

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ АЛМАЗОВ ВЕРХНЕПАЛЕЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ МАЛО-БОТУОБИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Рассмотрены перспективы выявления на Чернышевско-Лапчанской площади Мало-Ботуобинского алмазоносного района коренных источников алмазов. Приведены результаты обработки минералогических данных и материалы палеогеологических реконструкций. Анализ пространственной изменчивости типоморфных особенностей минералов-спутников алмаза (МСА) из продуктивной толщи лапчанско-ботуобинских отложений позднего палеозоя позволил выделить высокоперспективный на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма участок, расположенный восточнее среднепалеозойской тuffовой трубки Маар-Сиене.

Ключевые слова: анализ, изменчивость, пикроильменит, пироп, прогноз.

Открытию и изучению алмазоносности верхнепалеозойских отложений, широко распространённых на северо-западе Мало-Ботуобинского алмазоносного района (в дальнейшем – Чернышевско-Лапчанской площади), а также поискам здесь коренных источников алмазов исполнилось полвека. Несмотря на значительные материальные затраты и усилия геологоразведчиков, кимберлиты на упомянутой площади не выявлены (рис. 1). Основными причинами являются сложная история геологического развития территории, в частности переотложенный характер ореолов минералов-спутников алмаза, а также то, что поисковые объекты перекрыты мощной толщей посткимберлитовых образований различных возрастов и генезиса. Вместе с тем, выполненные работы позволили получить огромный массив фактографической шлихоминералогической информации, которая имеет фундаментальное значение при поисках кимберлитов.

Ключ к решению проблемы Чернышевско-Лапчанской площади, а также других закрытых алмазоперспективных площадей, по нашему мнению, – количественная оценка и пространственно-временной анализ минералогической информации на основе сведений, содержащихся в карточках минералогического описания МСА из шлиховых проб (главным образом керновых), структурированных в базы данных. Безусловным и естественным при осуществлении такого изучения является привлечение материалов о геологическом строении Чернышевско-Лапчанской площади и в целом северо-западной части Мало-Ботуобинского алмазоносного района.

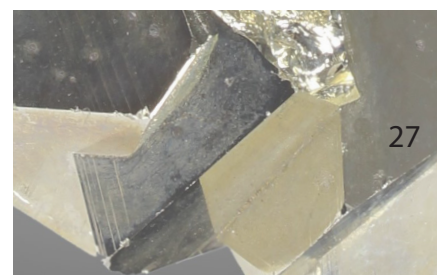
Краткие сведения о геологическом строении Мало-Ботуобинского алмазоносного района. Находится в южной части Якутской



**Мясникова
Зоя Александровна**

**Мясников
Фёдор Васильевич**

кандидат геолого-минералогических наук
z_fedor49@mail.ru



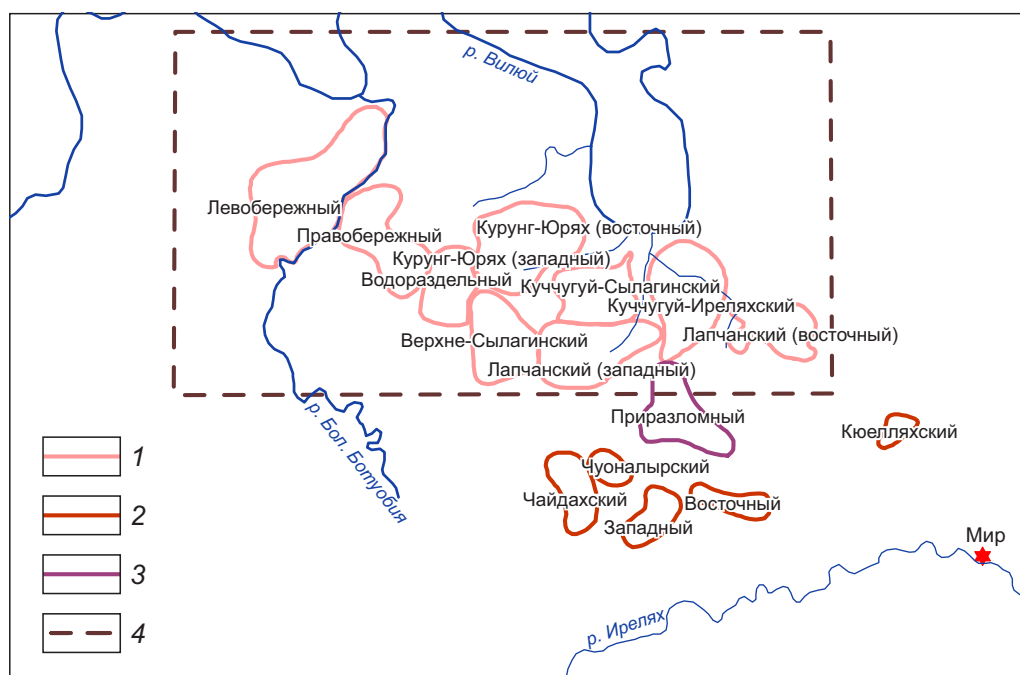


Рис. 1. ПОЛОЖЕНИЕ ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ МСА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАЛО-БОТУБИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА:

обобщённые контуры ореолов: 1 – Чернышевско-Лапчанской, 2 – Ирелях-Чайдахской площадей, 3 – Приразломного ореола; 4 – Чернышевско-Лапчанская алмазопоисковая площадь

алмазоносной провинции в пределах Мирнинского свода Непско-Ботубинской антеклизы, которая с запада ограничивается Тунгусской, с востока – Вилюйской синеклизами, а на севере переходит в Анабарскую антеклизу (по материалам отчётов Чернышевской геологоразведочной экспедиции).

В геологическом строении района участвуют ультраметаморфические комплексы, слагающие кристаллический фундамент, осадочные отложения чехла платформы, различные магматические образования. Породы фундамента залегают на глубине 2–3 км. Терригенно-карбонатные формации венда с региональным несогласием перекрывают поверхность фундамента. Нижнепалеозойские отложения представлены терригенно-карбонатными и сульфатно-галогенными формациями мощностью от 1800 до 2200 м. Они включают юдейскую, эльгянскую, толбачанскую, олёкминскую, чарскую, ичерскую, метегерскую, мирнинскую и холомолохскую свиты кембрия. Завершает разрез нижнепалеозойских отложений устькутская свита ордовика. Верхнедевонские и нижнекаменноугольные образования представ-

лены корами выветривания на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя.

Верхнепалеозойские отложения сложены терригенными толщами, в составе которых выделяются: лапчанская свита мощностью 10–20 м, залегающая с размывом на породах холомолохской свиты верхнего кембрия; ботубобинская свита мощностью 25–55 м, сложенная в нижней части разнородными песками, в верхней – алевролитами, при отсутствии лапчанских отложений залегают на эродированных породах холомолохской или устькутской свит; боруллойская свита мощностью до 80 м, залегающая с перерывом в осадконакоплении и незначительным размывом на подстилающих верхнепалеозойских отложениях. Суммарная мощность верхнепалеозойских отложений варьирует от первых метров до 150–200 м и более на западе района. Они распространены почти повсеместно, но отсутствуют на участках развития современной и юрской гидросетей. В настоящее время они приоритетны для постановки алмазопоисковых работ.

Мезозойские отложения представлены туфами и их производными чичиканской свиты ниж-

него триаса мощностью до 130 м, образованиями кор выветривания среднего – позднего триаса и отложениями нижнего отдела юрской системы. Наиболее широко на площади распространены юрские отложения. Их мощность колеблется от первых метров до 100 м, увеличиваясь в юго-восточном направлении. Кайнозойская толща представлена четвертичными аллювиальными, элювиально-делювиальными и широко распространёнными озёрно-болотными отложениями.

Значительно распространённые магматические образования представлены трапповой и кимберлитовой формациями. Формировались в течение двух тектонических этапов: среднепалеозойского и позднепалеозойско-раннемезозойского. В среднем палеозое были проявлены оба формационных типа, в мезозое – породы основного состава.

Среднепалеозойская кимберлитовая формация в Мирнинском поле представлена семью трубками взрыва и двумя жилами. Поле находится в северо-восточном окончании Мирнинского свода на пересечении Джункун-Хампинской зоны северо-восточного простирания и Вилюйско-Мархинской – субмеридионального. Размещение трубок контролируется узлами пересечения разломов Вилюйско-Мархинской зоны с рудовмещающими разломами северо-западного направления.

На территории района установлены разновасштабные и разновозрастные пликвативные и дизъюнктивные дислокации, которые имеют унаследованный или наложенный характер.

Большое значение при алмазопроисловых работах уделяется изучению разрывных нарушений. В восточной и центральной частях территории выявлены нарушения Мирнинской ветви Вилюйско-Мархинской зоны глубинных разломов: Западный, Параллельный, Центральный, Восточный, Чуоналырский, Буордахский, Моркокинский. На западе площади обнаружены Мунурский, Сылагинский, Нижнеботуобинский и другие разломы субмеридионального простирания. Наряду с субмеридиональными разломами, в районе проявлены нарушения северо-западного, северо-восточного и реже субширотного направлений. Северо-западные разломы считаются рудовмещающими. К ним приурочены не только кимберлитовые тела, но и большая часть туфовых трубок. Разломы северо-восточной ориентировки являются фрагментами региональной долгоживущей Ангаро-Вилюйской системы разрывных нарушений. Они широко

распространены и проявлены наиболее контрастно, отчётливо выражены в толще кимберлитовмещающих пород в виде грабенообразных структур, флексурных перегибов, часто разделяют блоки с различным уровнем эрозионного среза, что свидетельствует об их древнем заложении и последующей активизации в среднем палеозое.

Объектом обработки и анализа послужили в основном МСА из верхнепалеозойских отложений. Выполненными работами установлена цикличность (ритмичность) различного порядка в построении верхнепалеозойских отложений в составе лапчанской, ботуобинской и боруллойской свит. Для внутреннего строения свит типичны чередование песков, песчаников с гравийниками или галечниками в подошве, алевритами, тонкозернистыми алевритистыми песками и тонкими пропластками углистого материала в верхней части ритма. Верхнепалеозойские толщи характеризуются сложнопостроенным полифациальным составом, сформированным в условиях неоднократного чередования регрессивных и трансгрессивных этапов развития территории с заполнением унаследованных со среднего карбона разновасштабных форм рельефа. Им, с одной стороны, свойственно литологическое однообразие разновасрастных отложений, с другой – значительная фациальная изменчивость разновасрастных отложений по латерали.

Установлено развитие фаций континентальной и бассейновых групп с формированием ореолов МСА соответствующего морфогенетического типа. Континентальные отложения включают делювиальные, аллювиальные и озёрно-болотные образования; среди бассейновых известны дельтовые, баровые, пляжевые, отложения лагун и заливов. Разновасрастные базальные отложения, вмещающие ореолы, нередко относятся к различным фациям. Между фациальным составом отложений и формами рельефа различного ранга имеется в различной степени выраженная пространственно-генетическая связь.

В верхнепалеозойских отложениях выделено до пяти стратиграфических уровней, содержащих МСА, которые связаны с континентальными или бассейновыми обстановками осадконакопления. Повышенные концентрации МСА известны в отложениях лапчанской, ботуобинской и боруллойской свит. Максимальные концентрации МСА локализируются на участках налегания разновасрастных

ных подошвенных горизонтов продуктивной толщи на подстилающие породы кимберлитовмещающего субстрата. Для района характерны пикроильменитовая или пикроильменитовая с пиропом ассоциации кимберлитовых минералов. Содержание МСА достигает первой тысячи и более (до 10–12 тыс.) знаков в гранулометрическом классе +0,25 мм из расчёта на пробу объёмом 10 л. Чаще содержание МСА 5–200 знаков на пробу. Выявленные МСА иногда отличаются значительной крупностью (до 4, реже 8 мм в поперечнике), но основную массу составляют мелкие зёрна. Характерно присутствие слабоизношенных минералов I–II класса сохранности, а также малоустойчивых к транспортировке агрегатных зёрен пикроильменита. Как правило, МСА приурочены к галечникам, конгломератам, гравийникам, песчаным образованиям с рассеянной галькой и гравием. Распределение минералов по вертикальному разрезу и латерали крайне неравномерное. Наибольшие концентрации МСА тяготеют к основанию ботубинской свиты, представленной песчаниками с прослоями конгломератов и песков, характерными для инстративных аллювиальных толщ регрессивной части цикла осадконакопления.

Материалы и методы. Ореолы Чернышевско-Лапчанской площади, как следует из выполненных работ, образуют практически единое минералогическое поле (рис. 2; см. рис. 1, а также рис. 10). Для исследований привлекались результаты сокращённого полуколичественного минералогического анализа проб, отобранных в ходе кернового опробования позднепалеозойских терригенных коллекторов алмаза и его минералов-спутников. Сеть опробования соответствует различной в пределах площади плотности скважин и варьирует от 250x250 м на детальных участках до 4000x1000 м на её флангах (см. рис. 2, в).

Как уже отмечалось, МСА в основном приурочены к отложениям континентального генезиса в нижней пятиметровой так называемой продуктивной толще лапчанского, чаще ботубинского возраста, залегающей на эродированной поверхности холомолохской свиты. С использованием базы минералогических данных, созданной в Чернышевской геологоразведочной экспедиции по результатам описания шлиховых проб, получен-

ных на площади с 1980 по 1994 гг., был сформирован массив исходных данных. Он включал описания типоморфных признаков* пиропы и пикроильменита из 5740 проб со спутниками, зафиксированными в продуктивной толще на территории площадью ~1200 км² между разведочными магистральями от +5 до -50 и профилями от 58 до 85.

Для повышения содержательности представительности первичных данных из дальнейшей обработки исключены описания МСА класса крупности -0,5+0,25 мм, поскольку периодически он не подвергался минералогическому анализу. В обработку включены без указанного класса крупности описания 96 720 пикроильменитов и 18 850 пиропов. Расчёт обобщённых типоморфных свойств выполнен в скользящем окне размером 7x7 км с коэффициентом перекрытия 0,5. Получены >100 оценок типоморфных особенностей МСА и 15 оценок общих характеристик (средний объём проб, число проб, пиропов и пикроильменитов, средний литотип от грубых разностей пород, вмещающих спутники, до тонких и т.д.). Отнесение точечных оценок признаков (в условных единицах или процентах) в пределах скользящего окна осуществлялось к осреднённым координатам единичных проб, участвующих в оценке значений признаков. Сформированная матрица состояла из строк, каждая из которых представляла в многомерном пространстве свойств МСА отдельный фрагмент минералогического поля площади (некоторый объём геологического пространства, охарактеризованного свойствами МСА).

Требование обеспечения статистической представительности выборки привело к исключению из неё фрагментов с числом пиропов <30 знаков (восьми строк из исходной матрицы данных). Эта мера уменьшает ошибку репрезентативности в части количественных оценок признаков минералов по отношению к истинным значениям признаков, определённых при гипотетическом извлечении всех МСА из соответствующего геологического пространства. Потенциально высокие значения ошибок репрезентативности свойственны признакам, которые характеризуют узкий класс крупности, например -4+2 мм (в керновых пробах крупных зёрен всегда мало), имеют мультипликативный характер (комплексные показатели, например коэффициент Траску).

* Типоморфные признаки включали число зёрен с их распределением по классам крупности, характеристику цветности пиропов, оценку целостности зёрен, оценку степени износа первичной поверхности и осколков, тип коррозии, форму целого зерна, тип первичной поверхности пикроильменитов и т.д.

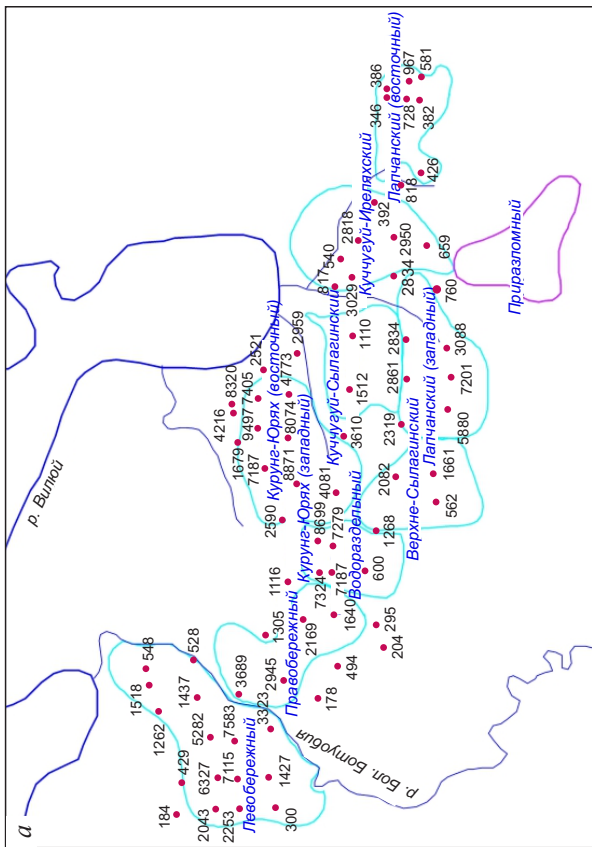
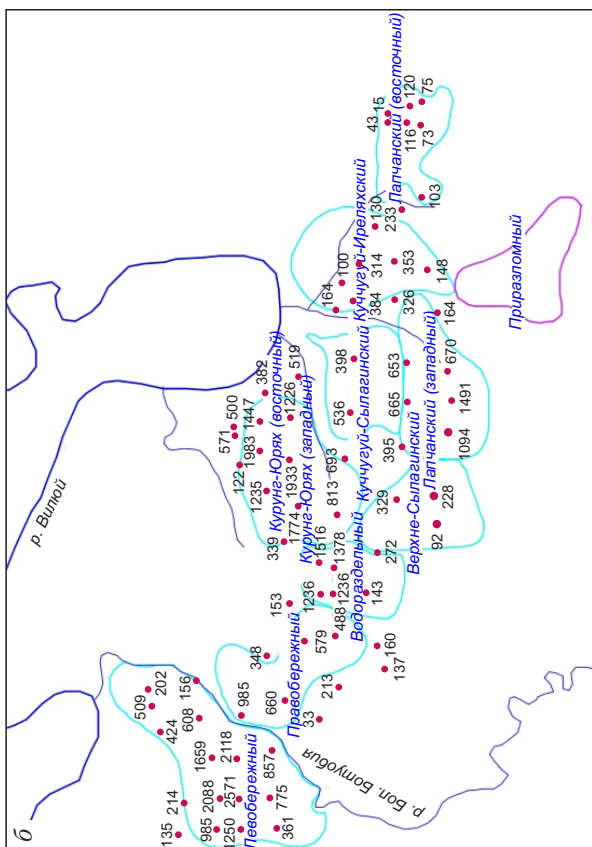
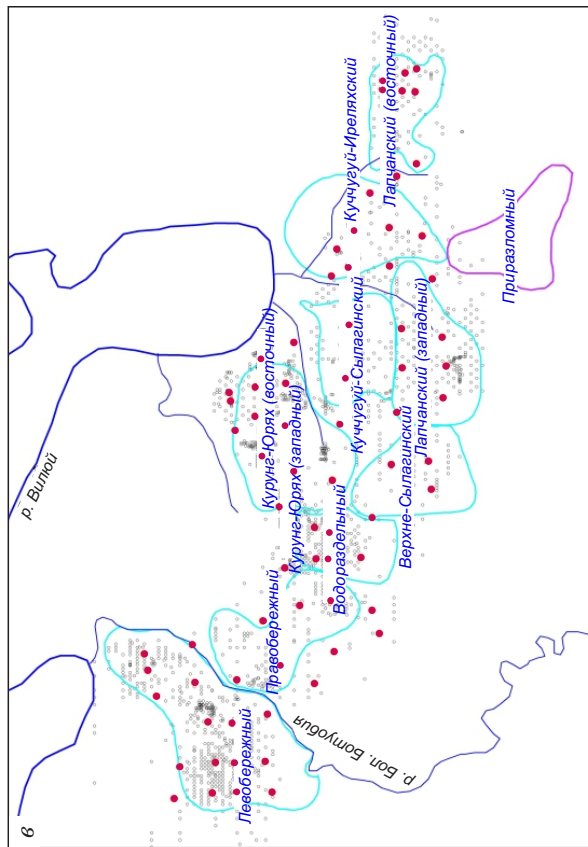


Рис. 2. СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОРЕОЛОВ МСА ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ С УКАЗАНИЕМ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРОВ ФРАГМЕНТОВ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ПОЛЯ:

а – число пиропов в классе крупности +0,5 мм; *б* – число пикроильменитов в классе крупности +0,5 мм; *в* – сважины с одним и более пикроильменитом в классе крупности +0,5 мм



Полученная матрица данных позволяет сформировать, с использованием компьютерных технологий, многочисленные оценки других моноили мультипликативных параметров изучаемой геологической среды. К примеру, концентраций МСА в узких классах крупности, дисперсии цветности пиропов, коэффициентов соответствия по В.П.Афанасьеву и т.д. с последующим исследованием их изменчивости на площади и привлечением любых геологических материалов.

Пространственное размещение центров 74 фрагментов поля, включающих 30 и более знаков пиропов, показано на рисунках в виде красных залитых символов (кружков). На рис. 2 приводится фактическое количество пиропов и пикроильменитов, вовлечённых в обработку в каждом фрагменте площади (класс крупности +0,5 мм).

В работе использованы геологические материалы из производственных отчётов Чернышевской и Ботуобинской геологоразведочных экспедиций, в составлении которых авторы публикации принимали участие.

Результаты. Обработка, визуализация и анализ полученных материалов позволили установить разнообразные проявления пространственной изменчивости типоморфных особенностей кимберлитовых минералов на рассматриваемой поисковой площади, которая сохранилась в фиксированном состоянии после захоронения МСА в нижней части разреза верхнепалеозойских отложений. Распределение типоморфных свойств МСА на Чернышевско-Лапчанской площади (при условии статистической представительности оценок свойств) характеризуется устойчивыми направлениями их изменчивости (трендами) от фрагмента площади к фрагменту. Атрибуты (свойства МСА) минералогического поля, таким образом, структурированы, организованы, они не хаотично изменяются в пространстве площади. Изменчивость ореолов МСА несмотря на то что они имеют преимущественно переотложенный характер, хорошо согласуется с эмпирическими закономерностями в изменчивости типоморфных признаков МСА с удалением от коренных источников, в условиях их экзогенной эволюции. Фиксируется плотностная и гранулометрическая дифференциация МСА, отмечаются тренды в изменчивости износа первичной поверхности минералов, доли корродированных минералов и их осколков в ассоциации, выхода агрегатных пикроильмени-

тов, выявляются изменения цветовых соотношений пиропов, устанавливается изменчивость степени сортированности шлиховых ассоциаций от одних участков территории к другим и т.д.

Остановимся на иллюстрации и обосновании двух тезисов.

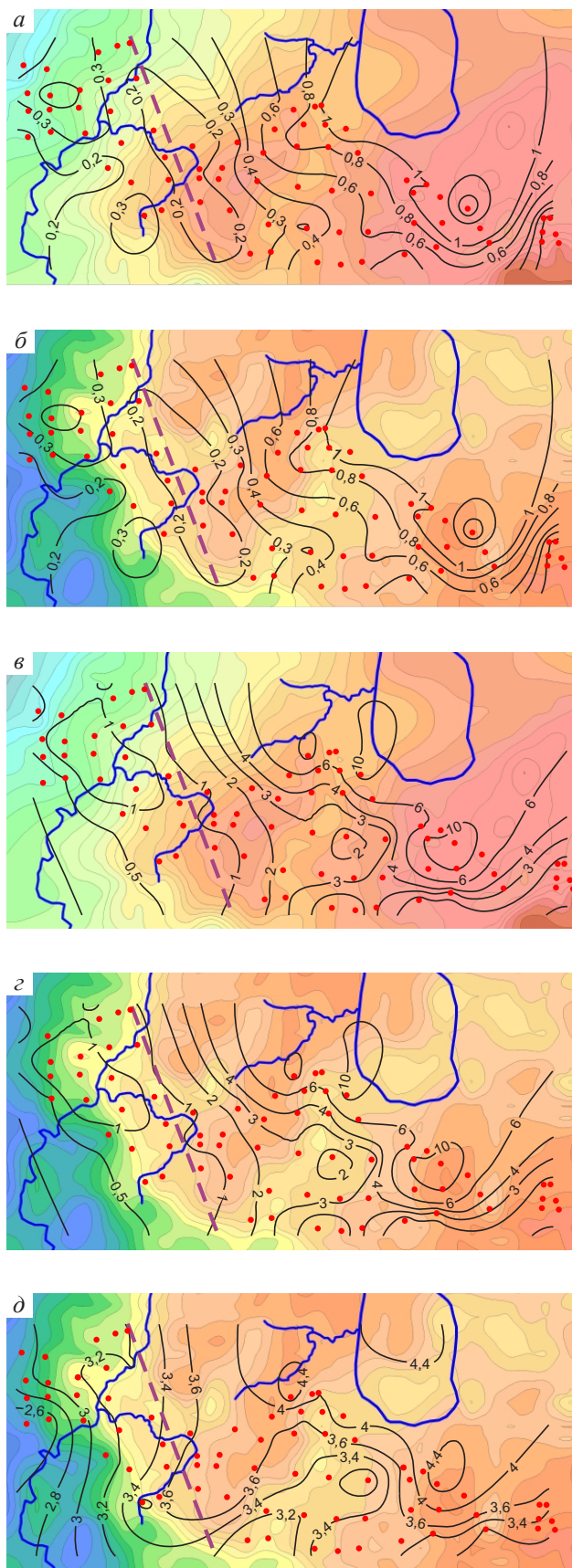
1. На Чернышевско-Лапчанской площади слабо проявлены или не определяются пространственно-генетические, обусловленные геологическим развитием территории в постпозднепалеозойский этап, связи и соотношения между характеристиками МСА и наблюдаемыми в настоящее время структурными поверхностями, погребённым рельефом раннепалеозойского основания, литологическим составом отложений и другими особенностями геологической среды.

2. Распределение количественных оценок свойств МСА и их векторные параметры указывают на то, что основной объём кимберлитовых минералов в ореолах площади сформировался за счёт сближенного куста кимберлитовых трубок или трубки-лидера, аналога трубки Мир, расположенного между разведочными профилями 71–75 и магистралями 31–35, восточнее среднепалеозойской туфовой трубки Маар-Сиене.

Первый тезис, с одной стороны, известен и объясняет причины низкой эффективности поисковых работ. С другой стороны, вытекающие из него последствия при поисках и прогнозировании кимберлитов на закрытых территориях, нередко игнорируются, что приводит к издержкам в ходе их проведения.

На рис. 3, а–г показаны распределение концентраций пиропов в классе крупности -1+0,5 мм (зн./л), наложенное на структурную схему по кровле мирнинской свиты среднего кембрия и схему погребённого эродированного рельефа поверхности холомолохской свиты верхнего кембрия, распределение концентраций пикроильменитов в классе крупности -1+0,5 мм (зн./л).

Приведённые схемы иллюстрируют системное (тотальное) перемещение кимберлитовых минералов с запада на восток, концентрации которых возрастают практически на порядок в районе Улу-Тогинской петли в пределах высококонтрастных ореолов, известных как Курунг-Юрях и Куччугуй-Иреляхский. Данный факт говорит о переносе МСА до формирования верхнепалеозойских отложений в область Патомско-Вилуйского палеоавлакогена и последующей их аккумуляции.



муляции до ураганных концентраций (пироп – до 700 зн./10 л, пикроильменит – до 40 000 зн./10 л в классе крупности +0,25 мм) при пенефленизации территории в раннем – среднем карбоне. Это обусловило успешное выявление позднепалеозойских ореолов в конце 60-х – начале 70-х годов и последующие интенсивные геологоразведочные работы на данных участках. Отметим противоположное современному региональному погружению на северо-северо-запад поверхности кристаллического фундамента, кровли мирнинской свиты среднего кембрия и эродированной поверхности холомолохской свиты поведение изоконцентрат пироба и пикроильменита, в том числе в классе крупности +0,5 мм, к востоку от линии устье р. Большая Ботуобия – среднее течение руч. Маар-Сиене (в дальнейшем – линия бифуркации, или линия асимметрии пространственных характеристик МСА Чернышевско-Лапчанской площади). Существенно более слабое накопление материала с последующим падением концентраций до нулевых фиксируется в западном, а также в северо-западном и юго-западном направлениях Чернышевско-Лапчанской площади. Масштабных процессов аккумуляции МСА здесь не выявлено. Вместе с этим, отчётливо наблюдается близкое соответствие планов изоконцентраций МСА и изогипс погребённого рельефа карбонатного основания. Очевидно, что перенос и последующее рассеивание кимберлитового материала на западном фланге площади имело место в позднем палеозое при формировании восточного борта Тунгусской синеклизы.

Рисунок 3, д иллюстрирует соответствие осреднённого литологического состава шлиховых проб продуктивной толщи лапчанско-ботуобинских отложений, содержащих МСА, современно-

Рис. 3. СХЕМЫ ИЗОКОНЦЕНТРАЦИЙ ПИРОПА В КЛАССЕ КРУПНОСТИ -1+0,5 мм (зн./л) (а, б), ПИКРОИЛЬМЕНИТА В КЛАССЕ КРУПНОСТИ -1+0,5 мм (зн./л) (в, г), ИЗОЛИНИЙ ОСРЕДНЁННОГО ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛИХОВЫХ ПОРОД (д), СОВМЕЩЁННЫЕ СО СТРУКТУРНОЙ СХЕМОЙ ПО КРОВЛЕ МИРНИНСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ (а, в), СХЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ (б, г, д) ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ, М-Б 1:200 000

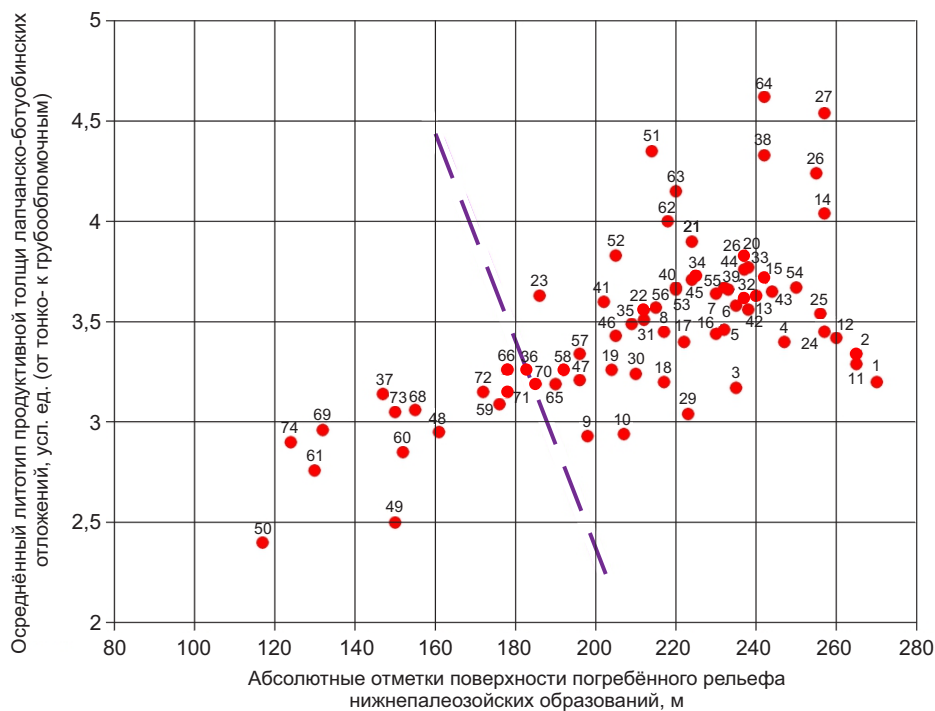


Рис. 4. БИНАРНАЯ ДИАГРАММА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ АБСОЛЮТНЫХ ОТМЕТОК ПОВЕРХНОСТИ ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ И ОСРЕДНЁННОГО ЛИТОТИПА ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ ЛАПЧАНСКО-БОТУБИНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

му положению погребённого рельефа карбонатного цоколя (изолинии с меньшими значениями литотипа отвечают тонкозернистым отложениям, с большими – крупнозернистым пескам с галькой и обломками местных пород). Происходит закономерная смена грубообломочных отложений на более тонкие по мере продвижения в сторону Тунгусской синеклизы. Это же, но в формате бинарной диаграммы корреляции отметок погребённого рельефа и литотипа вмещающих МСА отложений, показывает рис. 4. Восточнее пунктирной линии (см. рис. 3, д) и абсолютных отметок >200 м (см. рис. 4) наблюдается более высокая дисперсия состава отложений при близких значениях отметок современного погребённого рельефа карбонатного основания.

Линейная зона (пунктирная линия), которая по характеру поведения концентраций МСА разделяет Чернышевско-Лапчанскую площадь на две принципиально отличающиеся области, приурочена к уступам в кровле венд-кембрийских и верхнепалеозойских пород. Данная тектоническая зона хорошо известна и охарактеризована, отчётливо выражена в наблюдаемых и редуцированных

гравиметрических полях. К востоку от неё мощность венд-кембрийских пород заметно увеличивается, долериты же встречаются фрагментарно и имеют малую мощность, тогда как к западу последняя возрастает до 100 м и более. Тектоническая зона является долгоживущей и контролирует размещение разновозрастных геологических структур (А.В.Манаков и др., 1989 г.).

На рис. 5, а (сечение изогипс 10 м) отображены значительные блоковые движения карбонатного цоколя при заложении Тунгусской синеклизы к западу от упомянутой зоны и когерентное с его положением распределение кимберлитового материала (чёрные и коричневые линии – изоконцентраты пикроильменита в классах крупности соответственно -1+0,5, -4+2 мм, зн./л). На рис. 6, а показаны характер и сила связи абсолютных отметок погребённого карбонатного цоколя и осреднённых концентраций пикроильменита крупностью -1+0,5 мм в пределах фрагментов минералогического поля, номера которых приведены над фигуративными точками (коэффициент линейной корреляции $R=0,32$, всего 23 фрагмента). Здесь фиксируются пространственно-генетиче-

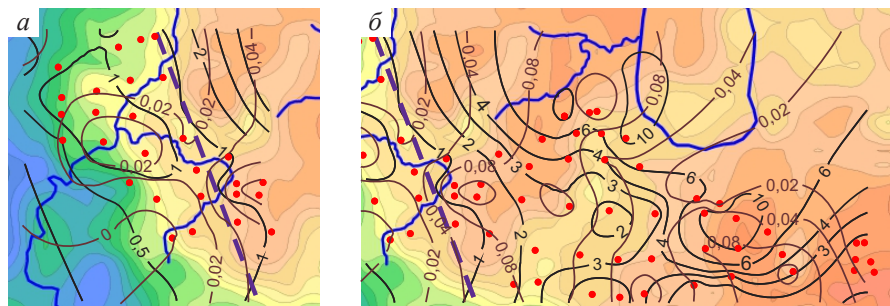


Рис. 5. СХЕМЫ ИЗОКОНЦЕНТРАЦИЙ ПИКРОИЛЬМЕНИТА В КЛАССАХ КРУПНОСТИ -1+0,5 мм И -4+2 мм, СОВМЕЩЁННЫЕ СО СХемой ПОВЕРХНОСТИ ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗАПАДНОЙ (а) И ВОСТОЧНОЙ (б) ЧАСТЕЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ, М-Б 1:200 000

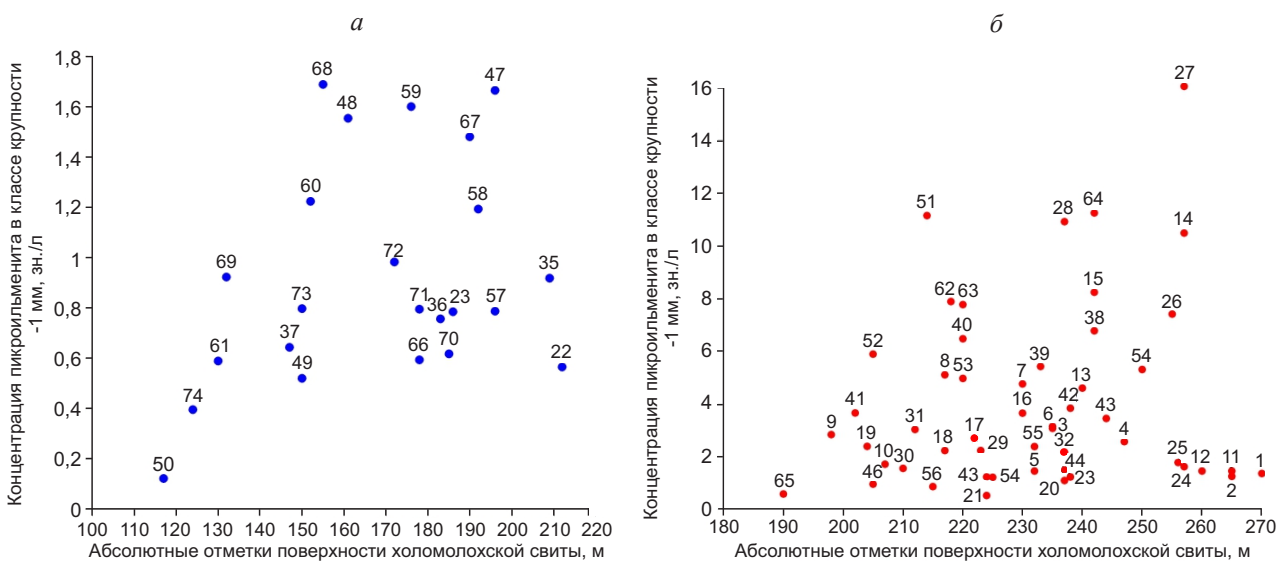


Рис. 6. БИНАРНАЯ ДИАГРАММА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ АБСОЛЮТНЫХ ОТМЕТОК ПОВЕРХНОСТИ ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ -1+0,5 мм ДЛЯ ЗАПАДНОЙ (а) И ВОСТОЧНОЙ (б) ЧАСТЕЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ

ские связи морфоструктур раннепалеозойского основания, несомненно, контролировавших в западном сегменте площади процессы переноса и аккумуляции кимберлитовых минералов при формировании восточного борта Тунгусской синеклизы. В восточной части площади (см. рис. 5, б, рис. 6, б) связи крупных и локальных форм современного погребённого рельефа с ореолами рассеяния алмазов в позднепалеозойских коллекторах в значительной степени утрачены (51 фрагмент, $R=0,15$ для класса -1 мм и $R=-0,21$ для класса +2 мм).

Изоконцентраты пикроильменита крупностью -1 мм (наиболее статистически представительный класс крупности) на последних рисунках часто

ортогональны изогипсам эродированной поверхности холмолохской свиты верхнего кембрия и неколлинеарны изоконцентратам класса +2 мм. Отмечается согласное поведение изоконцентрат +2 мм с контурами крупных выступов карбонатного цоколя, что свидетельствует о перемещении крупнозернистого материала с их склонов и некоторой обусловленности процессов аккумуляции грубообломочного материала формами палеорельефа в позднепалеозойский этап развития восточного сегмента.

Сопоставление значений R в первых столбце и строке табл. 1 показывает значимые связи гипсометрического положения продуктивной толщи

с её литологическим составом и концентрациями МСА для западной части площади (участки Левобережный, Правобережный) и вчетверо более слабые для восточной группы ореолов (участки Водораздельный, Курунг-Юрях и др.).

Противоположные соотношения устанавливаются для связей концентраций с литотипами отложений в рассматриваемых областях площади. Исключением для восточной области является поведение пикроильменитов крупностью +2 мм, которые не коррелируют с составом отложений и мелкими своими разностями. В отличие от этого в ореолах западной группы фиксируется положительная сильная корреляционная связь между пикроильменитами различных классов крупности, а также пикроильменитов с крупными зёрнами пиропов (табл. 2).

Таким образом, приведённые картографические материалы и данные таблиц свидетельствуют о существенной плотностной и гранулометрической дифференциации кимберлитовых минералов на пространстве восточной части площади при их массовом переносе в сторону среднепалеозойского Патомско-Вилюйского палеоавлакогена. Очевидно, что эти события имели место в среднепалеозойский этап развития территории и завершились накоплением значительных объёмов МСА к началу средне-позднекаменноугольно-пермского этапа. Заметного обратного перемещения МСА с востока на запад, что следует из анализа материалов, при заложении и формировании позднепалеозойской Тунгусской синеклизы в восточной области площади не происходило. Здесь в этот период перераспределение МСА

1. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПАРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ (R) НЕКОТОРЫХ АТРИБУТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ЗАПАДНОЙ (нижняя часть таблицы) И ВОСТОЧНОЙ (верхняя часть) ОБЛАСТЕЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Признаки	Отметки цоколя	Литотип	Концентрация пикроильменита					
			+0,5 мм	-1+0,5 мм	-2+1 мм	-4+2 мм		
			1	2	3	4	5	6
1	Отметки цоколя	1,0	0,24	0,16	0,15	0,19	-0,21	
2	Литотип	0,83	1,0	0,74	0,73	0,68	0,17	
3	Концентрация пикроильменита, мм	+0,5	0,33	0,18	1,0	1,0	0,88	0,19
4		-1+0,5	0,32	0,21	0,99	1,0	0,83	0,13
5		-2+1	0,29	0,04	0,88	0,79	1,0	0,47
6		-4+2	0,24	-0,05	0,80	0,70	0,93	1,0

2. КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ (R) МЕЖДУ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ПИРОПОВ И ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ (нижняя часть таблицы) И ВОСТОЧНОЙ (верхняя часть) ОБЛАСТЕЙ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Признаки (концентрации МСА)		Пироп, мм				Пикроильменит, мм				Хромшпинель, мм
		+0,5	-1+0,5	-2+1	-4+2	+0,5	-1+0,5	-2+1	-4+2	
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Пироп, мм	+0,5	1,0	0,97	0,72	0,38	0,80	0,82	0,61	0,13	0,40
	-1+0,5	0,95	1,0	0,54	0,27	0,72	0,74	0,53	0,11	0,30
	-2+1	0,88	0,68	1,0	0,46	0,72	0,73	0,59	0,13	0,57
	-4+2	0,55	0,36	0,65	1,0	0,63	0,63	0,53	0,23	0,23
Пикроильменит, мм	+0,5	0,71	0,57	0,75	0,85	1,0	1,0	0,88	0,19	0,21
	-1+0,5	0,76	0,65	0,73	0,79	0,99	1,0	0,83	0,13	0,24
	-2+1	0,48	0,25	0,67	0,88	0,88	0,79	1,0	0,47	0,02
Хромшпинель, мм	-4+2	0,38	0,18	0,55	0,88	0,80	0,70	0,93	1,0	-0,10
	0,5	0,55	0,48	0,57	0,08	0,06	0,10	-0,06	-0,10	1,0

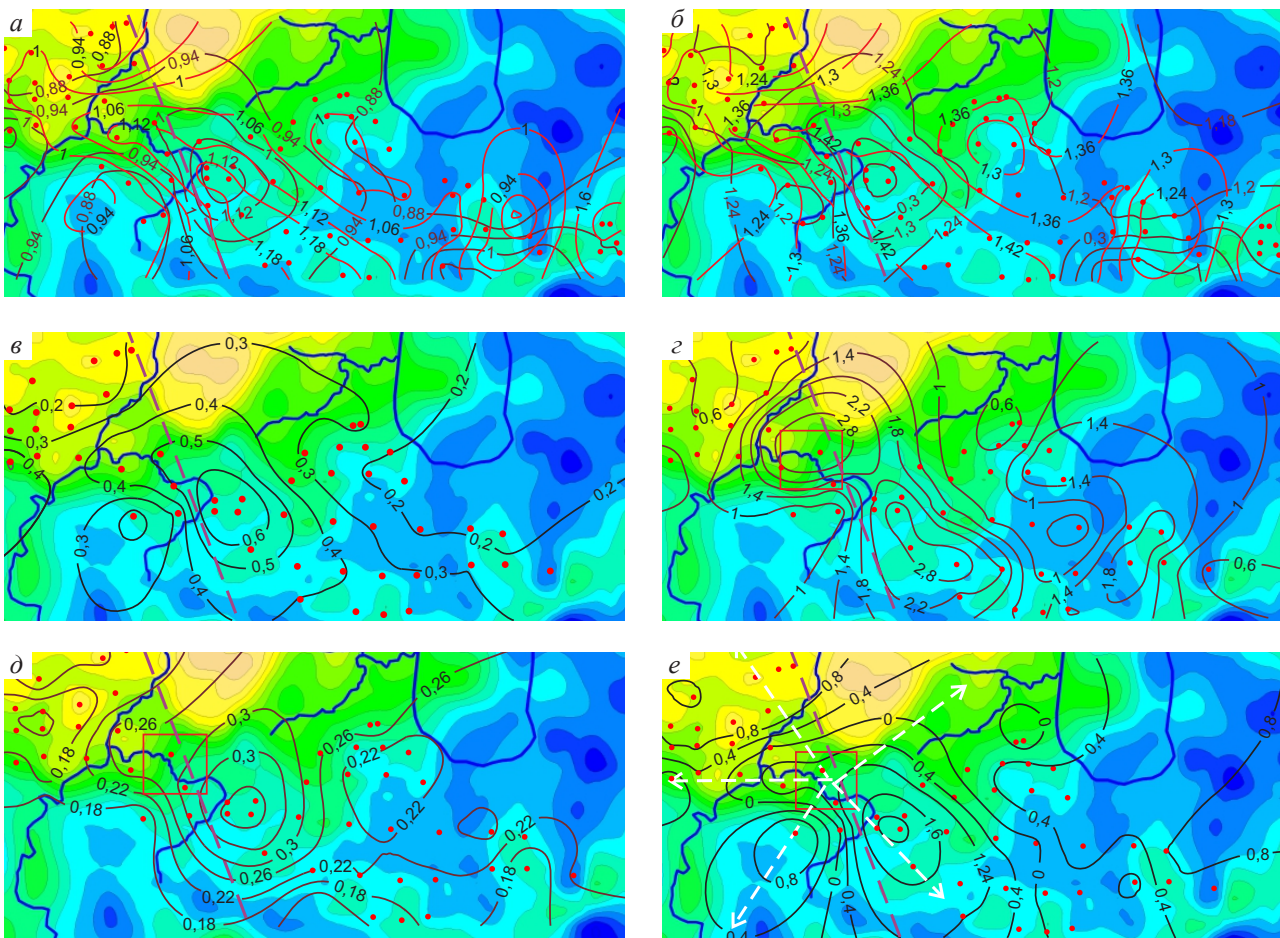


Рис. 7. СХЕМЫ ИЗОЛИНИЙ СРЕДНИХ ДИАМЕТРОВ ПИРОПОВ И ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ КЛАССЕ +0,5 мм (а), КОЭФИЦИЕНТОВ НЕСОРТИРОВАННОСТИ ТРАСКУ ПИРОПОВ И ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ КЛАССЕ +0,5 мм (б), ОТНОШЕНИЯ ВЫХОДА ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ +1 мм К ВЫХОДУ ПИРОПОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ -1 мм (в), ОТНОШЕНИЯ СУММЫ СОХРАННЫХ И АГРЕГАТНЫХ, А ТАКЖЕ ОСКОЛКОВ ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ К КОРРОДИРОВАННЫМ ПИКРОИЛЬМЕНИТАМ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ +1 мм (г), ОТНОШЕНИЯ СУММЫ СОХРАННЫХ ПИРОПОВ И ИХ ОСКОЛКОВ К СУММЕ КОРРОДИРОВАННЫХ И ЛИЛОВЫХ ПИРОПОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ +1 мм (д), ФАКТОРА БЛИЗОСТИ К КИМБЕРЛИТОВЫМ ТРУБКАМ (е), СОВМЕЩЁННЫЕ СО СХемой ОСТАТОЧНЫХ МОЩНОСТЕЙ ХОЛОМОЛОХСКОЙ СВИТЫ ВЕРХНЕГО КЕМБРИЯ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ, М-Б 1:200 000

красный прямоугольник – участок, перспективный на выявление кимберлитового магматизма; белые пунктирные стрелки – основные направления переноса (рассеяния) МСА в раннем – среднем карбоне

осуществлялось практически на месте со смещением в сторону пониженных форм рельефа, известных как Кюелляхская и Бахчинская депрессии (М.Н.Пелецкий и др., 1996 г.), что и привело к пространственному разделению крупных (+2 мм) и мелких (-1 мм) зёрен МСА и, как следствие, уменьшению значений количественных оценок связи концентраций МСА из различных классов крупности (см. табл. 1, 2). Значительно более слабая

плотностная и гранулометрическая дифференциация МСА и более устойчивые связи с формами погребённого рельефа фиксируются в западной части площади.

Обоснование второго тезиса в немалой степени связано с содержанием и выводами первого. Схемы изолиний (рис. 7, а, б) иллюстрируют распределение оценок средних диаметров пиропов и пикроильменитов (слева) и коэффициен-

тов несортированности Траску (справа). Эти атрибуты служат точечными оценками гранулометрических спектров пироба и пикроильменита в каждом фрагменте минералогического поля. Они отражают при их совместном рассмотрении, если получены по статистически представительным выборкам, проявленность и масштабы плотностной и гранулометрической дифференциации МСА на Чернышевско-Лапчанской площади, указывают на главные направления перемещения кимберлитового вещества в ходе их экзогенной эволюции.

В качестве «подложки» используется остаточная мощность холмоложской свиты (сечение изопакит 10 м), которая при допущении субгоризонтального залегания кровли мирнинской свиты среднего кембрия к началу формирования Тунгусской синеклизы может рассматриваться как отражение допозднепалеозойского рельефа. Несогласованное поведение изолиний параметров МСА (см. рис. 7, а, б) в пределах Южно-Лапчанского участка (юго-восточные углы рисунка) свидетельствует о непроявленности здесь возможных источников кимберлитового материала или присутствии иных геологических причин. Наблюдаемая некогерентность – следствие недостаточного объёма вещества, добытого при геологоразведочных работах на участке (см. рис. 2), и приводит к недостоверным оценкам не только гранулометрического спектра минералов, но и других свойств минералов-спутников алмаза.

Повышение репрезентативности выборки (исключаются фрагменты полей с числом пиробов <200 знаков) и использование статистически более устойчивого атрибута ассоциации МСА (отношение выхода пикроильменитов в классе +1 мм к выходу пиробов в классе -1 мм) приводит к получению непротиворечивого распределения данной характеристики на Чернышевско-Лапчанской площади (см. рис. 7, в). Отмечается значительное соответствие схемы изолиний параметра и его изменчивости крупным формам погребённого рельефа раннепалеозойского основания.

Имеющиеся геолого-минералогические данные позволяют генерировать множество проекций или редукций типоморфных особенностей МСА различной репрезентативности, рассматривать их сочетания и анализировать возможные причины их пространственной изменчивости. Однако важнейшим с прогнозно-поисковой точки зрения является решение проблемы локализа-

ции коренных источников алмазов на Чернышевско-Лапчанской площади. В определённой степени это позволяют осуществить комплексные показатели: для пикроильменитов (см. рис. 7, з) – отношение суммы осколков, сохранных, агрегатных зёрен к выходу корродированных зёрен в классе +1 мм; для пироба (см. рис. 7, д) – отношение суммы сохранных и осколков к сумме корродированных и лиловых зёрен в классе +1 мм.

Представленные материалы подтверждают второй тезис о высокой вероятности локализации крупного кимберлитового тела, трубки «лидер» или куста трубок прогнозируемого кимберлитового поля между буровыми (разведочными) профилями 71–75 и магистралями 31–35, восточнее среднепалеозойской туфовой трубки Маар-Сиене (участок показан красным контуром).

Многомерные методы, например факторный анализ с использованием 16 атрибутов минералогического пространства, принципиально иных результатов относительно участка, перспективного на выявление кимберлитового магматизма, не дают. Для иллюстрации такого вывода на рис. 7, е приведены результаты распределения на Чернышевско-Лапчанской площади первого главного фактора, который можно интерпретировать как близость к коренному источнику МСА. Здесь учтены выход МСА класса крупности +1 мм, средние диаметры, коэффициенты несортированности Траску, концентрации класса +2 мм, выход сохранных зёрен, оранжевых пиробов, агрегатных пикроильменитов, осколков и корродированных зёрен класса +1 мм. С фактором близости коррелируют (положительно или отрицательно) средние диаметры, коэффициент Траску, выход крупных, сохранных, корродированных зёрен и осколков. Выход оранжевых и агрегатных зёрен свидетельствует о слабой связи с этим комплексным показателем.

Выделенный участок находится в голове разнонаправленных шлейфов (потоков) кимберлитовых минералов, которые, несмотря на размытые контуры и оценку их положения по керновым пробам, отчётливо отражаются трендами изменчивости типоморфных свойств МСА. Векторы изменчивости свойств МСА (на рисунке белые пунктирные стрелки) и их численные оценки при совокупном анализе показывают, что процессы перемещения и дифференциации МСА по плотности, гранулометрии, степени износа, уровню кор-

родированности зёрен и т.д. в восточном и близких румбах осуществлялись до формирования верхнепалеозойских отложений в раннем карбоне, а в западном и близких направлениях имели место при заложении и развитии Тунгусской синеклизы.

Фиксируется приуроченность осевой части контрастного линейного потока МСА, проходящего через восточную часть Правобережного участка, участки Водораздельный, Верхне-Сылагинский и Южно-Лапчанский (западный), к зоне пониженных значений изопакит холомолохской свиты, вытянутой в северо-западном направлении (совпадает со стрелками СЗ-ЮВ), и её замыканием северо-восточнее туфовой трубки Маар-Сиене.

Образы различных атрибутов позднепалеозойских ореолов МСА, представленные в виде схем изолиний, в восточной части площади слабо согласуются с формами современного погребённого рельефа (см. рис. 3, б, г; рис. 5, б). Количественная оценка степени согласованности дана в табл. 1. В большей степени распределения свойств МСА отвечают схемам изопакит (остаточным мощностям) холомолохской свиты. Отметим, что на всех рисунках, приведённых выше, использованы фактические данные, имеющиеся в настоящее время.

План изолиний на рис. 8, а отображает распределение на площади простого атрибута минералогического поля, а именно отношения выхода пикроильменитов класса крупности +2 мм к выходу пиропов класса -1+0,5 мм. Этот параметр достаточно устойчив даже при небольшом количестве пиропов и пикроильменита (30 знаков и более), обладает локализирующими свойствами в связи с тем, что средняя масса зёрен минералов в указанных классах крупности отличается на два порядка. Здесь в качестве подложки приведена схематичная карта восстановленного на начало средне-позднекаменноугольно-пермского этапа развития территории рельефа кимберлитовмещающего основания, составленная с использованием материалов из отчёта Ботубинской экспедиции по Нижнеботубинскому объекту (А.П.Князьков и др., 2002 г.) на основе применения многомерных статистических методов.

Реконструкция отображает рельеф карбонатного цоколя (сечение палеоизогипс 5 м), исправленный с учётом искажающего влияния пост-

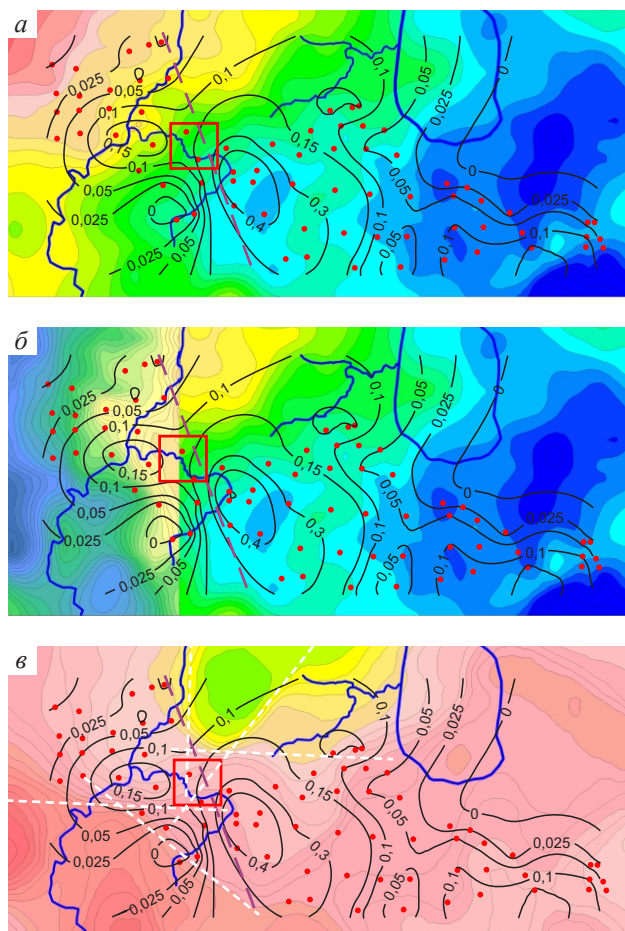


Рис. 8. СХЕМА ИЗОЛИНИЙ ОТНОШЕНИЯ ВЫХОДА ПИКРОИЛЬМЕНИТОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ +2 мм К ВЫХОДУ ПИРОПОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ -1+0,5 мм, СОВМЕЩЁННАЯ СО СХЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА (б – западная часть), С РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ОСНОВАНИЯ (а; б – восточная часть), С РЕКОНСТРУКЦИЕЙ КРОВЛИ МИРНИНСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ОСНОВАНИЯ НА НАЧАЛО СРЕДНЕ-ПОЗДНЕКАМЕННОУГОЛЬНО-ПЕРМСКОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ (в), М-Б 1:200 000

средне-позднекаменноугольно-пермских структурно-формирующих процессов, воздействие которых существенно изменило геологическое строение территории. Реконструкция рельефа наилучшим образом согласуется в восточном сегменте площади с поведением типоморфных особенностей МСА шлихоминералогического поля и про-

ясняет причины перемещения кимберлитового материала в восточном направлении на участок Курунг-Юрях, известный высокими концентрациями МСА.

Линия раздела площади (фиолетовая пунктирная линия) является своеобразной зоной пространственно-временной бифуркации. Она фиксирует положение восточной границы позднепалеозойской Тунгусской синеклизы и фактически совпадает с зоной тектонических нарушений субмеридионального Нижнеботуобинского разлома (см. рис. 10).

На рис. 8, б выполнены совмещение схематического плана изогипс современного дифференцированного погребённого рельефа карбонатного цоколя в западной части Чернышевско-Лапчанской площади и редукция этого слаборасчленённого рельефа на начало средне-позднекаменноугольно-пермского этапа в её восточной части. Показано когерентное с изогипсами поведение того же, что и на рис. 8, а, атрибута МСА. В распределении концентрации хромшпинели в классе +0,5 мм (рис. 9) наблюдается, несмотря на присутствие в составе ассоциации так называемой «курунгской» (некимберлитовой) шпинели, общность плана изоконцентрат с другими характеристиками МСА.

Предложенным способом демонстрируются как общность и отличия типоморфных свойств

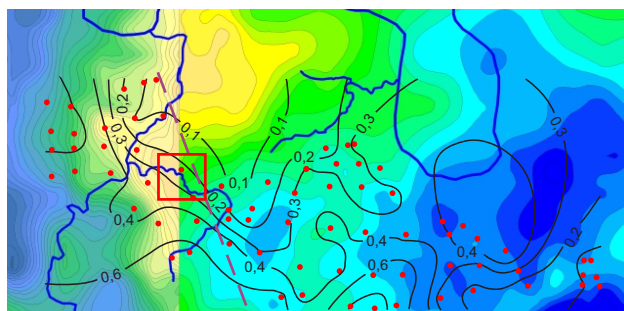


Рис. 9. СХЕМА ИЗОКОНЦЕНТРАЦИЙ ХРОМШПИНЕЛИДОВ В КЛАССЕ КРУПНОСТИ +0,5 мм, СОВМЕЩЁННАЯ СО СХЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ПОГРЕБЁННОГО РЕЛЬЕФА (в западной части) И РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ОСНОВАНИЯ НА НАЧАЛО СРЕДНЕ-ПОЗДНЕКАМЕННОУГОЛЬНО-ПЕРМСКОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ (в восточной) ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ, М-Б 1:200 000

позднепалеозойских ореолов рассеяния МСА, находящихся в настоящее время в зафиксированном состоянии в продуктивной толще, так и основные факторы (в данном случае палеогеоморфологические), обусловившие перенос, дифференциацию и аккумуляцию минералов в различные эпохи формирования погребённого раннепалеозойского кимберлитовмещающего основания.

На рис. 8, в проиллюстрировано положение перспективного участка на палеотектонической основе, которой является реконструкция кровли мирнинской свиты среднего кембрия на начало средне-позднекаменноугольно-пермского тектонического этапа развития площади (сечение изогипс 5 м). Изолинии атрибута МСА характеризуют, как и на рис. 8, а, б, пространственную изменчивость отношения выхода пикроильменита класса крупности +2 мм к выходу пиропса класса -1+0,5 мм.

Участок находится на стыке двух палеоморфоструктур. Отрицательная морфоструктура (впадина или полуграбен) расположена в районе устья р. Большая Ботуобия и углом (клином) входит в «тело» более крупной положительной морфоструктуры, выходящей за пределы изучаемой территории (северо-западное окончание Мирнинского свода Непско-Ботуобинской антеклизы). Амплитуды структур относительно изогипсы 40 м составляют 40–60 м, а размах соответственно до 100 м. Выделенный участок приурочен к месту пересечения разнонаправленных тектонических нарушений, которые откартированы и известны. На схеме их проявленность устанавливается по зонам повышенных градиентов палеоизогипс.

Палеогеоморфологическая схема, как и палеотектоническая, в целом не противоречит имеющимся на Чернышевско-Лапчанскую площадь палеогеологическим построениям (Б.А.Калмыков и др., 1997 г.; А.В.Манаков и др., 1989 г.; М.Н.Пелецкий и др., 1996 г.). На наш взгляд, они их дополняют и очевидным образом свидетельствуют о высокой перспективе обнаружения проявлений кимберлитового магматизма на рекомендуемом локальном участке площади.

В качестве подложки на рис. 10 использована структурная схема Чернышевско-Лапчанской площади с элементами палеогеографии и прогноза алмазности. Она построена М.Н.Пелецким в 1996 г. по материалам работ Чернышевской

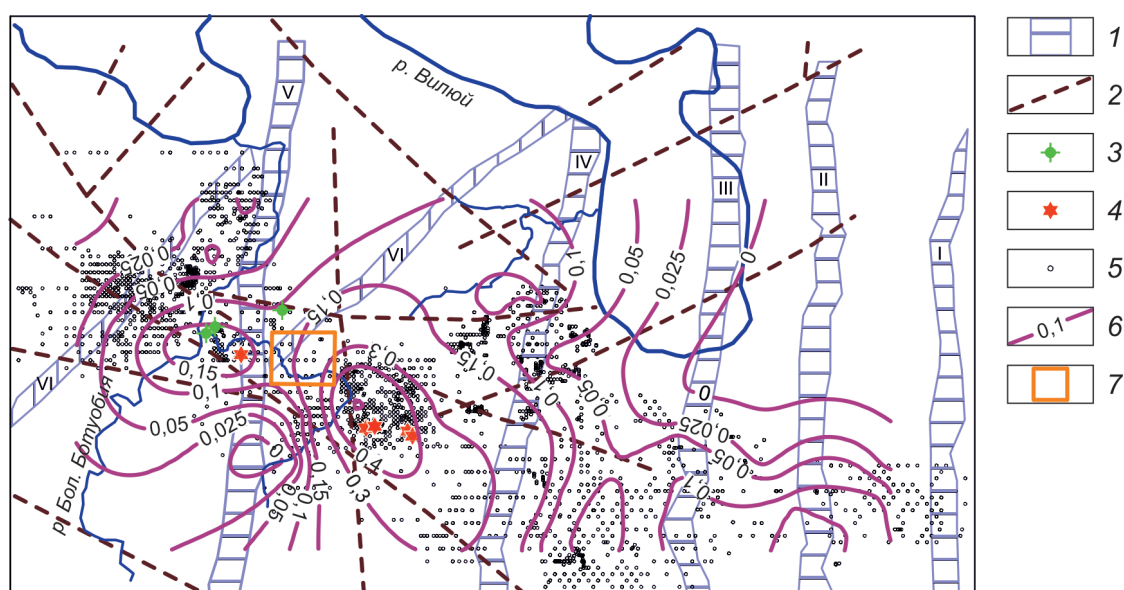


Рис. 10. ПРОГНОЗНАЯ СХЕМА ЧЕРНЫШЕВСКО-ЛАПЧАНСКОЙ ПЛОЩАДИ М-БА 1:200 000 С КРИТЕРИЯМИ И ПРИЗНАКАМИ КОРЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ:

1 – зоны глубинных разломов (I – Чуоналырская, II – Буордахская, III – Улу-Тогинская, IV – Сылагинская, V – Нижне-Ботуобинская, VI – Чоппо-Биетахская); 2 – основные среднепалеозойские разрывные нарушения; 3 – среднепалеозойские туфовые трубки взрыва основного состава; 4 – находки алмазов в шлиховых пробах из керна скважин; 5 – скважины Чернышевской геологоразведочной экспедиции с МСА в классе крупности +0,5 мм; 6 – изолинии отношения выхода пикроильменитов класса крупности +2 мм к выходу пиропов класса -1+0,5 мм; 7 – участок, перспективный на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма

геологоразведочной экспедиции (проект работ по Нижне-Ботуобинскому объекту).

Участок находится вблизи (от 3 до 5 км) среднепалеозойских туфовых трубок Маар-Сиене, Ан-218 и туфовой трубки с координатами 75/34.5, открытой Ботуобинской геологоразведочной экспедицией в 2015 г. на юго-западном обрамлении Нижнеботуобинской палеовозвышенности в узле пересечения субширотных, субмеридиональных, северо-восточных и северо-западных тектонических нарушений и зон (Нижнеботуобинский, Мунурский, Туфовый, Чоппо-Биетахский). Таким образом, положение участка, с учётом проявленности в его пределах структурно-тектонических и магматических критериев алмазности, благоприятно для формирования кимберлитов. Рекомендации по проведению на участке поисковых работ переданы Ботуобинской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» в 2016 г.

Выводы. Рассмотренные материалы показывают значительный и ещё далеко не использованный прогнозный потенциал поисковой минерало-

гии на закрытых территориях, который был получен ранее проведёнными геологоразведочными работами на Чернышевско-Лапчанской площади.

Применение методов статистического анализа геолого-минералогических данных на основе историко-геологического подхода к изучению закрытых алмазоперспективных территорий даёт возможность реконструировать пространственно-генетические связи структур платформенного чехла, палеоморфоструктур раннепалеозойского основания и ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза в погребённых коллекторах.

Совместный пространственно-статистический анализ геолого-минералогических данных с учётом принадлежности сравниваемых эмпирических наблюдений к близким структурным уровням организации вещества позволяет получить новые характеристики и модели геолого-минералогических материалов и на основе этого установить направления переноса кимберлитового вещества, условия захоронения и расположение коренных источников.

В результате выполненных исследований локализован высокоперспективный на обнаружение коренных источников кимберлитов участок, расположенный восточнее (северо-восточнее) среднепалеозойской туфовой трубки Маар-Сиене. В его пределах ожидается выявление круп-

ного объекта (или куста трубок), за счёт которого (которых) сформировался основной объём позднепалеозойских ореолов рассеяния кимберлитовых минералов на Чернышевско-Лапчанской площади в северо-западной части Мало-Ботубинского алмазоносного района.

DIAMOND MOTHER LODES OF THE UPPER PALEOZOIC DEPOSITS LOCATED IN THE CHERNYSHEVSK-LAPCHANSK BLOCK OF THE MALO-BOTUOBINSK DIAMONDIFEROUS AREA

Z.A.Myasnikova, F.V.Myasnikov

In the present work, the authors have thoroughly considered the prospects of diamond orebodies discovery within the Chernyshevsk-Lapchansk territory of the Malo-Botuobinsk diamondiferous area. The results of the analysis and processing of mineralogical data and materials of paleogeological reconstructions are given. The analysis of spatial variability of the typomorphic characteristics of the diamond accessory minerals (DAM) from the productive strata of the Lapchansk-Botuobinsk Upper Paleozoic deposits has enabled the authors to allocate a site considered to be highly prospective for demonstration of kimberlite magmatism and located eastward of Maar-Siене Middle Paleozoic tuffaceous pipe.

Keywords: analysis, variability, picroilmenite, pyrope, potential assessment.



ПОДПИСЧИКАМ

ПОДПИСКА В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ
по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать»
(индекс 47218)

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА
на сайте Научной Электронной Библиотеки elibrary.ru

Вышедшие номера журнала можно приобрести в редакции:

Адрес: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1
Контактный телефон: 8 (495) 315-28-47. Факс: 315-43-47
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru

Периодичность – 4 номера в год. Цена подписки на год 1200 рублей