляют собой, по сути, грабенообразные структуры проседания (провала). Для структур пулл-апарт характерно превалирование растяжения, приводящее к раскрытию разрывов. Дуплексы представляют собой более сложные структуры. В их строении проявляется сочетание деформаций сдвига и растяжения, приводящее к проседанию и вращению блоков. В этом случае в разрезе часто можно наблюдать так называемую сбросовую "структуру цветка".

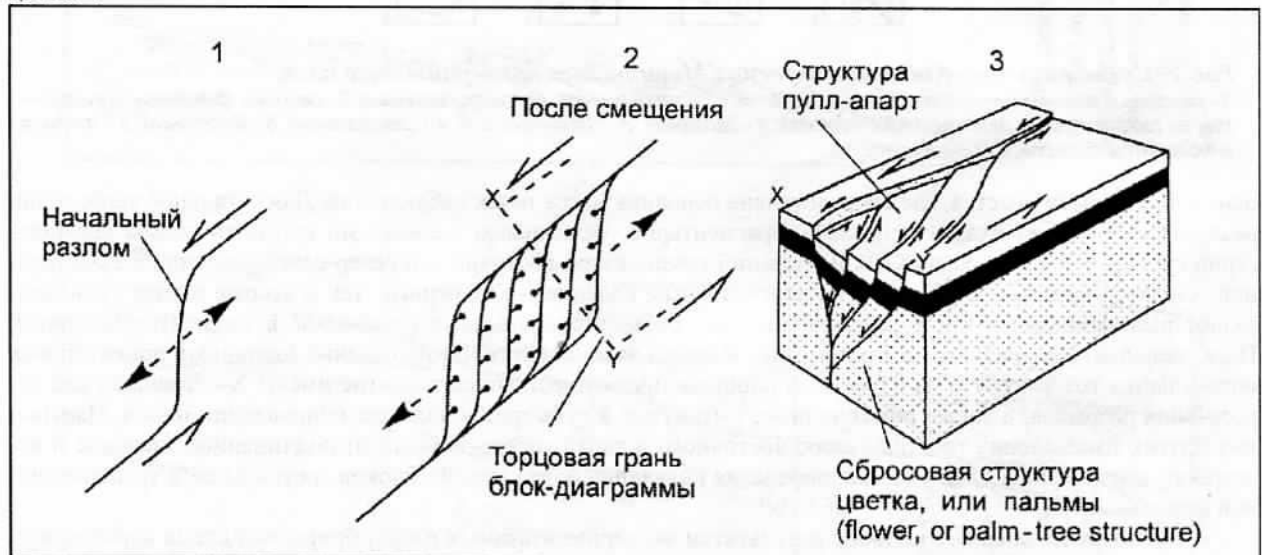


Рис. 9. Формирование в зоне сдвига структур сжатия и растяжения (Hatcher, 1990).

Модели формирования в зоне сдвига структур сжатия - приподнятых блоков (горстов), ограниченных взбросами (надвигами), и структур растяжения - просевших блоков (грабенов или структур «пулл-апарт»), ограниченных сбросами.

Рассматривая положение в Мало-Ботуобинском районе известных кимберлитовых тел, можно отметить, что они приурочены, как и было известно ранее [3, 15 и т.д.], к узлам пересечения север-северо-восточных и запад-северо-западных разрывных нарушений (рис. 8, 11). Однако принципиальной новизной полученной нами схемы является то, что практически все указанные узлы приходятся на участки взаимо-

действия между окончаниями сближенных кулисообразных нарушений север-северо-восточных нарушений, имеющих характерные черты дуплексных или пулл-апарт структур (рис. 11Б и В).



Рис. 10. Формирование дуплекса растяжения в зоне левого сдвига (Twiss, Moores, 1992).

Длинные стрелки - направление главных движений по разломам, короткие стрелки - направление сдвиговых перемещений по второстепенным разломам внутри дуплекса. 1 - начальная стадия формирования левого сдвига; 2 - развитие дуплекса при продолжающемся левосдвиговом перемещении; 3 - блок-диаграмма.

Это позволяет нам, основываясь на известных закономерностях формирования разломных зон, увязать момент становления кимберлитовых тел с выделенными выше этапами становления разломно-блоковой структуры Мирнинского кимберлитового поля:

Первый этап (рис. 11А). Развитие разломных зон в поле СВ сжатия – СЗ растяжения, становление правосдвигового парагенезиса разрывных нарушений. Этот этап ознаменовался формированием разрывных нарушений восток-северо-восточного простирания (R'-сколы), и с некоторым разрывом во времени - серии кулисообразных разрывных нарушений север-северо-восточного простирания (R-сколы). Первые из них "работали" как левые, а вторые – как правые сдвиги.

Второй этап. Смена поля напряжений на СЗ-сжатие – СВ растяжение. Активизация ранее сформированных разрывных север-северо-восточных нарушений как левых сдвигов, а восток-северо-восточных – как правых сдвигов с элементами сжатия (и у тех и у других – взбросовая компонента). В начальный период этого этапа (рис. 10Б) происходит формирование дизъюнктивов запад-северо-западного простирания (R'-сколы), затем, через некоторое время (рис. 11В) – кулисообразных разрывов север-северо-западного простирания (R-сколы). Первые проявляются как правые, а вторые – как левые сдвиги. Очень важным моментом этого этапа является взаимодействие формирующихся разрывов запад-северо-западной ориентировки и активизированных север-северо-восточных дизъюнктивов. Проявление первых из них на участках сближенных кулис север-северо-восточных нарушений приводит формированию дуплексов растяжения и структур пулл-апарт. При этом идет раскрытие запад-северо-западных разрывов и внедрение по ним кимберлитовых тел. В дальнейшем, с началом формирования R-сколов данного этапа, ведущая роль во взаимодействии с активизированными нарушениями переходит к ним и структуры растяжения прекращают свое развитие.

Третий этап (рис. 11Г). Смена поля напряжений на субмеридиональное сжатие – субширотное растяжение. Активизация сети разрывов сформированных на предыдущих этапах. В это время кулисы R-сколов разных этапов активизируются как левые (север-северо-восточные нарушения) и правые (север-северо-западные) сдвиги с элементами растяжения (сбросовая компонента смещений). Это этап деформирования трубок локализованных в верхних слоях платформенного чехла – тектоническая активизация вертикальных контактов кимберлитовых тел и смещение их по субгоризонтальным срывам.

Представленная схема развития разрывной сети и внедрения кимберлитовых трубок Мирнинского кимберлитового поля в сдвиговых зонах, формирующихся в платформенном чехле над субмеридиональными разломами фундамента, позволяет получить ответы на ряд вопросов, поднимавшихся предыдущими исследователями. Во-первых, объясняется отсутствие значительных вертикальных смещений по разрывным нарушениям в верхних слоях (верхний кембрий и нижний ордовик) осадочного чехла. Во-вторых, становится понятным, почему при субмеридиональном простирании кимберлитоконтролирующих разломных зон длинные оси трубок ориентированы в запад-северо-западном направлении [3]. В-третьих, объясняется тектонический характер контактов кимберлитовых тел и смещения их по субгоризонтальным разрывам [16 и др.]. И, наконец, данная модель, свидетельствует о том, что в первую очередь поисковые работы должны быть сконцентрированы вдоль зоны субмеридиональных разломов фундамента, причем их структурная составляющая должна быть направлена на создание алгоритма распознавания разномасштабных присдвигов

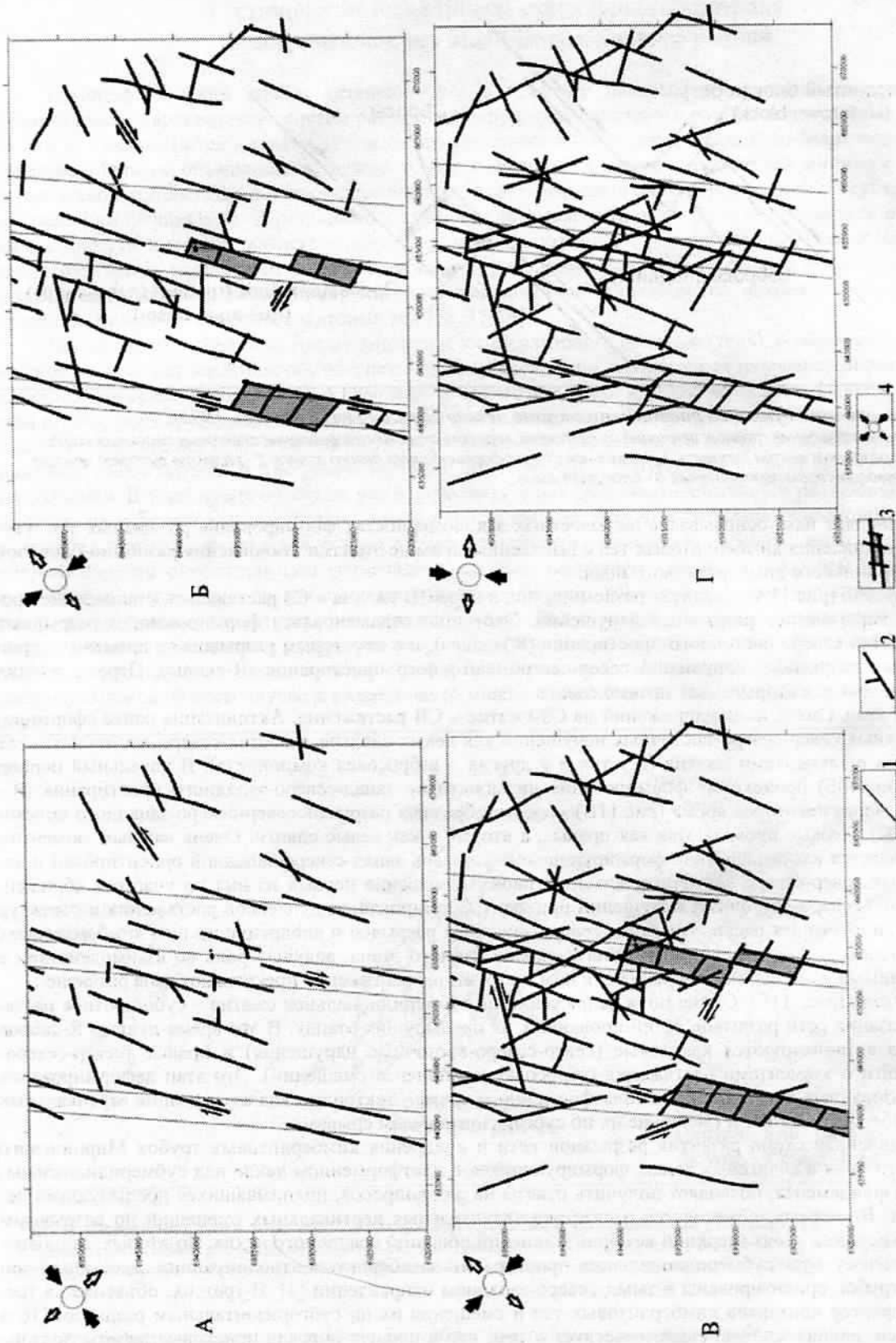


Рис. 11. Этапы формирования сети разрывных нарушений в верхних слоях платформенного чехла на площади Мирнинского кимберлитового поля. А - I этап; Б, В - II этап; Г - III этап; 1 - осевые линии разломов фундамента Вил'нойс-Марковской зоны; 2 - разрывные нарушения в верхней части платформенного чехла; 3 - дуплекс растяжения; 4 - ориентировка осей сжатия (черного) и растяжения (белого) регионального поля тектонических напряжений.

вых структур растяжения (душлексов и пулл-апарт структур) по комплексу геолого-структурных, геофизических и топографических данных.

Заключение

Проведенные тектонофизические исследования в пределах Мало-Ботуобинского района на качественно новом уровне показали, что разломно-блоковая тектоника играет существенную роль в пространственном размещении кимберлитовых тел. На основании полевых наблюдений и тектонофизического моделирования для этого района разработана трехстадийная модель формирования и активизации зон кимберлитоконтролирующих разломов, а также участков внедрения кимберлитовых тел. Предложена принципиально новая схема геодинамического развития зон разломов в пределах платформенного чехла. Полученные данные свидетельствуют, что локализация кимберлитовых диатрем Мирнинского кимберлитового поля приходится на участки взаимодействия между окончаниями сближенных кулис север-северо-восточного направления, имеющих характерные черты душлексных или пулл-апарт структур. Выделение подобных структур в пределах Вилнойско-Мархинской системы разломов на ранних этапах проведения поисковых работ может рассматриваться как дополнительный прогнозный критерий.

Список литературы

1. Бабаян Г.Д., Молчанов Ю.Д., Саврасов Д.И. Отражение разломной тектоники Малоботуобинского района в гравитационном поле // В сб. «Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции». – Якутск: Якут. кн. изд-во, 1976. – С. 97-100.
2. Биезайс Я.Я. Глубинная сейсмогеологическая модель кимберлитобразующей системы (на примере Мирнинского кимберлитового поля Якутии). – Воронеж: изд-во ВГУ, 2002. – 104 с.
3. Борис Е.И., Францессон Е.В. О закономерностях размещения кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе (Западная Якутия) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1992. – № 5. – С. 68-75.
4. Варламов В.А. Структуры кимберлитовых полей как разновидность вулканических построек центрального типа // Тр. ЦНИГРИ, вып. 237. – М., 1989. – С. 16-25.
5. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
6. Гладков А.С., Семинский К.Ж. Нетрадиционный анализ поясов трещиноватости при картировании субгоризонтальных разломных зон (на примере окрестностей г. Иркутска) // Геология и геофизика. – 1999. – Т.40, № 2. – С. 213-220.
7. Гладков А.С., Зинчук Н.Н., Шерман С.И. и др. Тектонофизический подход к анализу разломов Мало-Ботуобинского кимберлитового района // В сб. «Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании "АЛРОСА": современное состояние, перспективы, решения». – Мирный, 2003. – С. 266-272.
8. Гладков А.С., Зинчук Н.Н., Борняков С.А. и др. Новые данные о внутреннем строении и механизме образования зон кимберлитовмещающих разломов Мало-Ботуобинского района (Якутская алмазоносная провинция) // Докл. РАН, 2004 (в печати).
9. Данилович В.Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. – Иркутск, 1961. – 48 с.
10. Молчанов Ю.Д., Саврасов Д.И. Физико-геологическая характеристика кимберлитоконтролирующих разломов Мирнинского кимберлитового поля // В сб. «Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири». – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 45-64.
11. Николаев П.Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкция полей тектонических напряжений // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1977. – № 12. – С. 103-116.
12. Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика. – 1994. – № 9. – С. 112-130.
13. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. – Новосибирск: изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2003. – 244 с.
14. Фомин Ю.М. Структурная позиция алмазоносных полей востока Сибирской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. – 1992. – № 12. – С. 99-103.
15. Харьков А.Д., Борис Е.И., Иванов И.Н., Щукин В.Н. К характеристике трубок взрыва Мало-Ботуобинского района // Сов. Геология. – 1972. – № 8. – С. 51-65.
16. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. – М: Недра, 1998. – 555 с.
17. Aydin A., Nur A. Evolution of pull-apart basins and their scale independence // Tectonics. – 1982. – Vol.1. – P. 91-105.
18. Hatcher R.D. Structural geology. – Columbus, Ohio: Merrill Publisher Company, 1990. – 531 p.
19. Twiss R.J., Moores E.M. Structural geology. W.N. Freeman and Company. – New York, 1992. – 532 p.
20. White S.H., Boorder H., Smith C.B. Structural controls of kimberlite and lamproite emplacement // Journ. of Geochemical Exploration. – 1995. – Vol. 53. – P. 245-264.