



**ОЦЕНКА
ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ
АЛМАЗОВ,
БЛАГОРОДНЫХ И
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов
(ЦНИГРИ)

Проект

В.И. Ваганов, Ю.К. Голубев, В.Е. Минорин

ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

Выпуск "АЛМАЗЫ"

Издание третье переработанное и дополненное

**Редколлегия Методического руководства:
Б.И.Беневольский, С.С. Варганян, Ю.К. Голубев,
А.И. Кривцов (гл.редактор), Г.В.Ручкин**

Отв.редактор выпуска Ю.К. Голубев

Москва
ЦНИГРИ
2002

УДК 553.81(083.133)

В.И.Ваганов, Ю.К. Голубев, В.Е. Минорин **Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Алмазы».** Под редакцией Ю.К.Голубева. - М.: ЦНИГРИ, 2002, с., илл.

Охарактеризованы принципы оценки прогнозных ресурсов, дан анализ системы их выявления, учета и геолого-экономической оценки. Рассмотрены методические основы и приемы выявления перспективных площадей и оценки прогнозных ресурсов алмазов, приведены классификации основных типов месторождений алмазов. Описаны геолого-промышленные количественные модели месторождений, характеристики которых могут быть использованы для разбраковки объектов.

Дано описание прогнозно-поисковых моделей объектов оценки прогнозных ресурсов (металлогенические провинции и зоны, рудные районы, поля и перспективные участки) и их ведущих признаков, позволяющих выделять и оконтуривать перспективные площади; предложены оптимизированные комплексы методов для решения прогнозно-поисковых задач, на основе применения которых возможно выделение металлогенических таксонов и оценка прогнозных ресурсов.

Для специалистов в области прогноза и оценки алмазных месторождений.

Научно-производственное издание

В.И.Ваганов, Ю.К. Голубев, В.Е. Минорин

Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов.

Методическое руководство. Выпуск «Алмазы»

Редколлегия Методического руководства: Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян, Ю.К.Голубев,

А.И.Кривцов (главный редактор), Г.В.Ручкин

Ответственный редактор выпуска Ю.К. Голубев

Компьютерная верстка

Редактор

Сдано в набор . Подписано в печать

Уч. изд. д. . Тираж экз. Цена договорная

Для распространения по целевым заказам

Ни одна часть этой работы не может быть скопирована, размножена и реализована ни одной компанией, организацией или частным лицом без согласия МПР РФ и ЦНИГРИ

Полиграфическая база ЦНИГРИ
117545 Варшавское шоссе, 129 «Б»

ISBN 5-85657-107-X

© Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ	
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	
2. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ	
2.1. Коренные месторождения	
2.2. Россыпные месторождения	
3. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ ОСНОВНЫХ АЛМАЗОНОСНЫХ (АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ) МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ (КОРЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ)	
3.1. Алмазоносная (потенциально-алмазоносная) минерагеническая зона.....	
3.2. Алмазоносное поле	
3.2.1. Геолого-геофизическая модель	
3.2.2. Структурно-геологическая модель	
3.2.3. Шлихо-минералогическая модель	
3.3. Куст (группа) алмазоносных тел	
3.4. Коренное месторождение	
3.5. Критерии алмазоносности	
4. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ	
4.1. Применение различных методов прогнозно-поисковых работ при количественной оценке прогнозных ресурсов коренных месторождений алмазов	
4.1.1. Геологические методы	
4.1.2. Геофизические методы	
4.1.3. Шлихо-минералогический метод	
4.1.4. Прочие методы	
4.2. Районирование территорий по условиям ведения прогнозно-поисковых работ	
4.3. Комплексирование среднemasштабных прогнозно-поисковых работ на алмазы	
5. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ	
5.1. Оценка прогнозных ресурсов категории P_3	
5.2. Оценка прогнозных ресурсов категории P_2	
5.3. Оценка прогнозных ресурсов категории P_1	
6. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	
7. ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОТРАЖАЮЩИХ КОНЕЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ	
8. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	
8.1. Геолого-структурные и морфоструктурные модели	
8.2. Морфологические модели	
8.3. Палеогеографические, гидродинамические и литолого-фациальные модели	
8.4. Петрографические и минералогические модели	
8.5. Концентрационные модели	
8.6. Математико-статистические модели	
8.7. Геофизические и геохимические модели	
8.8. Группировка россыпей для прогноза, поисков и оценки	
ЛИТЕРАТУРА	

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Оценка (переоценка) прогнозных ресурсов минерального сырья имеет своей целью определение потенциального национального богатства недр России и разработку направлений его использования в общенациональных (федеральных) и региональных интересах для будущего социально-экономического развития страны в условиях воздействия процессов глобализации.

Уровень достоверности прогнозных построений прямо влияет на результативность геологоразведочных работ, в первую очередь прогнозно-поисковых и поисково-оценочных. В соответствии с этим важнейшее значение имеет создание и внедрение эффективных научно обоснованных методик прогноза ведущих промышленных типов месторождений полезных ископаемых и количественной оценки прогнозных ресурсов отдельных территорий и площадей. Количественное прогнозирование позволяет локализовать работы на наиболее перспективных площадях, обеспечивая тем самым решение задач обнаружения месторождений с минимальными затратами.

Система оценки прогнозных ресурсов, введенная в нашей стране впервые в мировой практике, за прошедшие годы показала высокую эффективность для определения результативности ГРП и обоснования их направлений. Эта система основана на "Методическом руководстве по оценке прогнозных ресурсов", впервые изданном в 1986 г. После апробации первого издания в производственных геологических организациях страны "Методическое руководство..." было переработано с изданием новой версии в 1989 г.

За прошедшие годы произошли радикальные изменения в социально-экономических основах России и в отечественной системе недропользования, которые привели, в частности, к разделению минерально-сырьевой базы (МСБ) на распределенный и нераспределенный фонды недропользования. Подавляющее большинство отечественных экономически эффективных разведанных месторождений алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ) обрело недропользователей. Вместе с тем, в распределенной части МСБ ряда полезных ископаемых оказалась весьма значительной доля экономически недоступных для освоения запасов. Еще более велика доля таких запасов в нераспределенном фонде. В этой связи активизируется процесс лицензирования объектов, изученных на ранних стадиях ГРП, с привлечением средств из федерального и местных бюджетов и средств инвесторов для доизучения перспективных площадей и объектов. При этом первоочередное значение приобретают работы по разбраковке объектов, находящихся в настоящее время в нераспределенном фонде, с целью выбора наиболее инвестиционно привлекательных.

Современные работы по оценке прогнозных ресурсов основываются на следующих положениях:

прогнозные ресурсы оцениваются всеми недропользователями по каждому виду твердых полезных ископаемых;

оценка прогнозных ресурсов всех категорий проводится по результатам всех видов ГРР, обеспечивших выявление новых площадей и объектов за счет;

проведения ГСР-200, ГДП-200, ГТК-1000, целевых прогнозно-металлогенических, геофизических и геохимических работ;

поисковых, оценочных и разведочных работ, выполненных за счет всех источников средств на ГРР (федеральных, региональных, негосударственных);

переоценка прогнозных ресурсов по ранее известным площадям и учтенных в порядке, определенном МПР России, производится по итогам работ, проведенных на таких площадях любыми участниками системы недропользования.

В связи с вышесказанным возникла необходимость издания третьей переработанной и дополненной версии Методического руководства, учитывающей как преобразования в отечественной системе недропользования, так и современные отечественные и зарубежные достижения в методических основах металлогении и прогноза, включая, в первую очередь, результаты интенсивно развивающихся работ по созданию моделей объектов прогноза и поисков и соответствующих компьютерных технологий.

При подготовке новой версии Методического руководства с целью обеспечения преемственности между разновременными отраслевыми нормативно-методическими документами выполнен ретроспективный анализ опыта практического применения отраслевых документов при переоценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых применительно к месторождениям алмазов, золота, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта (Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов. 1986, 1989; Дополнение к Методическому руководству. 1992). Оценена также приложимость к новым условиям ряда других отраслевых документов, имеющих непосредственное отношение к обеспечению качественной оценки прогнозных ресурсов, включая выпуски "Оптимизированные прогнозно-поисковые комплексы (ППК) для месторождений алмазов, благородных и цветных металлов", изданные в период 1982-1988 гг., "Требования к результатам и качеству геологоразведочных работ по стадиям" (1982). "Перечни конечных результатов, видов и методов работ по стадиям ГРР для разработки предельных нормативов стоимости" (1988), справочники «Минеральное сырье» (выпуски 1997-1998 гг.).

С целью обеспечения необходимой сопоставительности разновременных оценок прогнозных ресурсов в данной работе использована понятийная база, которая с

должной детальностью охарактеризована в работе "Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. С-Пб., 1991", прошедшей должную апробацию в практике геолого-разведочных работ.

В Методическом руководстве рассматриваются научно-методические основы прогнозирования, опирающиеся на принципы рудно-формационного и формационного анализа. Исходной металлогенической предпосылкой прогнозирования служит принцип геологической аналогии, который используется для определения позиций месторождений по геологическим ситуациям, а также для определения качественных и количественных параметров прогнозных ресурсов. Научно-методической основой применения принципа геологической аналогии являются прогнозно-поисковые модели (ППМ) разноранговых объектов прогноза. ППМ представляют собой классификационно-признаковые модели, которые состоят из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства, определяющих геологические обстановки, прогнозно-поисковые критерии и другие показатели, характеризующие наличие и степень проявления рудоформирующих процессов и позволяющие вычленять перспективные площади из геологического пространства.

Методы оценки прогнозных ресурсов охарактеризованы применительно к разноранговым объектам (таксонам) - металлогеническим зонам, рудным районам, полям и месторождениям (перспективным участкам). Рассмотрена последовательность работ по локализации разноранговых металлогенических таксонов, потенциально перспективных на выявление месторождений различных геолого-промышленных типов на основе прогнозно-поисковых комплексов, представляющих собой совокупность оптимальных методов выявления объектов прогноза и поисков.

Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов АБЦМ подготовлено в форме выпусков: "Алмазы", "Золото и серебро", "Металлы платиновой группы", "Никель и кобальт", "Медь", "Свинец и цинк", каждый из которых отвечает определенному полезному ископаемому либо геологически естественной группе таковых. Каждый из выпусков имеет типовую структуру и состоит из разделов, отвечающих определенному геолого-промышленному либо рудно-формационному типу месторождений. За основу группировки месторождений приняты классификационные схемы, изложенные в соответствующих выпусках справочника "Минеральное сырье" (1997-1998). Содержание каждого из выпусков ориентирует пользователей на выполнение комплекса работ, необходимых и достаточных для подготовки площадей для лицензионного недропользования, а также на соблюдение требований к работам по оценке прогнозных ресурсов недропользователями любых форм собственности.

Каждому из выпусков данного Методического руководства предпослан раздел "Общие положения", в котором приведены особенности оценки прогнозных ресурсов каждого из полезных ископаемых, а также те или иные отклонения от типовой структуры работы.

Работа имеет целевое назначение — она призвана обеспечить единство научно-методических основ оценки (переоценки) прогнозных ресурсов на 01.01.2003 г. Ее составители считают возможным и необходимым дальнейшее совершенствование данного Руководства на основе соответствующих предложений всех непосредственных участников работ по оценке (переоценке) потенциального богатства недр нашего Отечества.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Коренные месторождения алмазов характеризуются следующими принципиально важными особенностями:

1. Незначительное количество промышленно значимых тел (собственно месторождений). Так, во всем мире на сегодняшний день выявлено свыше 4000 кимберлитовых (и лампроитовых) тел, из них немногим более 500 содержат алмазы, менее 60-ти представляют собой эксплуатируемые (или уже отработанные) месторождения, а основной объем добычи обеспечивает всего лишь 15 главных рудников. Таким образом, число промышленноалмазоносных тел не превышает 1,5% от общего их количества.

2. По алмазоносности все кимберлитовые поля подразделяются на три группы:

Высокоалмазоносные, в пределах которых практически все тела алмазоносные, около 10% тел относятся к месторождениям (Мирнинское и Накынское поля Якутии, поле Кимберли в ЮАР). Нередко высокоалмазоносные тела располагаются рядом в пределах одного куста (трубки Мир и Спутник в Мирнинском поле, Ботуобинская и Нюрбинская в Накынском поле).

Среднеалмазоносные, для которых характерен резко неравномерный и непредсказуемый характер распределения алмазоносных диатрем (2—3 % месторождений от общего числа тел). Даже в близрасположенных трубках одного куста содержание алмазов может резко меняться (трубка Айхал — богатое месторождение, рядом расположенные трубки Заря и Подтрапповая практически «пустые»). Средний уровень алмазоносности на порядок ниже, чем для высокоалмазоносных полей.

Низко- и неалмазоносные, в пределах которых подавляющее большинство трубок неалмазоносны, некоторые трубки имеют убогое содержание алмазов, и лишь единичные могут приближаться по содержаниям к промышленно значимым.

Статистически в России и в мире резко преобладают среднеалмазоносные и низко- и неалмазоносные поля; на этом фоне высокоалмазоносные поля являются скорее исключением.

3. Групповое расположение кимберлитовых трубок. Весь мировой опыт убедительно показывает, что если на какой-либо площади обнаруживается кимберлитовое тело, это верный признак наличия кимберлитового поля, и в дальнейшем здесь будут обнаружены новые кимберлитовые тела. Самостоятельных изолированных трубок просто не бывает.

4. Алмазоносность кимберлитов различных фаз внедрения (рудных столбов) даже в пределах промышленно значимых трубок (месторождений) может резко варьировать (на порядок и более), что требует отдельной ее оценки.

5. Промышленное значение месторождений алмазов определяется не только (и не столько) значениями содержаний и суммарных запасов, но и крупностью, качеством и в конечном итоге - стоимостью алмазов. В отличие от многих видов минерального сырья, в любом коренном месторождении алмазов содержится широкий спектр кристаллов, стоимость которых варьирует (в зависимости от качества и размера) от 0,6 до 400 \$ за карат и даже выше. Средняя стоимость алмазов конкретного месторождения (годовой «срез добычи») обычно находится в пределах 30—100 \$ за карат и зависит от сортности и крупности алмазов. Таким образом, важнейшим показателем является ожидаемая (прогнозируемая) стоимость одной тонны руды.

6. Имеющиеся косвенные критерии выделения среди кимберлитов алмазоносных разновидностей имеют (особенно при прогнозно-поисковых работах) чисто вероятностный характер; единственный прямой критерий — положительный результат опробования на алмазы, полученный при достаточном объеме опробования или учитывающий недоизвлечение относительно крупных (+2 мм) кристаллов.

Вышесказанное означает, что для коренных алмазных месторождений аналогии с классическими рудными районами и полями оказываются недостаточными. Так, по В.М.Крейтеру, "под рудным полем (узлом, группой) понимается участок земной коры, включающий серию пространственно сближенных одновозрастных или близких по времени образования и генетически родственных эндогенных месторождений (а также, возможно, еще не обнаруженных аналогичных месторождений), обычно отделенных от других рудоносных участков большими пространствами, на которых развиты обильные мелкие проявления минерализации, но промышленные накопления отсутствуют" [6]. В случае кимберлитовых полей такие промежуточные пространства с мелкими проявлениями минерализации просто отсутствуют. Следовательно, в большинстве случаев (за исключением высокоалмазоносных полей) к коренным месторождениям алмазов не применим главный принцип классической рудной геологии — "ищи руду около руды". Естественно поэтому, что прогнозно-минерагенические и поисковые работы всех масштабов нацелены в конечном счете на обнаружение собственно кимберлитовых (лампроитовых и других) трубок, а будут ли среди них месторождения, определяется в итоге прямым опробованием.

Все перечисленные выше положения самым прямым образом влияют на методику количественной оценки прогнозных ресурсов алмазов.

На сегодняшний день в России 97% добытых алмазов приходится на коренные месторождения, на них же приходится основное количество балансовых запасов (94,7%). Прогнозные ресурсы также в подавляющем большинстве относятся к коренным месторождениям. Исходя из этого, данное Методическое руководство ориентируется прежде всего на коренные месторождения алмазов; россыпные месторождения рассматриваются лишь в плане уточнения прогнозных ресурсов категории P_2 и особенно P_1 на базе современных геостатистических моделей.

Общие ресурсы алмазов в недрах РФ слагаются из разведанных (категории $B+C_1$), предварительно оцененных (категория C_2) запасов и прогнозных ресурсов (категории P_1 , P_2 и P_3).

К прогнозным относятся ресурсы, использование которых целесообразно при существующей или осваиваемой прогрессивной разведочной и горнодобывающей технике и технологии переработки сырья, а также действующего экономического законодательства. В случае необходимости при соответствующем обосновании подлежат учету и некондиционные прогнозные ресурсы, отвечающие по своему качеству забалансовым рудам или рудам, для которых пока не разработана достаточно эффективная технология обогащения, а также прогнозные ресурсы, расположенные за пределами нижней экономически обоснованной границы отработки. Прогнозные ресурсы определяются для оценки общих перспектив районов, рудных (россыпных) полей и отдельных месторождений на основании их геологического изучения и аналогии с известными районами, полями и месторождениями, а также научных предпосылок, и используются при текущем и перспективном планировании геологоразведочных работ. Прогнозные ресурсы разведанных, разведываемых и ожидаемых новых месторождений определяются по результатам разведочных и оценочных работ за пределами контура запасов категории C_2 . Прогнозные ресурсы отличаются от запасов категории C_2 тем, что параметры оценки по прогнозируемым объектам (размеры по простиранию, падению и мощности, среднее содержание полезных компонентов и др.) являются предположительными и оцениваются в пределах негеометризованных контуров.

Прогнозные ресурсы категории P_3 — это прогнозные ресурсы перспективных алмазоносных площадей — рудных (россыпных) полей (иногда — районов), в пределах которых на основании прямых минералогических признаков и косвенных предпосылок (тектонических, магматических, палеогеографических, литолого-фациальных, геофизических и других) можно ожидать выявления новых коренных или россыпных месторождений алмазов. При отсутствии прямых минералогических признаков ресурсы

категории P_3 не оцениваются, и перспективы территории рассматриваются в рамках «металлогенического потенциала».

Выявление и оконтуривание таких потенциально алмазоносных площадей осуществляется на открытых территориях по результатам региональных геофизических и геологосъемочных работ масштаба 1:200 000 со шлиховым и мелкообъемным опробованием аллювия, дешифрированием космо- и аэрофотоснимков. На закрытых территориях, где рудные тела и россыпи погребены, для выявления перспективных площадей дополнительно проводятся среднемасштабные ГГК, ГДП с проходкой скважин, отбором шлиховых и протолочных проб керна терригенных отложений и скважинной геофизикой.

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_3 перспективных площадей служит для обоснования постановки более детальных геолого-геофизических, шлихо-минералогических съемок и специализированных поисков. Ресурсы оцениваются методом аналогии двумя путями: для достаточно изученных известных районов как сумма пообъектных ресурсов перспективных участков, а для новых и слабо изученных районов — с использованием коэффициента продуктивности в целом по району (полю) по аналогии с продуктивностью подобных известных алмазоносных полей и районов.

Прогнозные ресурсы категории P_2 — прогнозные ресурсы новых вскрытых или прогнозируемых алмазоносных рудных тел и россыпей в пределах уже выявленных кимберлитовых и/или лампроитовых полей. Их оценка зависит от типа кимберлитового поля. Для высокоалмазоносных полей подсчет ресурсов категории P_2 возможен для группы (куста) близ расположенных геофизических (или некоторых других) аномалий трубчатого типа, прошедших наземную разведку (ПГУ-1), по аналогии с ранее выявленным в пределах этого же куста алмазоносным телом. Принципиально схожа ситуация и в случае среднеалмазоносных полей, однако здесь подсчет ресурсов прогнозируемых трубок возможен лишь при наличии собственно алмазов (реже — значительного количества минералов-индикаторов алмазного парагенезиса) в окружающих современных отложениях и промежуточных коллекторах, заведомо не связанных с уже установленными алмазоносными телами; если же такая информация отсутствует, то подсчет ресурсов категории P_2 осуществляется только для новых вскрытых объектов, перспективы промышленной алмазоносности которых основываются на данных опробования в единичных выработках или малыми непредставительными пробами. Для низкоалмазоносных полей последний вариант оценки является единственно приемлемым.

Прогнозные ресурсы категории P_2 выявляются отчасти по результатам геологической съемки, глубинного геологического картирования (ГГК), глубинного доизучения площадей (ГДП), но, главным образом, по результатам специализированных поисковых работ, заверки геофизических, шлихоминералогических, геохимических и фотоаномалий с поисковым опробованием вскрытых рудных тел или перекрывающих рыхлых отложений и россыпей. Они являются основой для проведения оценочных работ. Оценка прогнозных ресурсов категории P_2 осуществляется пообъектно, ориентируя направление дальнейших работ в первую очередь на более крупные месторождения или их участки.

Прогнозные ресурсы категории P_1 — это прогнозные ресурсы флангов и глубоких горизонтов разведанных и разведываемых месторождений, а также новых алмазоносных тел, получивших положительную оценку в качестве вероятных месторождений при оценочных работах по группе разведочных выработок или линий. Они определяют возможный прирост запасов алмазов за счет: 1) глубоких горизонтов или флангов известных промышленных месторождений за контуром подсчета запасов по категории C_2 ; 2) переоценки содержания, сортности, крупности алмазов и стоимости 1 карата ранее известных и отнесенных к непромышленным месторождений (участков) и перевода их забалансовых запасов в балансовые; 3) новых открытых природных и оцененных техногенных месторождений алмазов.

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_1 осуществляется по завершению оценочных работ и основывается на их данных, а также на характере изменчивости в пространстве формы тел, размеров, состава руд (песков), содержания и качества алмазов. Учет перечисленных данных позволяет более обоснованно экстраполировать параметры разведанных (разведываемых) или новых месторождений на фланги, глубину или весь ожидаемый их объем.

Прогнозные ресурсы категории P_1 (вместе с запасами категории C_2) должны обеспечить надежное выделение объектов для разведки или доразведки (переоценки), а также получение исходных данных для пообъектного планирования прироста запасов при разведке и эксплуатационной разведке.

Естественные группировки площадей распространения алмазоносных пород образуют различные минерагенические таксоны, каждому из которых соответствует свой набор прогнозно-поисковых моделей. Для проявлений алмазоносного магматизма мантийного генезиса в настоящее время практически общепринято выделение следующих алмазоносных (потенциально алмазоносных) таксонов: провинция – субпровинция - район - поле - куст - тел - месторождение.

Алмазоносная провинция — эквивалент понятия «древняя платформа». В настоящее время алмазоносные кимберлиты и/или лампроиты установлены на всех древних платформах мира.

Алмазоносная субпровинция (область) — крупный (площадью в десятки и первые сотни тысяч км²) геоблок древней платформы с близким возрастом кратонизации фундамента, интенсивностью проявлений тектоно-магматической активизации и т.д. В конкретной субпровинции обычно доминирует определенный геолого-промышленный тип месторождений, как правило, близкого возраста.

Алмазоносная минерагеническая зона — линейная высокопроницаемая структура древнего заложения, неоднократно активизирующаяся и контролирующая процессы коро-мантийного энергомассопереноса. Зоны характеризуются значительной (до 500 км и более) протяженностью при ширине около 50 км, большой глубиной заложения ограничивающих и внутрискрутурных разломов. Необычайная живучесть, неоднократная смена термодинамического и тектонического режимов (растяжение на сжатие и наоборот), насыщенность зон разновозрастными дайкообразными и штокообразными телами, трубками взрыва основного, ультраосновного и щелочно-ультраосновного состава, многостадийное проявление динамометаморфизма — основные признаки указанных зон. Основанием отнесения их к категории алмазоносных (потенциально алмазоносных) служит: положение в пределах алмазоносной субпровинции; наличие пород щелочно-ультраосновного состава, прежде всего самих кимберлитов и/или лампроитов и их алмазоносных разностей; наличие линейно сгруппированных ореолов минералов-индикаторов (включая минералы алмазной ассоциации) и самих алмазов.

Перечисленные выше таксоны достаточно уверенно выделяются на ранних стадиях регионального прогноза на основе общедоступных материалов и не требуют (почти не требуют) проведения специализированных исследований.

Алмазоносный район — группа пространственно сближенных кимберлитовых полей, приуроченная к пересечению минерагенической зоны крупными поперечными приподнятыми блоками или зонами глубинных разломов. Строгие критерии определения границ районов в настоящее время отсутствуют; тем не менее, выделение столь "размытого" таксона, как район, оказывается полезным и даже неизбежным, когда масштаб имеющихся материалов не позволяет детализировать прогнозные построения до уровня поля.

В геологической практике принято более широкое понимание термина — под алмазоносным районом понимаются территориально обособленные коренные и связанные с ними россыпные месторождения, россыпепроявления, единичные находки

алмазов и минералов-индикаторов, сформированные в близких геолого-структурных обстановках и обладающих общностью характеристик кимберлитов по возрастным, петрографическим, петрогеохимическим и минералого-кристаллографическим свойствам и признакам. Границы районов определяются условно путем объединения сближенных кимберлитовых полей и пространственно сопряженных с ними площадей распространения шлиховых ореолов и россыпей. Таким образом, в настоящее время границы известных алмазоносных районов сложились в основном исторически в ходе геолого-поисковых работ и носят как объективно геологический, так и географо-экономический характер.

Алмазоносное поле — естественная группировка пространственно-сближенных кимберлитовых тел (и связанных с ними россыпей), связанных происхождением с развитием единой вертикальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонны). Площадь поля от первых сотен км² до 2,5 тыс. км²

Куст (группа) алмазоносных тел — в пределах кимберлитовых (лампроитовых) полей отдельные трубки располагаются неравномерно, образуя локальные скопления (группы, цепочки), которые в отечественной литературе получили название куста (от 2 до 10 тел). Площадь этого таксона не превышает первых десятков км².

Месторождение — конкретное коренное тело (трубка, силл, дайка) или россыпь, концентрация, стоимость и запасы алмазов, в котором делают их разработку на сегодняшний день экономически выгодной.

Как и любая другая иерархически построенная система, прогнозно-поисковые модели различных минерагенических таксонов сочетают в себе разномасштабные элементы, то есть каждая модель включает в себя некоторые элементы как выше, так и нижестоящего в иерархическом ряду таксона. В зависимости от масштаба работ и имеющихся материалов, как показывает практика работ, выделяются следующие объекты или их фрагменты:

Масштаб 1:1000 000. Выделение алмазоносных (потенциально алмазоносных) субпровинций, зон и районов. Предварительное выделение аномальных площадей ранга поля.

Масштаб 1:200 000. Оконтуривание прогнозируемых полей. Предварительное выделение перспективных площадей ранга куста тел. Заверка наиболее интересных локальных аномалий.

Масштаб 1:50 000 и крупнее. Детализация внутренней структуры поля. Оконтуривание перспективных участков ранга куста тел. Заверка наиболее интересных локальных аномалий. Предварительная оценка объектов, выявленных ранее при работах м-ба 1: 200 000.

Таким образом, для месторождений алмазов невозможно однозначно соотнести масштаб работ, ранг минерагенического таксона и категорию прогнозных ресурсов. Очевидно лишь, что:

Для таксонов ранга субпровинции, зоны и района можно оценить только их металлогенический потенциал (иногда, при наличии убедительных прямых минералогических признаков - прогнозные ресурсы категории P_3).

Для таксона алмазоносного поля в общем случае (масштаб 1: 200 000) оцениваются прогнозные ресурсы категории P_3 , в наилучшем варианте частично и P_2 .

Для таксона куста кимберлитовых (лампроитовых) тел в уже установленных полях (масштаб 1: 200 000 — 1: 50 000) оцениваются прогнозные ресурсы категории P_2 (в случае высокоалмазоносных полей для прогнозируемых трубок, средне- и низкоалмазоносных полей - для выявленных трубок с установленной алмазоносностью по единичным пробам).

Для конкретных месторождений (алмазопроявлений) оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1 .

2. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

В геолого-промышленной классификации типы и подтипы месторождений, помимо их генетической принадлежности, различаются между собой по условиям залегания, форме, размерам рудных (россыпных) тел, концентрациям, качеству и запасам алмазов, определяющим методы их прогноза, поисков и оценки (табл. 1).

2.1. Коренные месторождения

Месторождения алмазов кимберлитового (лампроитового, кимберлит-лампроитового) типов разделяются на два основных подтипа: а) крутопадающие конусовидные трубки взрыва, выполненные кимберлитовыми брекчиями, реже массивными порфировыми кимберлитами; б) крутопадающие дайки и жилы, нередко с раздувами, выполненные массивными кимберлитами, реже взрывными брекчиями. По запасам алмазов и размерам они подразделяются на уникальные, крупные, средние и мелкие, при этом уникальными и крупными по запасам могут быть месторождения соответственно крупных и средних размеров, но с весьма высокими (уникальными) содержаниями алмазов. С наибольшей рентабельностью обрабатываются верхние горизонты уникальных и крупных месторождений, именно в них сосредоточены основные запасы и прогнозные ресурсы алмазов алмазоносных полей.

Основными объектами эксплуатации во всем мире являются трубки. Месторождения дайкового и жильного типов, как правило, относятся к категории

мелких, реже средних по запасам алмазов. По качеству и содержаниям алмазов резких отличий не имеется. В России промышленных жильных месторождений пока нет, известны лишь отдельные жилы с промышленной алмазоносностью, которые самостоятельного значения для добычи алмазов не имеют. Лампроитовый тип характеризуется аналогичными параметрами.

В отдельный геолого-промышленный тип — кимберлит-лампроитовый — выделяются месторождения, имеющие, как это следует из их названия, характеристики, одновременно сочетающие черты как типичных кимберлитов, так и типичных лампроитов. К этому типу относятся кимберлиты Архангельской области, где содержание минералов-индикаторов существенно ниже, чем в "классических" кимберлитах, хромшпинелид резко преобладает над гранатом, а подавляющее большинство алмазов (особенно в крупных классах) представлено кривогранными формами (додекаэдроидами). Главная причина выделения этого геолого-промышленного типа в качестве самостоятельного — его тяготение к специфическому виду геологических структур (бортовым частям авлакогенов).

Импактные месторождения (например, Попигайское) по запасам руды, содержаниям и запасам алмазов превышают в сотни раз самые крупные месторождения в кимберлитах и лампроитах. В метаморфогенном месторождении Кумды-Коль в Казахстане содержания алмазов еще выше, чем в импактных, но запасы несколько меньше. Самостоятельного промышленного значения на сегодняшний день месторождения этих типов не имеют и далее не рассматриваются.

2.2. Россыпные месторождения.

Алмазы россыпей составляют небольшую (около 10%) часть мирового производства природных алмазов, но значительную (более 30%) долю всех извлекаемых камней составляют ювелирные разновидности, что и определяет высокую промышленную значимость россыпных месторождений.

Среди известных промышленных россыпных месторождений алмазов выделяются следующие основные генетические типы: аллювиальные, делювиально-пролювиальные (в том числе карстовых депрессий), и прибрежно-морские.

Аллювиальные россыпи являются наиболее распространенными среди россыпных месторождений и ведущими по масштабу добычи алмазов из россыпей. Уникальные и крупные по размерам россыпные месторождения редки, но доминируют по запасам и образуются обычно за счет размыва нескольких коренных первоисточников или промежуточных коллекторов площадного типа. Средние и мелкие аллювиальные

россыпи наиболее распространены, связаны чаще с одиночными коренными месторождениями или промежуточными коллекторами.

В делювиально-пролювиальный тип россыпей объединены россыпи смешанного происхождения, в том числе пролювиально-озерные, делювиально-пролювиальные в карстовых воронках, сформированные за счет размыва коренных месторождений или высокоалмазных промежуточных коллекторов. Подавляющее большинство россыпей этого типа расположено на склонах и в логах возле первоисточников, относятся к мелким, отчасти средним по масштабу, с запасами обычно менее 1 млн. кар. Исключением являются месторождения Бакванги (Заир), сложенные переотложенным дезинтегрированным кимберлитовым материалом с запасами алмазов около 300 млн. карат.

Прибрежно-морские россыпи, главным образом, подводные шельфовые, пляжевые и береговых террас, разрабатываются вдоль побережья Юго-Западной Африки; древние докембрийские промышленные россыпи алмазов известны в Индии и Бразилии. Роль их в суммарной мировой добыче алмазов из россыпей незначительная, однако они являются основным источником крупных ювелирных камней, выход которых достигает 70—95%. Наиболее протяженными (десятки километров) являются прибрежно-морские россыпи Юго-западной Африки, образующие зону общей протяженностью 1500 км.

Россыпные месторождения разного генезиса по глубине залегания подразделяются на мелкозалегающие (обычно до 15—20 м) и глубокозалегающие (погребенные, иногда до 50—100 м и более). Большинство россыпей, особенно кайнозойских, мелкозалегающие и доступны для открытой отработки. К глубокозалегающим относится незначительное количество преимущественно древних россыпей, сформированных в карстовых и эрозионно-тектонических депрессиях (пролювиальные и пролювиально-озерные), вдоль морских побережий (прибрежно-морские), а также в палеодолинах погребенной гидросети (аллювиальные). Погребенные россыпи депрессий более мощные, многоярусные и обычно пригодны для сплошной отработки открытым способом; некоторые маломощные, но высокоалмазные погребенные прибрежно-морские и аллювиальные россыпи могут быть пригодны для подземной отработки.

По мере удаленности от первоисточника выделяются россыпи ближнего и дальнего сноса; первые формируются непосредственно возле первоисточника, вторые — на удалении во многие десятки-сотни километров в благоприятных геолого-структурных условиях.

Россыпи ближнего сноса отличаются относительно повышенным содержанием алмазов, преобладанием мелких и средних по размеру кристаллов, свойственных коренным первоисточникам. Россыпи дальнего сноса и переотложения менее алмазоносны, но характеризуются повышенной крупностью камней и преобладанием высококачественных кристаллов.

Вероятность выявления того или иного геолого-промышленного типа месторождений очень важна при оценке прогнозных ресурсов категории P_3 (в некоторых случаях P_2).

3. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ МОДЕЛИ ОСНОВНЫХ АЛМАЗОНОСНЫХ (АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ) МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ (КОРЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

3.1. Алмазоносная (потенциально алмазоносная) минерагеническая зона

С геолого-структурной точки зрения можно выделить по меньшей мере три основных типа минерагенических зон (по степени убывания контрастности их отражения на геологических картах): платформенная мобильная зона; плечевая часть рифтов и авлакогенов (область дифференцированных блоковых движений); зона скрытых разломов фундамента.

Платформенная мобильная зона — система сближенных долгоживущих глубинных разломов, контролирующих размещение мантийного (базитового и гипербазитового) магматизма на кратонах, она имеет резко дифференцированное блоковое строение и формируется в режиме преобладания восходящих тектонических движений и напряжений сжатия. Основными признаками мобильных зон (элементами прогнозно-поисковой модели) являются:

1. Широкое развитие интрузивных и вулканогенных образований. Присутствуют интрузии базитового и гипербазитового состава, гранитоидные интрузии и вулканогенные образования кислого состава как следствие орогенных процессов в близрасположенных складчатых областях. Присутствуют также вулканиты основного состава, аналогичные развитым в чехле кратонов прилегающих областей, где их поля развития и мощности увеличиваются при непосредственном приближении к мобильной зоне.

2. Резкодифференцированное горст-грабенное блоковое строение, с нередким выводом блоков фундамента на поверхность, причем чередование поднятых и опущенных блоков происходит как вдоль, так и вкрест простирания зоны.

3. Внутреннее строение мобильной зоны осложнено широким развитием сдвиго-надвиговых структур и появлением в породах чехла складок линейного типа.

4. Породы чехла в пределах зоны нередко метаморфизованы от начальной зеленосланцевой до амфиболитовой низкотемпературной фации.

5. Региональные геофизические поля характеризуются чередованием разноконтрастных удлиненно-вытянутых вдоль мобильных зон магнитных и гравитационных аномалий.

Наиболее характерной мобильной зоной является зона Холлс-Крик в Западной Австралии (рис. 1), к которой приурочено поле Аргайл с крупнейшим в мире лампроитовым месторождением алмазов.

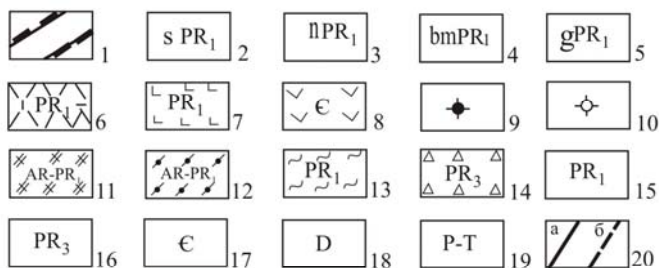
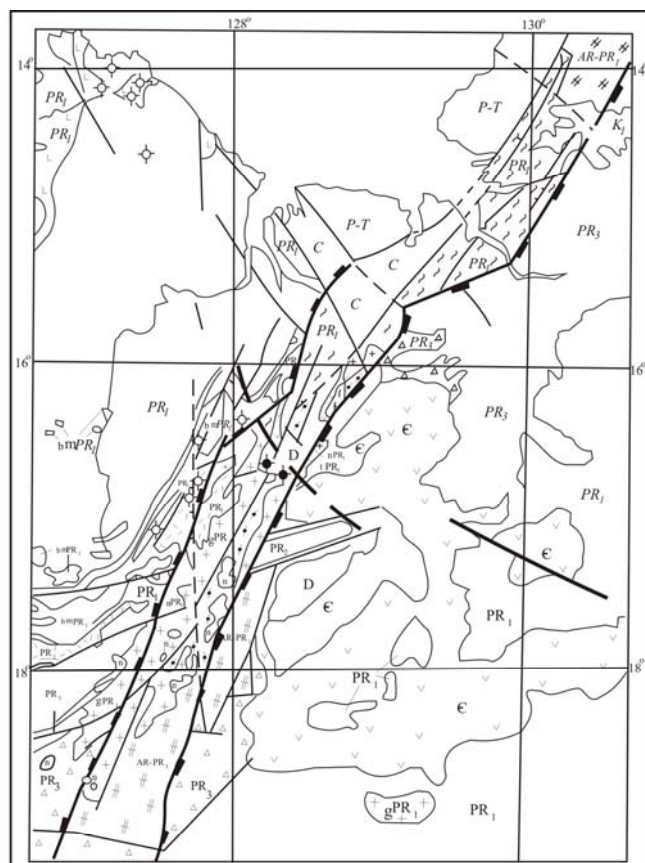


Рис.1. Геолого-структурная схема мобильной зоны Холлс-Крик, Западная Австралия [4].

1-разломные границы зоны; 2-5: магматические породы: 2 - ультраосновные, 3-габброиды, 4 - диабазы, 5 - кислые; 6-8: вулканогенно-осадочные породы: 6 - кислые, 7 - базальтоиды нижнего протерозоя, 8 - базальтоиды кембрия; 9-10: трубки взрыва и дайки: 9 - лампроитов, 10 - кимберлитов; 11-13: метаморфические и метаморфизованные породы: 11 - гнейсы, 12 - гранулиты, 13 - породы зеленосланцевой фации; 14-19: осадочные породы: 14 - тиллиты, 15 - осадки нижнего протерозоя, 16 - верхнего протерозоя, 17 - кембрия, 18 - девона, 19 - пермтриаса; 20 - прочие разломы (а - достоверные, б - предполагаемые)

Плечевая часть рифтов и авлакогенов — область к периферии от осевого грабена, имеющая клавишное горст-грабеновое строение вдоль оси рифта с амплитудами вертикальных смещений 1—2 км. Здесь же встречаются менее контрастные поперечные (трансформные) структуры. Типичный пример — зона в северо-восточном борту Онежско-Керещкой системы рифтов, в структурном отношении совпадающая с системой субпараллельных кулисообразно расположенных глубинных разломов (рис. 2). В рифее эта система контролировала проявления базитового и щелочноультраосновного (с лампроитовым уклоном) магматизма, в среднем палеозое внедрились мелкие тела и дайки пироксенитов, фойдитов, малиньитов, йолитов, уртитов и т.д., а также трубки взрыва щелочных базальтоидов, мелилититов (Ненокское поле) и кимберлитов (Терское поле на Кольском полуострове и Зимнебережное на Кулойско-Беломорском плато). Вдоль всей зоны вытянуты ореолы минералов-индикаторов.

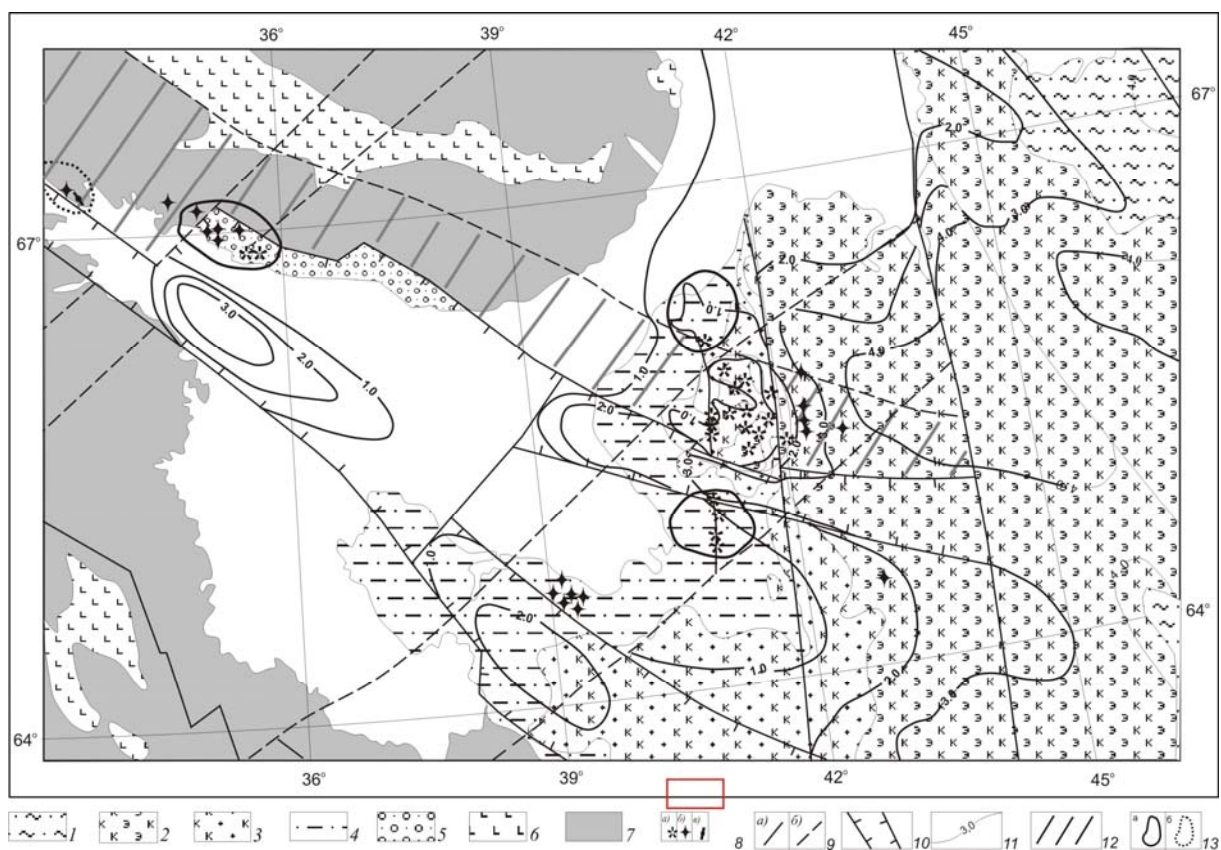


Рис. 2. Структурно-геологическая схема плечевой части Беломорской рифтогенной системы,

по

А.Н.Бойко,

Н.А.

Прусаковой:

1 — триасовая система: нижний отдел, песчаники, глины; 2 — пермская система: доломиты, известняки, гипсы, ангидриты; 3 — каменноугольная система: средний- верхний отделы: известняки, доломиты, песчаники, 4 — венд: алевролит, песчаники, аргиллиты; 5 — рифей: песчаники, конгломераты; 6 — нижний протерозой, метабазалты; 7 — архей, гнейсы, гранитогнейсы; 8 — трубки взрыва и дайки: кимберлитов (а); щелочных пикритов (б); лампроитов (в); 9 — разрывные нарушения: достоверные (а); предполагаемые (б); 10 — разломы, ограничивающие Беломорскую рифтогенную структуру; 11 — изогипсы поверхности кристаллического фундамента, км; 12 — плечевая зона Беломорской рифтогенной структуры; 13 — поля развития: кимберлитов (а); лампроитов (б)

По мнению некоторых исследователей, приуроченность алмазоносных пород к бортовым частям рифтов и авлакогенов является универсальной закономерностью.

Многие специалисты считают, что кимберлиты здесь связаны с коллизионными зонами (или зонами краевых дислокаций — ЗКД), которые обрамляют по периферии палеорифтовые постройки и приурочены к разломам, имеющим примерно те же простирания, что и палеорифтовые депрессии, но удалены от осей этих депрессий в плечевых частях на расстояние 150—200 км (рис. 3). Для ЗКД, ширина которых составляет около 20—30 км, характерна потеря коррелятивности аномалий гравимагнитных полей.

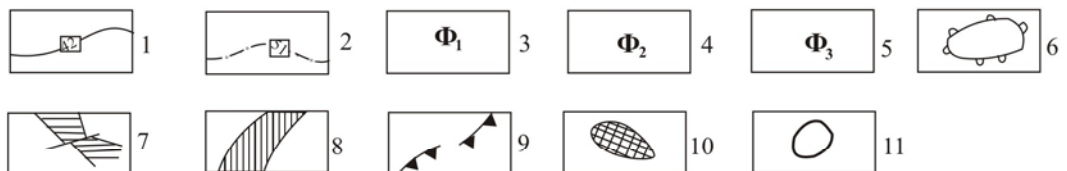
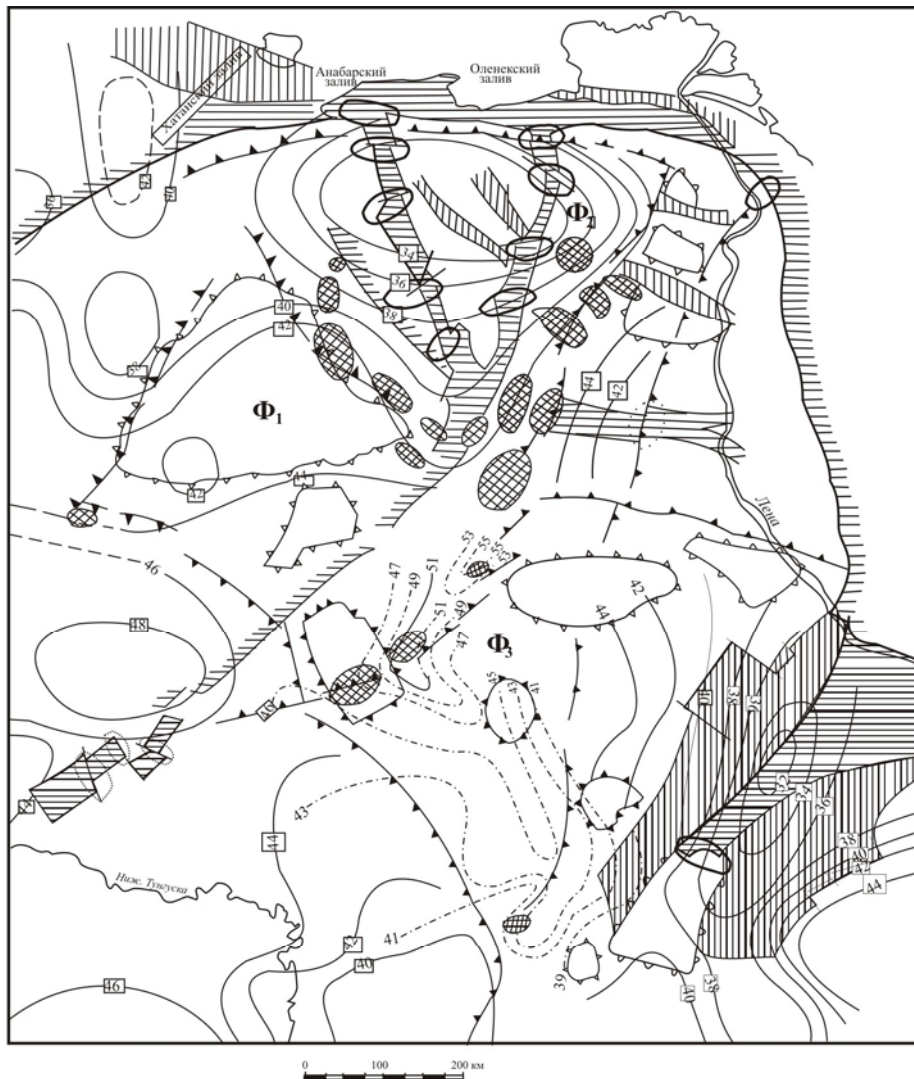


Рис. 3. Кимберлитоконтролирующие ЗКД Сибирской платформы [14].

1 - 2: изогипсы залегания границы Махо земной коры (1 - по Н.М.Чернышеву, 2 - по В.Д. Суворову); 3 - 5: мегаблоки фундамента (3 - гранито- и гранулит- (эндербито)-гнейсовый, 4 - серогнейсово-зеленокаменный, 5 - гранулит-базитовый); 6 - локальные выступы фундамента; 7 - 8: палеорифтовые зоны (7 - позднеархейско-позднекембрийские, 8 - среднепалеозойские); 9- коллизионные зоны; 10 - кимберлитовые поля; 11 - поля развития лампроитов и пикроитов.

Зоны скрытых разломов фундамента — обычно хорошо дешифрируются на космоснимках и выделяются в региональных геофизических полях, но относительно слабо отражаются в реально наблюдаемых геологических структурах. Они характеризуются наиболее слабой контрастностью тектонических движений в породах фундамента, а в породах чехла "просвечивают" лишь в виде отдельных разломов и трещин. В пределах зон, как правило, полностью отсутствует складчатость и метаморфизм чехольных образований.

Часто магматизм в этих зонах представлен лишь отдельными щелочно-ультраосновными дайками и трубками взрыва, но есть и другие варианты. Зона скрытых глубинных разломов Коридор Надежд (северо-западная Канада), контролирующая кимберлитовые тела в районе озера Лак де Гра, интенсивно насыщена проявлениями дайкового комплекса (рис. 4) Маккензи основного состава (возраст внедрения даек 1,27 млрд.лет). Возраст самих кимберлитов 50—60 млн.лет, то есть эта зона древнего заложения была активизирована в верхнемеловое-палеоценовое время. Также известны примеры, когда дайковые пояса долеритов, определяющие контуры зон скрытых разломов, имеют близкий возраст с контролируруемыми ими кимберлитами. Например, близширотный дайковый пояс на Гвинейско-Либерийском щите контролирует кимберлитовое поле Фенария. Возраст даек долеритов и кимберлитовых тел в данном случае один — мезозойский. Мезозойский возраст имеет и пояс даек долеритов северо-западного простирания, контролирующий мезозойское кимберлитовое поле Орапа в Ботсване.

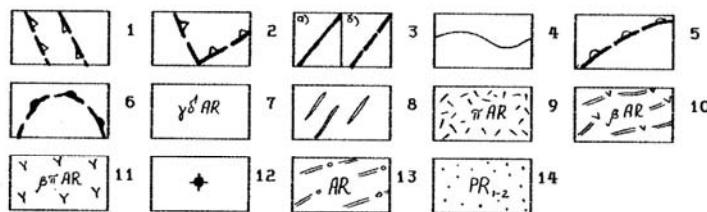
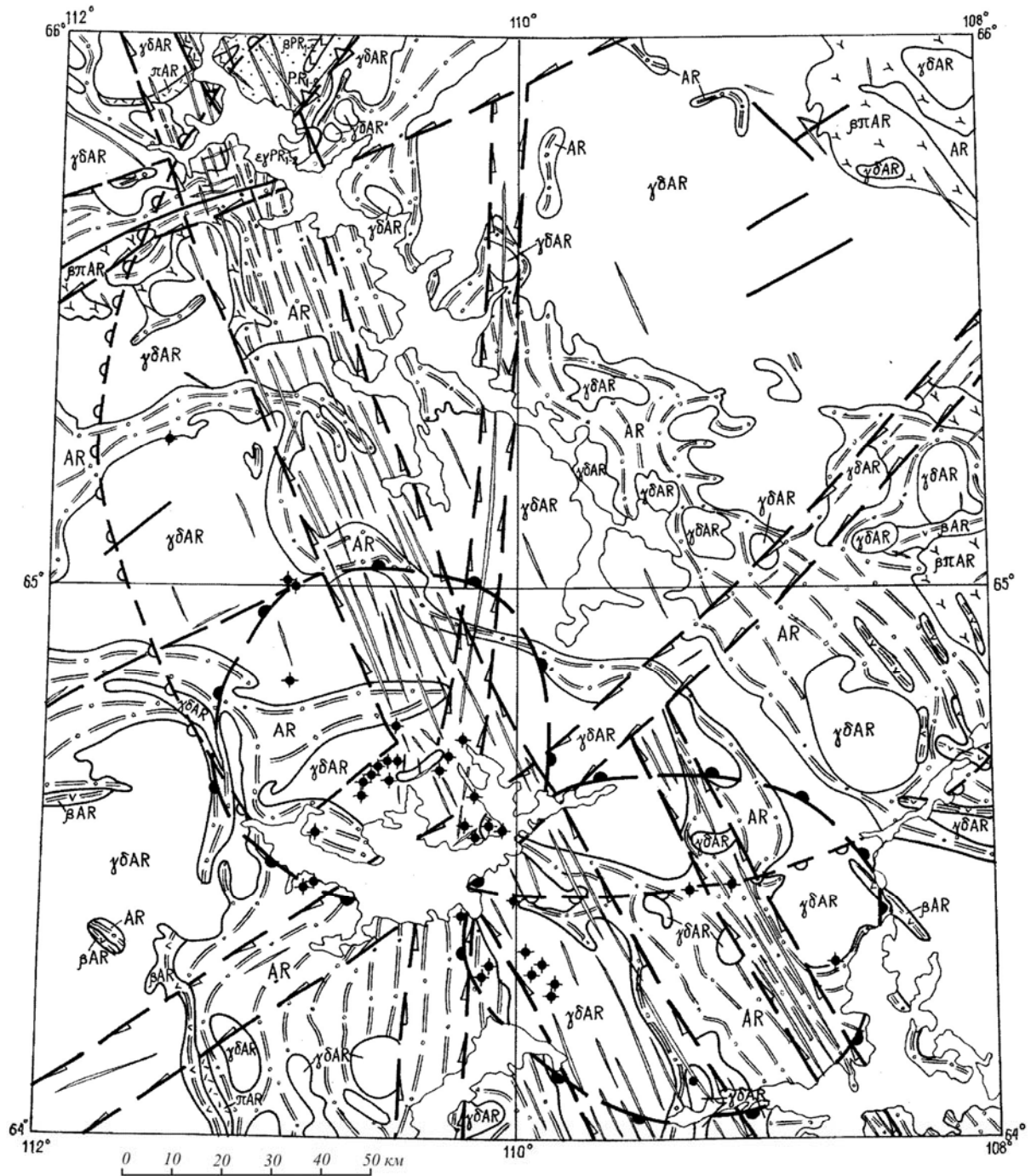


Рис.4. Геолого-структурная схема кимберлитовых полей района Лак де Гра, Канада, по В.А.Варламову, А.Н.Бойко.

1 - магмаактивные зоны типа скрытых глубинных разломов; 2 - рифты; 3 - разломы достоверные (а) и предполагаемые (б); 4 - геологические границы между разновозрастными отложениями; 5 - сводовые поднятия в породах кристаллического фундамента и осадочного чехла; 6 - положительные морфоструктуры; 7 - магматические породы кислого состава, гранитоиды; 8 - дайки долеритов; 9-11 - вулканогенно-осадочные породы: 9 - кислого состава, 10 - основного состава, 11 - смешанного состава; 12 - кимберлитовые трубки; 13 - метаморфические породы; 14 - потенциальные промежуточные коллектора алмазов.

Характерным примером зоны скрытых глубинных разломов является Алакит-Оленекская зона северо-восточного простирания, контролирующая Алакитское, Далдынское и Верхне-Мунское кимберлитовые поля с промышленными диатремами

(рис. 5). Зона при ширине 60—70 км имеет протяженность более 600 км. Контуры зоны проведены с большой долей условности по положению контролируемых кимберлитовых полей, отдельным разломам и трещинам. На участках, изученных более детально (прежде всего сейсморазведочными работами), эти контуры определяются более уверенно.

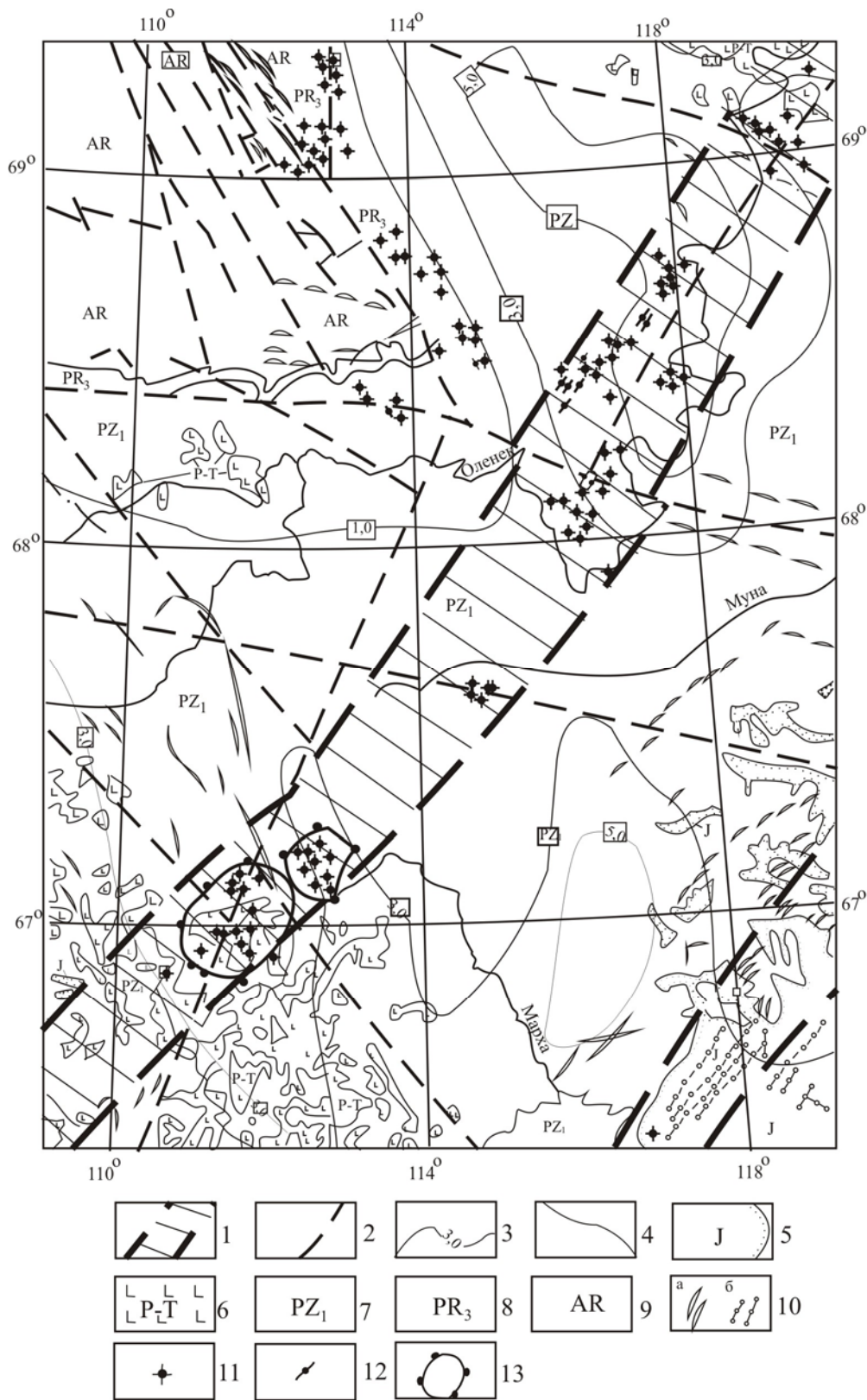


Рис. 5. Геолого-структурная схема Алакит-Оленекской зоны скрытых глубинных разломов [4] .

1 - зона скрытых глубинных разломов; 2 - разломы; 3 - изогипсы поверхности фундамента; 4 - геологические границы; 5 - юра, песчаники; 6 - пермь-триас, траппы; 7 - нижний палеозой - известняки, доломиты; 8 - верхний протерозой - песчаники, алевролиты; 9 - архей - метаморфические породы; 10 - дайки долеритов (а - на поверхности, б - погребенные); 11 - кимберлитовые трубки взрыва; 12 -

кимберлитовые дайки; 13 — куполообразные поднятия в породах осадочного чехла

Исходя из глубинного строения, реконструируемого по геофизическим данным, перечисленные минерагенические зоны близки между собой и могут быть названы единым термином «пояс повышенной проницаемости» [2]. Они имеют зональное строение, при котором центральная часть представлена широкой зоной глубинного разлома, а краевые части — линейными гранулит-базит-гипербазитовыми блоками. В гравитационном поле блокам соответствуют среднечастотные линейные положительные аномалии; аналогичные аномалии наблюдаются нередко и в магнитном поле. Сейсморазведкой фиксируются участки повышенных скоростных параметров в верхней и средней частях земной коры. При детальном специализированном исследовании методом ГСЗ подобные структуры иногда удается проследить вплоть до верхней мантии [2].

Глубинным разломам обычно отвечают линейные, среднечастотные, отрицательные аномалии в гравитационном и магнитном полях и соответственно пониженные значения скоростных параметров (5,9 — 6,1 км/сек) в верхней части земной коры. В более глубоких горизонтах они прослеживаются по участкам с потерей корреляции сейсмических волн. По данным МТЗ, в разрезе земной коры им отвечают иногда близвертикальные зоны пониженных сопротивлений.

Анализ материалов по алмазным месторождениям мира показывает, что именно тип минерагенической зоны является основным фактором, определяющим (в статистическом плане) генетический тип коренных месторождений и средний уровень алмазоносности [4]. Так, к зонам скрытых разломов фундамента приурочены классические кимберлиты с крупными и уникальными месторождениями алмазов; бортовые части рифтов и авлакогенов контролируют размещение кимберлит-лампроитовых ассоциаций; для мобильных зон характерны породы лампроитового ряда; внутри рифтов локализуются убогоалмазные ультрамафитовые лампрофиры.

3.2. Алмазоносное поле

Прогнозирование алмазоносного (потенциально алмазоносного) поля является ключевым элементом при количественной оценке прогнозных ресурсов категории R_3 . Это естественная группа пространственно-сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с развитием единой вертикальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонны).

В последние годы получены убедительные данные [2, 4], что многим (если не всем) известным кимберлитовым полям присущ устойчивый комплекс геолого-

геофизических признаков, выявляемых по результатам специализированных исследований с помощью специальных методов интерпретации фактического материала. Этот комплекс образует прогнозно-поисковую модель кимберлитового (лампроитового) поля, основными элементами которой являются:

1. Пересечение минерагенической зоны с поперечными приподнятыми блоками или глубинными разломами.
2. Купольное поднятие диаметром 30—100 км, с амплитудами от нескольких десятков до первых сотен м, с постепенным затуханием на глубину. Проявляется в достаточно пластичных породах чехла. При повышенной жесткости пород — блоковое поднятие, соизмеримое с купольным. Возможна комбинация обоих типов поднятий.
3. Положительная кольцевая морфоструктура, кольцевые и дугообразные разломы в верхних и нижних горизонтах осадочного чехла, образующих в совокупности радиально-концентрическую систему.
4. Наличие блока с изотропной ориентировкой трещиноватости.
5. Смена структуры потенциальных полей: протяженные среднечастотные линейные аномалии сменяются аномалиями изометричной формы и широким спектром высокочастотных аномалий. Уровень поля Δg снижается на 4—12 мгл.
6. Интенсивные положительные гравитационные аномалии на флангах поля, отождествляемые со скрытыми ареалами докембрийского базит-гипербазитового магматизма.
7. Повышенные граничные скорости по поверхности верхней мантии; наличие в земной коре повышенного числа зон с инверсией скоростей.
8. Площадная аномалия повышенного электрического сопротивления в коре и верхней мантии на глубинах от 40 до 400 км, диаметром около 60 км.
9. Депрессия магнитоактивной поверхности.
10. Широкое распространение минералов-индикаторов, в том числе хорошей сохранности, присутствие алмазов в аллювии и терригенных отложениях промежуточных коллекторов.
11. Наличие аэромагнитных (электрических) аномалий «трубочного» типа.
12. Повышенный геохимический фон и аномальные ореолы комплекса элементов-индикаторов (хром, никель, кобальт, титан, ванадий, иттрий) кимберлитов.

Главными блоками модели являются геолого-геофизический, геолого-структурный и шлихоминералогический.

3.2.1. Геолого-геофизическая модель

Мирнинское кимберлитовое поле. В результате детальных работ методом ГСЗ по двум профилям на поверхности верхней мантии (граница М) обнаружены высокие значения граничной скорости, достигающие 8,6—9,0 км/с (при относительно пологом рельефе) на фоне нормальных скоростей 7,9—8,2 км/с. В нижней части консолидированной коры на глубинах около 30 км зафиксирована отражающая граница, которая образует антиклинальное поднятие с амплитудой 3—4 км. В верхней части коры на глубине 6—10 км выделяется преломляющая граница с граничной скоростью 6,5—6,6 км/с, которая также образует антиклинальное поднятие с аналогичной амплитудой. По поверхности кристаллического фундамента на участке протяженностью около 15 км, соответствующем наиболее приподнятому положению двух рассмотренных границ, наблюдаются повышенные значения граничной скорости (около 6,6 км/с). Выявленные особенности сейсмологического разреза позволяют наметить в земной коре вертикальную зону, характеризующуюся различными аномальными свойствами на разных уровнях глубин. Все известные кимберлитовые трубки Мирнинского поля концентрируются в высокоскоростной части зоны. В целом распределение аномальных значений граничных скоростей под кимберлитовым полем имеет изометрическую форму, в отличие от сопредельных территорий, где отсутствуют проявления кимберлитового магматизма.

В гравитационном и магнитном полях над Мирнинским кимберлитовым полем также отмечаются характерные аномалии (рис. 6, 7). Непосредственно над полем отмечается своеобразная гравитационная аномалия изометрической подковообразной формы, которая «наложилась» и деформировала региональную линейную структуру. В центре этой подковообразной аномалии наблюдается снижение значений поля силы тяжести на 6—8 мГл. По периферии с севера, запада и юга она обрамляется либо повышенным градиентом поля, либо отдельными положительными аномалиями серповидной или изометрической формы. В магнитном поле также отмечается нарушение его линейной структуры. Центральная часть гравитационной подковообразной аномалии в магнитном поле характеризуется снижением значений на 150—180 нТл; при этом области понижения как гравитационного, так и магнитного полей достаточно хорошо совмещаются.

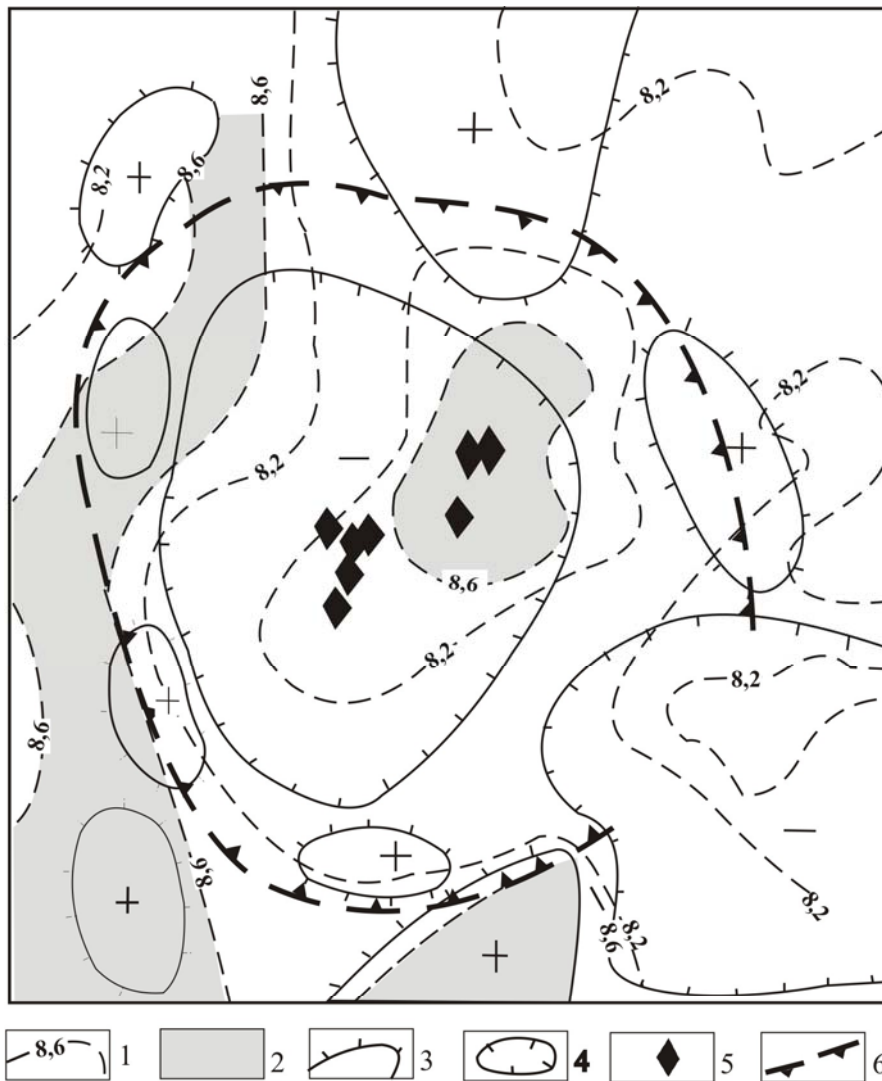


Рис. 6. Отражение Мирнинского кимберлитового поля в данных гравиметрии и сейсмометрии, по А.А. Фельдману, Л.В. Морозовой.

1 - изолинии граничных скоростей по поверхности верхней мантии (V_T км/с); 2 - области со значениями $V_T > 8,6$ км/с; 3 - 4 - локальные аномалии поля силы тяжести: 3 - положительные, 4 - отрицательные; 5 - кимберлитовые трубки; 6 - граница кимберлитового поля.

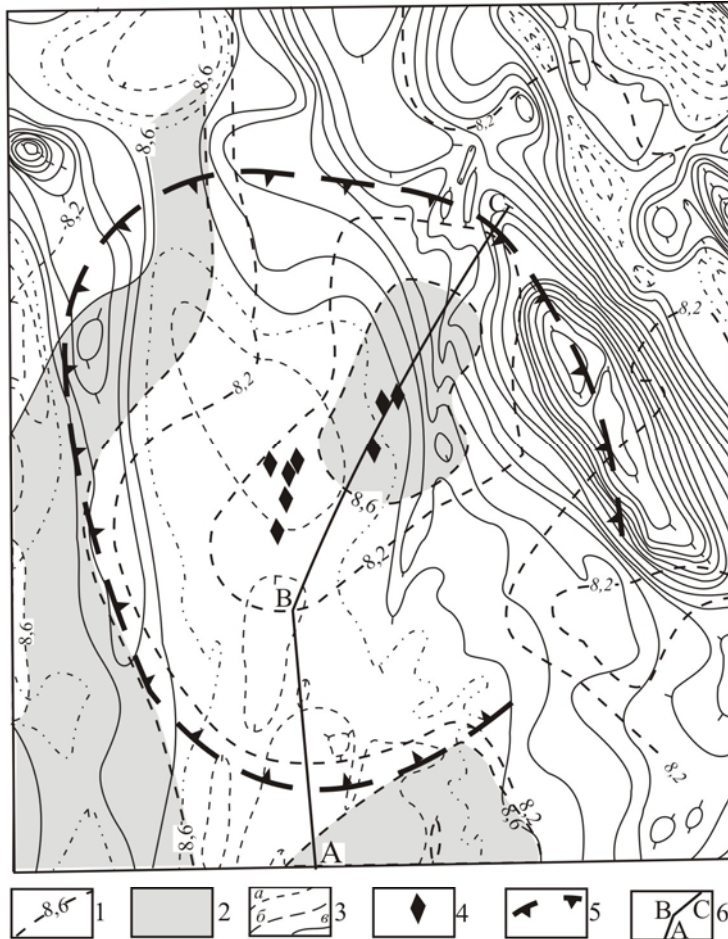


Рис. 7. Отражение Мирнинского кимберлитового поля в данных магнитометрии и сейсмометрии, по А.А. Фельдману, Л.В. Морозовой

1 - изолинии граничных скоростей по поверхности верхней мантии (V_T , км/с); 2 - области со значениями $V_T > 8,6$ км/с; 3 - изолинии аномального магнитного поля (проведены через 50 нТл, штрихи обращены в сторону падения значений): *a* - отрицательные, *б* - нулевые, *в* - положительные; 4 - кимберлитовые трубки; 5 - граница кимберлитового поля; 6 - линия геолого-геофизического разреза А-В-С.

В итоговой глубинной физико-геологической модели Мирнинского кимберлитового поля (рис. 8) основным элементом является мантийный диапир, внедрившийся в нижнюю часть земной коры 1200 млн.лет назад. В этот период над будущим кимберлитовым полем, по-видимому, возникла положительная гравитационная аномалия. Ее поперечные размеры соответствовали аномальной области высоких граничных скоростей эллипсовидной формы на поверхности мантии. При последующей серпентинизации мантийный диапир приобрел сложное петрофизическое строение: в нем появились блоки с низкими плотностью и магнитной восприимчивостью, а также блоки с иными сочетаниями физических параметров.

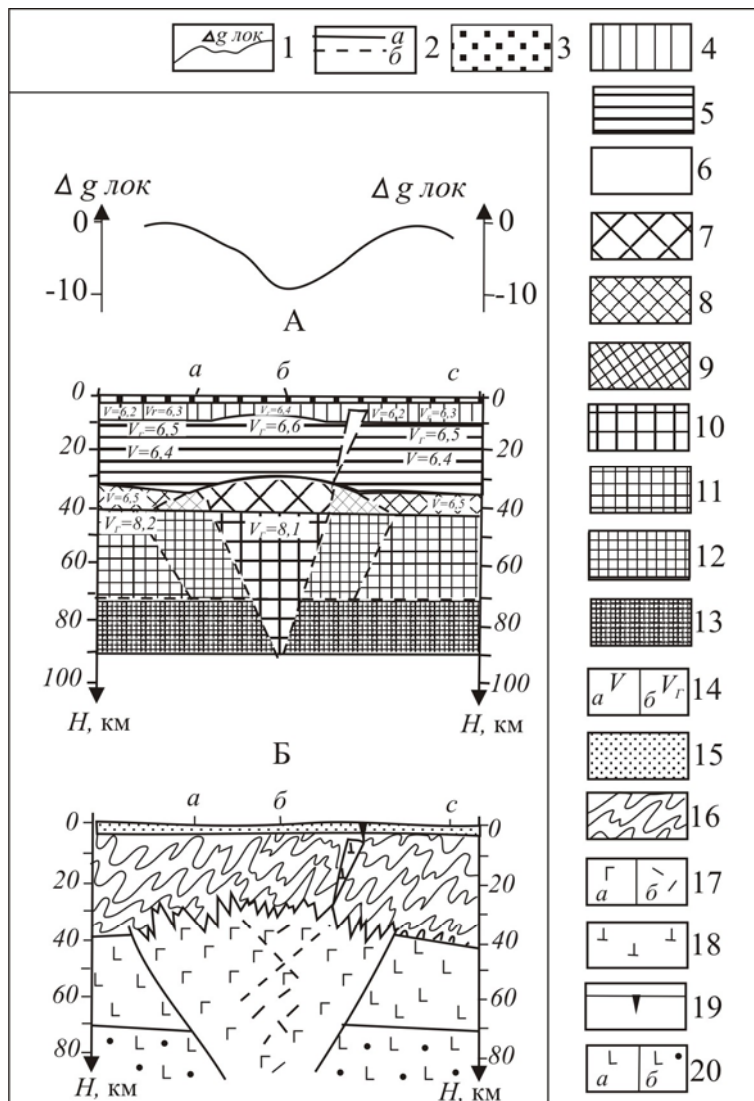


Рис.8. Глубинная физико-геологическая модель Мирнинского кимберлитового поля, по А.А. Фельдману, Л.В. Морозовой

а - глубинный геоплотностной разрез с данными по скоростным характеристикам пород: 1 - кривая локальной составляющей поля силы тяжести; 2 - границы геоплотностного разреза, установленные по сейсмическим данным (а) и подобранные по гравиметрическим данным (б); 3 - 13 - блоки земной коры и верхней мантии, характеризующиеся следующими значениями плотности, г/см³: 3 - 2,30; 4 - 2,75; 5 - 2,80; 6 - 2,78; 7 - 2,72; 8 - 2,82; 9 - 2,85; 10 - 3,00; 11 - 3,32; 12 - 3,35; 13 - 3,38; 14 - значения сейсмических скоростей, км/с: а - пластовых, б - граничных.

б - глубинный геолого-геофизический разрез: 15 - осадочный чехол; 16 - метаморфический фундамент; 17 - мантийный диапир (глубинный магматический очаг), состоящий из неизменных (а) и метасоматизированных (б) пород; 18 - мантийный диапир-сателлит (периферийный магматический очаг); 19 - кимберлитовая трубка; 20 - породы верхнемантийного субстрата, истощенные (а) и

слабоистощенные в геохимическом отношении (б)

Зимнебережное кимберлитовое поле. Анализ сейсмических разрезов по двум профилям ГСЗ-МОВЗ, пересекающим Зимнебережную площадь в субмеридиональном

и субширотном направлениях, показывает, что все проявления щелочно-ультраосновного магматизма приурочены к блоку земной коры с аномальными сейсмическими параметрами. Отмечается повышенная расслоенность земной коры с чередованием слоев небольшой мощности (~5 км) с повышенными и пониженными скоростными характеристиками продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн. В верхней (на глубине ~10 км) и нижней (на глубине ~25 км) частях разреза выделяются слои с инверсией скорости упругих волн (так называемые волноводы). Кроме того, блок в целом отличается аномально низкими значениями отношения V_p/V_s (1,64—1,69). Нижняя (гранулит-базитовая) часть разреза коры также имеет стратифицированный характер. В его нижней части выделяется обширный по площади слой мощностью ~10 км, характеризующийся несколько отличными скоростными параметрами (V_p ~7,0 км/с, V_s ~3,90 км/с) по сравнению со скоростными характеристиками во вмещающих образованиях гранулит-базитового слоя (V_p ~7,10 км/с, V_s ~4,0 км/с). Зимнебережное поле приурочено к локальному поднятию в кровле этого надмантийного слоя, а также тяготеет к северной части (борту) линейного прогиба по поверхности М, где наблюдается деформация раздела кора - мантия. В верхней мантии вдоль границы М отмечается тенденция снижения скорости упругих волн до 8,0 км/с (на фоне 8,2 км/с).

В потенциальных геофизических полях Зимнебережное кимберлитовое поле также выделяется характерными особенностями в виде типоморфных аномалий Δg и ΔT (рис. 9).

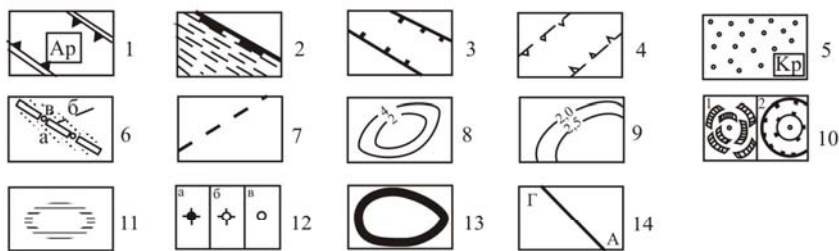
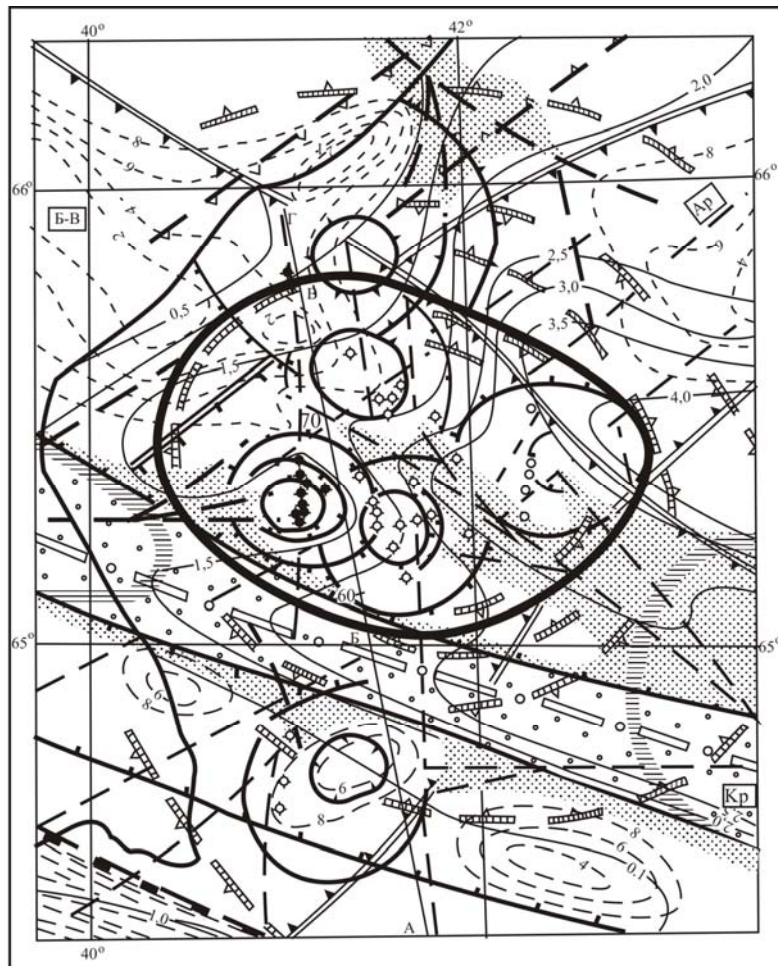


Рис. 9. Геолого-геофизическая схема Зимнебережного кимберлитового поля и примыкающих территорий, по А.А.Фельдману и Н.А.Прусаковой.

1 - трансрегиональные пояса повышенной проницаемости: Б-В - Беломорско-Вычегодский пояс (его северо-восточное ограничение), Ар - Архангельская зона; 2 - южная ветвь Беломорско-Вычегодского мобильно-проницаемого пояса; 3 - магмаактивные зоны Беломорско-Вычегодского мобильно-проницаемого пояса; 4 - отдельные, в том числе поперечные магмаактивные зоны; 5 - Керецкий грабен рифейского заложения; 6 - ось зоны глубинного разлома раздвигового типа (а), оперяющие его разрывные нарушения (б) и сопровождающие их ослабленные зоны земной коры (в); 7 - прочие разрывные нарушения; 8 - изогипсы поверхности скрытых докембрийских базит-гипербазитовых массивов, в км; 9 - изогипсы поверхности кристаллического фундамента, в км; 10 - кольцевые структуры и их элементы, выделяемые по магнитометрическим данным: 1 - структуры первого ранга, 2 - структуры второго ранга, 11 - области крупных коро-мантийных разуплотнений; 12 - трубки взрыва, силлы: кимберлитов (а), пикритов (б), базальтов (в); 13 - контур Зимнебережного поля; 14 - линии геолого-

геофизических разрезов

При этом устанавливается связь между морфологическими особенностями потенциальных геофизических полей с особенностями сейсмических разрезов. Как показали расчеты, глубина залегания верхней кромки аномалеобразующего объекта, обусловившего понижение уровня поля силы тяжести в пределах Зимнебережной площади, соизмерима с глубиной залегания верхнего слоя (блока) с пониженной

скоростью упругих волн (верхнего волновода). Глубина залегания магнито-возмущающего объекта, обусловившего повышение магнитного поля, соизмерима с глубиной залегания гравитирующего объекта и глубиной залегания верхнего волновода по сейсмическим данным.

В результате моделирования гравитационного поля установлено, что при всей неоднозначности решения задачи в большинстве случаев (возможных вариантов) гравитационный эффект достигается за счет локального увеличения (раздува с образованием антиклинальной структуры) мощности разуплотненных слоев или блоков, сочетающихся (чередующихся), как правило, с блоками (слоями) относительно плотных образований.

Таким образом, глубинное строение Зимнебережного кимберлитового поля характеризуется совокупностью физико-геологических неоднородностей земной коры с аномальными физическими параметрами, при этом разуплотненные образования составляют большую часть разреза. Структурное положение этих неоднородностей, форма, морфология внутрикоровых границ, аномальность физических параметров позволяют связать их генезис с преобразованиями земной коры под воздействием глубинных мантийных флюидов, проникающих из активизированного мантийного палеочага в верхние горизонты вдоль ослабленных зон земной коры и мантии. Граница кимберлитового поля определяется совмещенными в плане рассмотренными выше типоморфными аномалиями Δg и ΔT .

В геолого-геофизической модели Зимнебережного кимберлитового поля (рис. 10) на фоне высокоскоростной и высокоплотной верхней мантии и базифицированной земной коры выделяется область с аномальными сейсмическими, плотностными и электрическими параметрами, присущими кимберлитовому полю. Такими параметрами являются: локальное увеличение мощности земной коры на 2—3 км при одновременной аномальной граничной скорости на поверхности верхней мантии; горстообразное поднятие внутрикорового преломляющего горизонта (на глубине 6—10 км) при одновременном увеличении граничной скорости на поверхности кристаллического фундамента. Таким образом, модель глубинного строения кимберлитового поля характеризуется сочетанием крупных физико-геологических неоднородностей как в вертикальном направлении, так и по латерали. По вертикали модель контрастно расчленяется на высокоплотную мантию и земную кору с аномальными скоростными характеристиками. Контуры этих неоднородностей в плане могут служить для выделения естественных границ кимберлитовых полей.

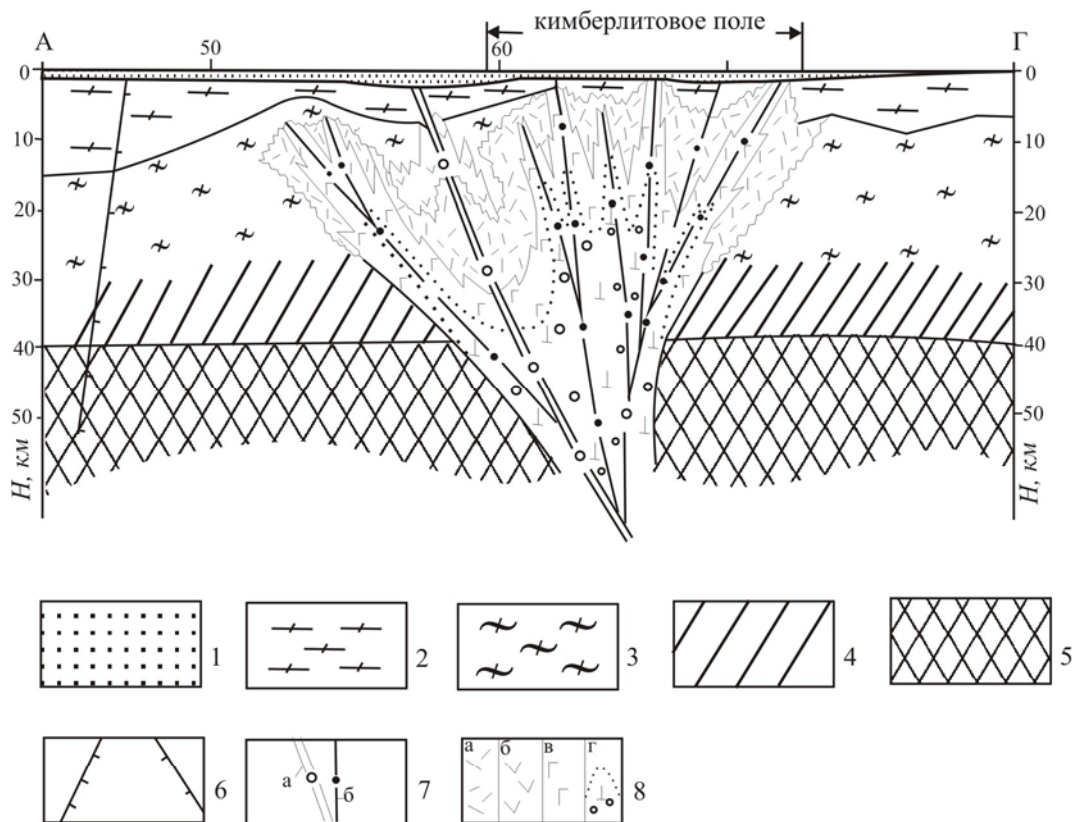


Рис. 10. Глубинный геолого-геофизический разрез по линии А - Г (см.рис.9)

1 - осадочный чехол; 2 - гранито-гнейсовый метаморфизованный комплекс; 3 - промежуточный (диоритовый) слой; 4 - гранулит-базитовый слой; 5 - образования верхней мантии; 6 - границы магмоактивных зон Беломорско-Вычегодского мобильно-проницаемого пояса; 7 - ось зоны глубинного разлома (а), с системой оперяющих разрывных нарушений (б); 8 - породы флюидно-магматической колонны: а - измененные коровые образования, б - базитовые, в - базит-гипербазитовые, г - кимберлитовые.

3.2.2. Структурно-геологическая модель

Мирнинское кимберлитовое поле. Глубинной неоднородности под Мирнинским кимберлитовым полем на поверхности соответствует Амакинское купольное поднятие овально-округлой формы (рис. 11). Границы поднятия определены по перегибу кровли метегерской свиты кембрия и сейсмическому горизонту КВ (граница кембрий-венд) и подчеркиваются зоной повышенной трещиноватости в нижней части его склонов. Размеры поднятия: по длинной оси 40 км, по короткой 30 км, амплитуда воздымания 50—70 м, с глубиной она уменьшается. В пределах купольного поднятия расположены все известные кимберлитовые тела. С севера и востока поднятие обрамляется дугообразной полосой развития позднепалеозойских и юрских россыпей алмазов. Амакинское купольное поднятие влияло на фациальный состав пермских и юрских отложений, что указывает на его древний, скорее всего, среднепалеозойский возраст. Все перечисленные данные свидетельствует о магматогенной природе поднятия, аналогичного вздутиям, фиксируемым в районах проявления современного вулканизма.

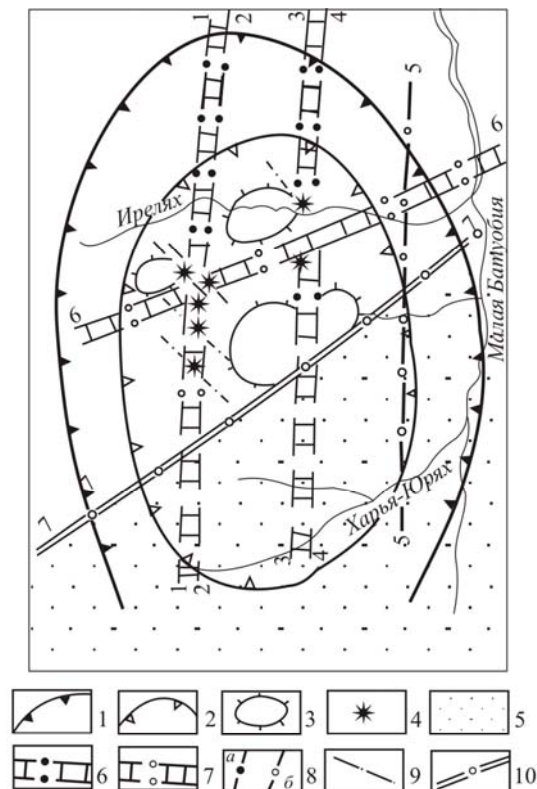


Рис.11. Структура Мирнинского кимберлитового поля [2].

1 - контур геофизической аномалии центрального типа; 2 - граница Амакинского купольного поднятия; 3 - контуры куполов второго порядка; 4 - кимберлитовые трубки; 5 - часть структуры поля, перекрытая мезозойскими отложениями Ангаро-Вилуйского прогиба; 6 - кальдеры проседания кимберлитового вулканизма; 7- кальдеры базальтового вулканизма; 8 - глубинные разломы, контролирующие: а - кимберлитовый и базальтовый магматизм (1-1 - Кюзяхский, 2-2 - Западный, 3-3 - Параллельный, 4-4 - Центральный), б - только базальтовый магматизм (5-5 - Восточный, 6-6 - Аппаинский); 9 - кимберлитовмещающие разломы; 10 - Ангаро-Вилуйский разлом (7-7), ограничивающий мезозойский прогиб.

В основаниях купольных поднятий магматогенного происхождения возникают зоны тектонических растяжений и образуется разветвленная сеть трещин. Эти трещины в периоды последующих тектонических движений подновлялись и влияли на элементы геоморфологии рельефа, в особенности на строение речных долин. Анализ трещиноватости, проведенный по элементам геоморфологии и речной сети, показал, что по отношению к купольному поднятию все максимумы густоты трещиноватости располагаются по его периферии, где их значения колеблются от 6 до 13 усл. ед. В центральной части структуры густота трещин составляет всего 1—5 усл. ед., а в относительно опущенной юго-восточной части купольного поднятия возрастает до 4—5 усл. ед. Такое распределение трещин действительно указывает на существование в основании купольного поднятия зон растяжения.

Известно также, что структурный план каждого последующего этапа тектонической активизации в какой-то мере наследует элементы структур предыдущего. Как показали результаты палеогеоморфологического анализа, купольное

поднятия как бы обрамлено рядом посткимберлитовых депрессий, в которых часто располагаются россыпи алмазов или ореолы повышенных концентраций минералов-индикаторов.

Таким образом, по ряду независимых признаков купольное поднятие вырисовывается достаточно четко. Это поднятие пространственно совмещено с геофизической аномалией центрального типа (диаметр последней примерно на 20 км больше) и, по-видимому, является структурным отражением в осадочных породах платформенного чехла глубинного очага магмогенерации. В этом случае границы купольного поднятия могут служить в качестве еще одного независимого критерия для установления естественных границ кимберлитового поля.

Основными кимберлитоконтролирующими структурами в пределах Амакинского купольного поднятия являются пары сближенных разломов субмеридионального простирания: Центральный и Параллельный, Западный и Кюэляхский. Вдоль них расположены цепочки тел: Мир, Спутник и Дачная вдоль первой пары, Интернациональная, им. XXIII Съезда КПСС, Амакинская, А-21 и Таежная вдоль второй. Тела кимберлитов залегают в разрывных нарушениях северо-западного простирания, которые являются оперяющими по отношению к субмеридиональным разломам и в сочетании с последними образуют структуру типа «конского хвоста» [2]. Глубинные разломы и оперяющие их трещины относятся к категории закрытых и на разных глубинах проявлены по-разному: до глубины 100—200 м в виде слабо выраженного сгущения отдельных трещин, в интервале глубин 200—400 м это уже типичные отчетливо обособленные зоны тонкоплитчатой трещиноватости, переходящие ниже в обычные тектонические брекчии.

Пространство между парами глубинных разломов имеет линейно-блоковое строение, обусловленное чередованием горстов и грабенов; вблизи кимберлитовых тел преобладают грабены, образующие желобообразные понижения. Ширина их изменяется от 1,2 до 2,5 км при длине более 10—20 км; амплитуды погружений варьируют от 10—15 до 30, реже 50 м. Учитывая небольшие расстояния между парами разломов и особенности строения разделяющих их желобообразных понижений, вполне возможно, что на глубине они соединяются, образуя единую мощную зону глубинного разлома, по которой кимберлитовая магма перемещалась от очагов плавления к поверхности.

Зимнебережное кимберлитовое поле. Расположено на северном обрамлении Восточно-Европейской платформы в пределах Беломоро-Вычегодского блока с архейским возрастом кратонизации фундамента. Поле приурочено к узлу пересечения северо-восточной плечевой зоны Онежско-Керецкой системы рифтов с Архангельской

зоной разломов северо-восточного простирания. Геологический контур поля в плане определяется сложной блоково-купольной структурой размером 70х60 км (рис. 12). В терригенных кимберлитовмещающих вендских породах осадочного чехла приподнятому блоку фундамента соответствует слабоамплитудная (приблизительно 80 м) купольная структура, фиксируемая в разрезе выполаживанием юго-восточного моноклиального падения основных маркирующих горизонтов. В современном рельефе здесь картируется кольцевая положительная морфоструктура, несколько смещенная на восток.

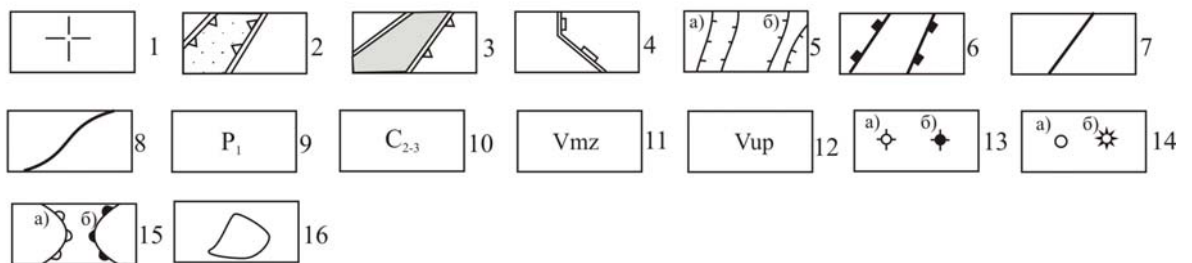
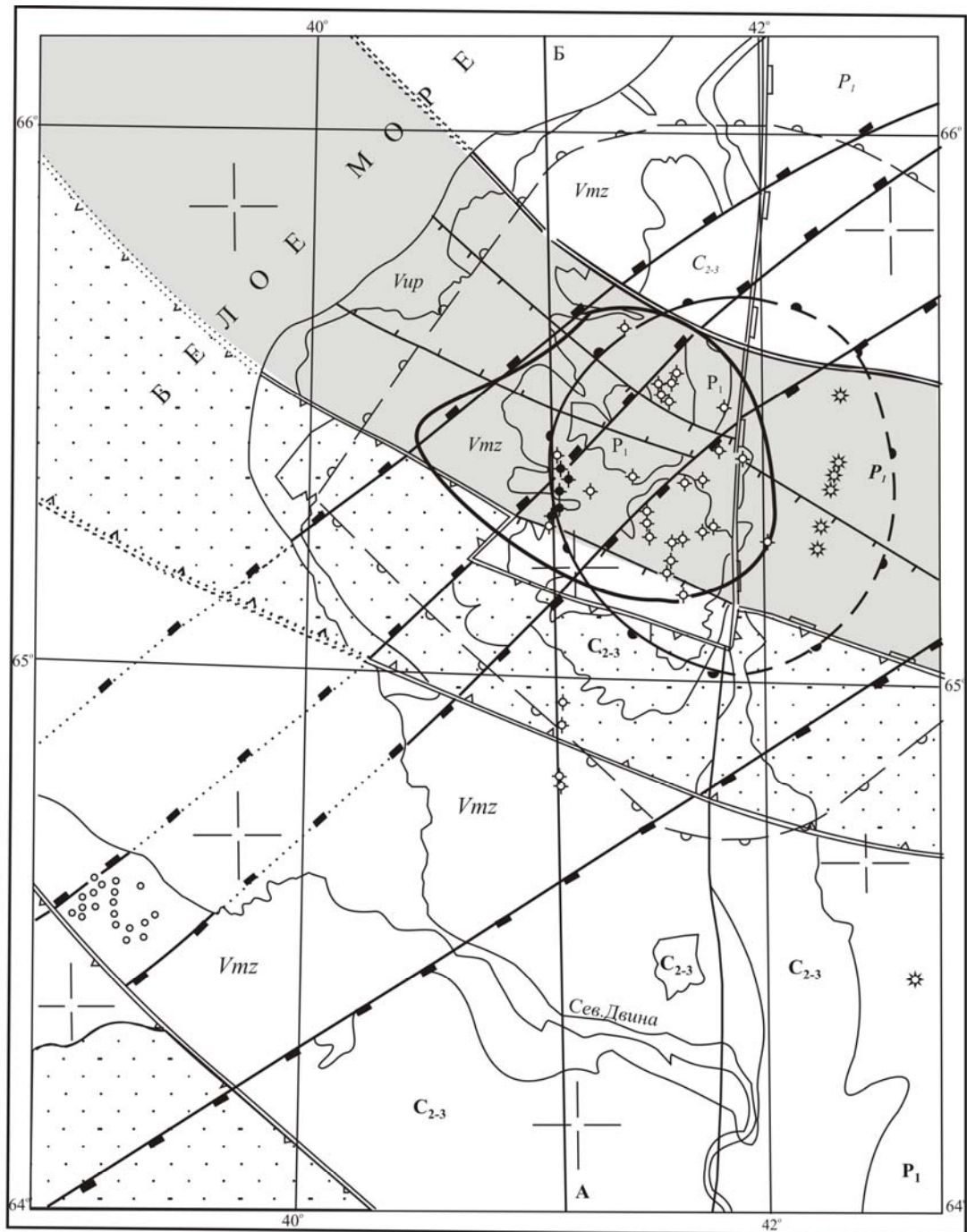


Рис.12. Геолого-структурная схема Зимнебережного кимберлитового поля и примыкающих территорий [4].
 1 - кратон; 2 - рифты; 3 - область дифференцированных блоковых движений в плечевой части рифта; 4 - прогибы; 5 - грабеновые (а) и горстовые (б) структуры в области блоковых движений; 6 - поперечные разломы; 7 - прочие разломы; 8 - геологические границы; 9 - нижняя пермь - известняки, доломиты; 10 - средний-верхний карбон - песчаники, известняки; 11 - венд, мезенская свита - песчаники, алевролиты; 12 - венд, усть-пинезская свита - песчаники, алевролиты; 13 - трубки кимберлитов неалмазоносных (а) и алмазоносных (б); 14 - трубки мелилитов (а) и щелочных базальтоидов (б); 15 - положительные морфоструктуры 1-ого порядка (а) и 2-ого порядка (б); 16 - контур поля по геологическим данным

В контуре блоково-купольной структуры в кристаллическом фундаменте выделяются три более мелких блока, ориентированных вдоль Беломорского пояса: Золотицкая ступень, Падунский грабен, Мегорская ступень, осложненных поперечными разломами. В осадочном чехле выделяются 4 более мелких купола, ограничивающих обособленные кусты (группы) кимберлитовых тел. Кимберлитовмещающими являются разломы и оперяющие трещины близмеридиональной ориентировки. Длинные оси подавляющего большинства трубок ориентированы в С-СВ направлении (0—150°).

Таким образом, особенности строения изученных эталонных кимберлитовых полей в совокупности с общегеологическими данными позволяет отнести их к вулканопроявлениям центрального типа. По [2], общая модель кимберлитового поля в разрезе соответствует структуре типа «песочные часы», в которой нижняя часть заполнена мантийным веществом, а верхняя, сообщающаяся с нижним щелевым каналом, представляет собой конфокальное вздутие или приподнятый блок вмещающих пород с серией расширяющихся кверху струй (трубок) кимберлитового состава, группирующихся в цепочки вдоль линейно-ослабленных зон кимберлитоконтролирующих разломов.

3.2.3. Шлихо-минералогическая модель

Отражение алмазоносного (потенциально-алмазоносного) поля в шлихо-минералогических аномалиях является наиболее сложной проблемой, поскольку шлихо-минералогический образ поля зависит не столько от первичных особенностей алмазоносных пород, сколько от их взаимоотношений с перекрывающими породами, то есть от характера геологической эволюции территории после внедрения кимберлитов и/или лампроитов. Ниже принципы и методика разработки таких моделей иллюстрируются на примере детально изученного Зимнебережного кимберлитового поля, особенностью которого является широкое развитие отложений покровных оледенений.

Спецификой районов, покрывавшихся ледниками, является крайняя молодость гидросети. Водотоки в большинстве случаев находятся в стадии глубинного врезания, боковая эрозия минимальна, террасовый комплекс не сформирован, поэтому прямой размыв водотоками кимберлитовых тел маловероятен. Современные водотоки были сформированы в послеледниковое время, при этом современные долины частично наследуют долины, заложенные в процессе дегляциации, а частично — и более древние долинообразные понижения. Наиболее контрастные шлихо-минералогические ореолы в современном аллювии приурочены к участкам наследования современными

водотоками долин стока талых ледниковых вод, т.е. ореолы формируются на участках, где происходит размыв флювиогляциалов долин стока и долинных зандров. Это в определенной степени компенсирует отсутствующие процессы речной боковой эрозии. В свою очередь, состав морен зависит от динамики их накопления, обусловленной морфоструктурными особенностями территории, а также геологическим строением и вещественным составом осадков, перекрывающих кимберлиты. Очевидно, что одними из определяющих элементов шлихо-минералогической модели поля являются тип и фациальная принадлежность перекрывающих данное поле осадков.

Литолого-фациальный критерий базируется на специализированном расчленении осадочной толщи, выделении наиболее информативных типов и фаций осадков, в которых имеются ореолы рассеяния минералов-индикаторов. В случае перекрытия кимберлитового поля дочетвертичными карбонатными породами, в последних ореолы рассеяния не образуются; естественно, что в перекрывающих ледниковых образованиях и в современной аллювии также не будет информации о кимберлитовом поле.

При перекрытии кимберлитового поля терригенными дочетвертичными отложениями в них фиксируются ореолы рассеяния; литолого-фациальное изучение этих осадков позволяет типизировать обнаруженные ореолы по степени возможной удаленности от коренных источников. В ледниковых отложениях также появляются ореолы, связанные с ассимиляцией минералов-индикаторов из дочетвертичных пород; при этом контрастность и размеры ореолов в ледниковых осадках (и, соответственно, в современной аллювии) обуславливаются содержаниями минералов-индикаторов в терригенных осадках, а также масштабами развития (по латерали и вертикали) последних. При наличии площадных дочетвертичных коллекторов (Северный Тиман) в ледниковых осадках и, соответственно, в современных водотоках наблюдается общая зараженность минералами-индикаторами.

При перекрытии кимберлитового поля четвертичными осадками в них также образуются ореолы рассеяния. Наибольший интерес представляют ореолы в широко распространенных ледниковых отложениях: основных моренах и долинных зандрах.

Фациально-динамический критерий основывается на оценке динамики мореносодержащего льда и механизма захвата ледником материала подстилающих пород. При этом в основных моренах (как чешуйчатых, так и монолитных), перекрывающих кимберлитовые тела, образуются локальные ореолы рассеяния.

В монолитных моренах обогащение полезными компонентами происходит в базальных частях только при непосредственном контакте ледника с кимберлитовым телом, при общей мощности четвертичных отложений не свыше 10 м. Чешуйчатые

морены формируются при развитии в толще ледника движений по плоскостям внутренних сколов (надвигов). При этом происходит перестройка строения более древних четвертичных отложений, а также ранее отложенной морены, что обуславливает обогащение полезными компонентами всей толщи моренного суглинка. Максимальное обогащение характерно для надвиговых плоскостей. Специфика формирования чешуйчатых морен обуславливает вывод материала на поверхность с глубины не более 40-60 м; в этом случае данная мощность четвертичных отложений является предельной, при которой еще возможно проведение шлихо-минералогических поисков по современному аллювию.

Стратиграфический критерий используется для корреляции разновозрастных четвертичных отложений и оценки их информативности. Наиболее информативны, при прочих равных условиях, осадки того возрастного уровня, которые непосредственно контактируют с дочетвертичными коренными породами, вмещающими кимберлитовые тела, и имеющие широкое распространение. С помощью указанного критерия можно проводить районирование территории по степени сложности поисковой обстановки: наиболее простые условия поисков будут в районах, где развиты отложения одного оледенения, наиболее сложные — в районах с разновозрастными гляциогенными отложениями.

Морфоструктурный критерий в совокупности с фациально-динамическим позволяет выделить основные динамические зоны ледникового покрова, которые в значительной степени обуславливают режим дегляциации и заложения послеледниковой гидросети. С помощью морфоструктурного критерия можно выделить по крайней мере два типа районов, различающихся по условиям таяния ледников. Первый тип отвечает склонам положительных морфоструктур, второй — их поверхностям. При проведении морфоструктурного анализа в ледниковых районах необходимо различать возвышенности, обусловленные тектоническими поднятиями (цокольные), с незначительной мощностью залегающих на них ледниковых отложений, и возвышенности, созданные собственно деятельностью ледников (аккумулятивные), где мощности четвертичных ледниковых отложений составляют сотни метров. Аккумулятивные возвышенности, исходя из специфики формирования ледниковых отложений, неперспективны для постановки шлихо-минералогических поисков по современному аллювию.

На начальных этапах дегляциации наиболее быстрое омертвление льда и его таяние приурочено к ледоразделам, особенно их склонам. При таянии лед распадается на глыбы, трещины между которыми постепенно трансформируются в долины стока талых вод. Интенсивное таяние и связанная с этим переброска обломочного материала

по долинам стока являются основными факторами, влияющими на формирование и распределение ореолов рассеяния, наблюдаемое в современных водотоках. В подобных районах имеющиеся ореолы можно рассматривать как ореолы дальнего сноса.

Второй тип районов приурочен к выровненным поверхностям крупных положительных морфоструктур или низменностям. Для этих районов характерна, обычно ровная поверхность ледникового ложа. Лед был монолитен, и процессы таяния протекали медленно, гидродинамическая активность талых вод была незначительна, разнос материала минимален. Современные реки во многих случаях наследуют долинообразные понижения в рельефе и только местами — плохо выраженные в рельефе долины стока талых ледниковых вод. Шлиховые ореолы современного аллювия формируются за счет размыва коренных пород либо гляциогенных отложений; они рассматриваются как ореолы ближнего сноса.

Геоморфологический критерий используется для реконструкции особенностей таяния ледникового покрова. Шлиховые ореолы водотоков, наследующих долины стока талых вод, протекавших по контакту активного льда низменности и мертвого льда ледораздела, характеризуют весь склон ледораздела. Шлиховые ореолы водотоков, наследующих долины стока, дренирующих склон ледораздела, характеризуют площади склона, непосредственно примыкающие к данной долине стока. Наличие минералов-индикаторов в водотоках, дренирующих верховья долин, расположенных на поверхности ледоразделов, является свидетельством непосредственной близости кимберлитового тела или группы тел.

Палеогеоморфологический критерий в общем виде может быть сформулирован в следующей форме: чем контрастнее подледный рельеф, тем сложнее условия продвижения ледника и взаимодействия на контакте лед-ложе. Палеогеоморфологическая ситуация изменяется во времени, поскольку каждый последующий ледник модифицирует ранее созданную поверхность ложа, поэтому необходима реконструкция подледного рельефа по возрастным срезам. На примере Беломоро-Кулойского плато можно проследить, как контрастность ледникового рельефа постепенно уменьшалась от более древних к более молодым ледниковым эпохам, по мере заполнения древних депрессий ледниковыми осадками. В результате относительные превышения погребенного рельефа изменились от 300 до 150 м, что создало условия для спокойного растекания льда последнего оледенения по поверхности плато и формирования монолитной морены.

Принципиально другая обстановка существовала в предшествующую ледниковую эпоху, когда рельеф ложа был более контрастным, а трубчатые тела, расположенные вблизи местных упоров (сочленение депрессий и возвышенностей), находилась в сфере

непосредственного экзарационного воздействия льда. В толще льда при этом преобладали движения по плоскостям внутренних сколов, и формировались чешуйчатые морены.

Минералогический критерий базируется на обнаружении в перекрывающих осадках и современном аллювии минералов-индикаторов кимберлитов, и прежде всего — минералов-индикаторов алмазной ассоциации и самих алмазов.

Взаимосвязь критериев прогнозирования, геолого-поисковых обстановок и обусловленных этим шлиховых ореолов показана на рис. 13, отражающем основные элементы шлихо-минералогической модели кимберлитового поля.



Рис.13. Шлихо-минералогическая модель кимберлитового поля.

Кимберлитовые поля по занимаемой ими площади условно подразделяются на крупные (более 500 км²), средние (500—200 км²) и мелкие (менее 200 км²); с уменьшением площади поля уменьшается и количество кимберлитовых тел, хотя удельная плотность тел на единицу площади может быть одинаковой.

Выделяются кимберлитовые поля линейного, узлового и смешанного линейно-узлового типов; первые контролируются преимущественно зонами субпараллельных разрывов, венчающих глубинный разлом, вторые — пересечением зон глубинных разломов. В полях линейного типа преобладают дайкообразные и жильные тела, кимберлиты менее алмазоносны, чем в полях узлового типа, представленных преимущественно трубчатыми эксплозивными телами. В кимберлитовых полях узлового типа находятся практически все известные коренные месторождения России.

Количество кимберлитовых трубок в полях колеблется обычно от 10 до 50, редко более, составляя в среднем 20—50, плотность размещения трубок в поле от 1,5 до 10, в среднем 5-4 на 100 км². Кимберлитовые поля с очень большим количеством и плотностью тел в них (особенно жильных) обычно менее алмазоносны. В новом поле

рекомендуется прогнозировать не более 2% (от общего ожидаемого количества тел) промышленных месторождений.

3.3. Куст (группа) алмазонасных тел

До настоящего времени достаточно обоснованная прогнозно-поисковая модель куста отсутствует. Наиболее изученным является Золотицкий кимберлитовый куст в пределах Зимнебережного поля (рис. 14). По имеющимся данным, предварительная модель куста алмазонасных тел состоит из следующих основных элементов:

наличие приподнятого блока фундамента;

изометричное малоамплитудное куполовидное поднятие в породах чехла;

наличие сближенной пары разломов в породах осадочного чехла;

наличие ореолов минералов-индикаторов ближнего (до 1,5 км от первоисточника) и дальнего (до 10 км) сноса в перекрывающих трубки отложениях;

в алмазонасных полях Якутии широко распространены линейные группы кимберлитовых тел (Мир—Спутник, Аэросъемочная—Академическая—Якутская и др.), приуроченные к оперяющим глубинные рудоконтролирующие разломы трещинам. Эти рудовмещающие разрывы ориентированы к основным разломам под углом 20—40° и прослеживаются от них на расстояние обычно в первые километры, реже больше;

породы группы тел чаще близки, реже существенно отличаются по вещественному составу.

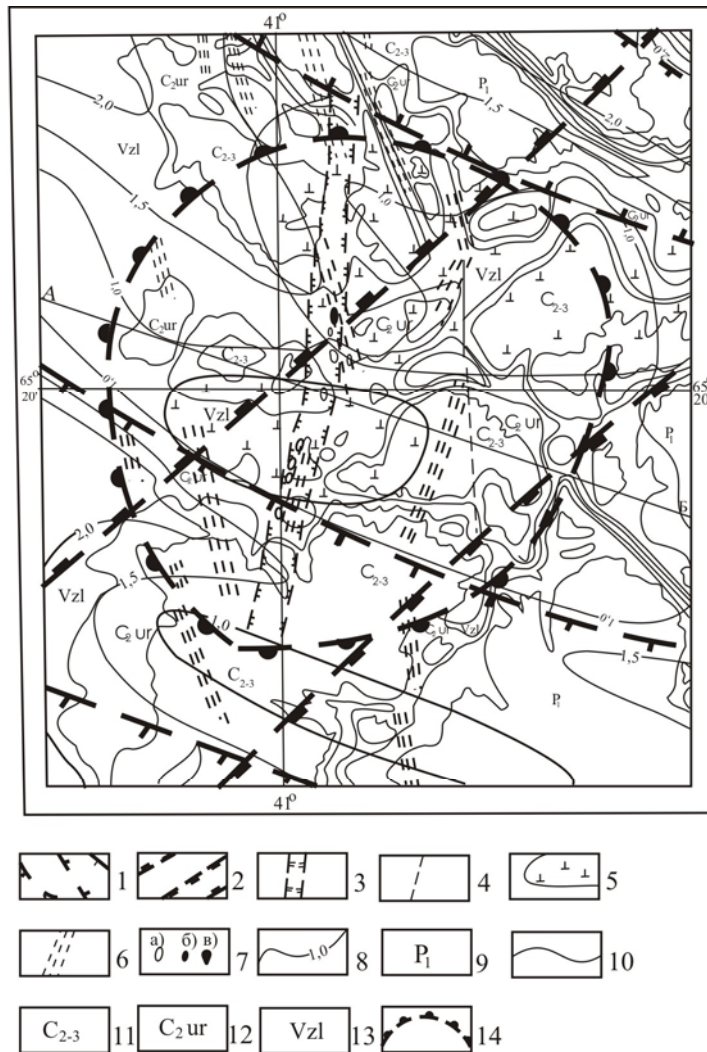


Рис. 14. Геолого-структурная схема Золотицкого кимберлитового куста.

1 - разломы, ограничивающие горстовые и грабеновые структуры в области дифференцированных блоковых движений; 2 - поперечные рифтогенной системе разломы с малоамплитудными поднятиями и опущенными блоками; 3 - пара сближенных разломов с грабенообразным понижением внутри них, вмещающие трубки разрыва Золотицкого куста; 4 - прочие рудовмещающие разломы; 5 - базит-ультрабазитовые очаги в верхах земной коры, по геофизическим данным; 6 - зоны повышенной трещиноватости в осадочном чехле, выделенные в виде низкоомных зон в электрическом поле; 7 - трубки взрыва: а) перекрытые; б) частично перекрытые; в) неперекрытые промежуточным коллектором: урзугской свитой среднего карбона; 8 - изогипсы поверхности фундамента; 9 - нижняя пермь, известняки; 10 - геологические границы; 11 - средний-верхний карбон:известняки, доломиты; 12 - средний карбон, урзугская свита, песчаники; 13 - венд, золотицкие слои, песчаники, алевролиты; 14 - купольное поднятие в кимберлитовмещающих породах.

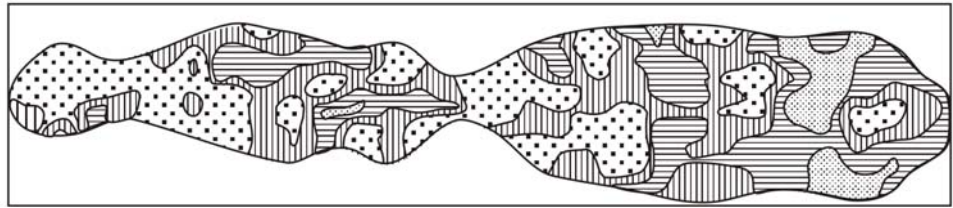
3.4. Коренное месторождение

Типовые модели геологического строения алмазоносных кимберлитовых трубок Якутии, Архангельской области, Южной Африки приведены в работах [2].

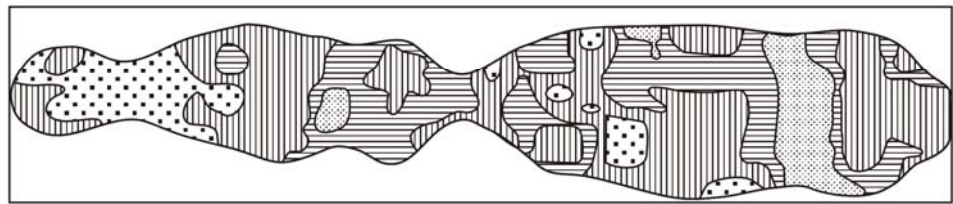
Алмазоносность коренных месторождений весьма изменчива как в плане, так и на глубину, что, главным образом, связано со сменой типов руд (рис. 15). Наиболее варьирующими параметрами являются содержание и количество кристаллов алмазов в

тонне руды; эти параметры оцениваются по каждой разновидности руд (фазе внедрения). Гранулометрический состав и средняя масса кристаллов относительно стабильны, что позволяет оценивать их по месторождению в целом.

Валовое содержание алмазов



Количество кристаллов алмазов на 1 тонну



Средняя масса алмазов

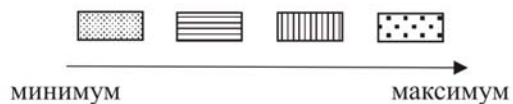
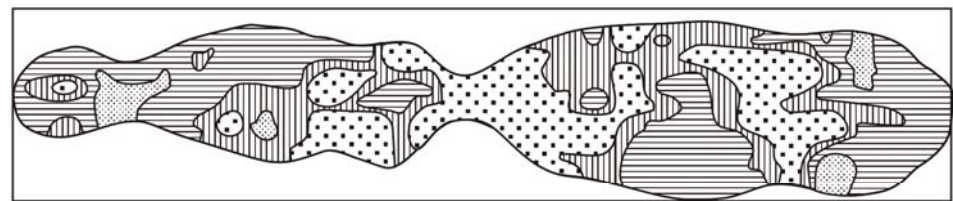


Рис. 15. Карта точечного крайгинга параметров алмазоносности трубки Айхал (на горизонте 460 м)

Туфогенно-осадочные образования кратера, в отличие от типичных руд диатремовой фации, характеризуются обычно низким содержанием алмазов и несколько пониженной их крупностью. С увеличением количества туфогенного материала вниз по разрезу кратерных образований содержание алмазов возрастает.

Разновидности кимберлитовых пород жерловой фации, слагающие верхние горизонты диатрем, имеют повышенные содержания алмазов, варьирующие в плане либо закономерно в соответствии со сменой типов руд, либо случайно с чередованием относительно богатых и бедных участков. Повышенные содержания чаще свойственны автолитовым брекчиям с редкими ксенолитами, порфировым кимберлитам, а также

корам выветривания, пониженные — ксено- и туфобрекчиям, которые иногда относят к непромышленным рудам.

Обобщенная описательная качественная эмпирико-статистическая модель алмазоносной кимберлитовой (лампроитовой) трубки сводится к следующему [2]:

1. Содержание алмазов определяется в основном средним количеством кристаллов алмаза в единице объема породы и практически не зависит от средней массы кристалла.

2. Содержание алмазов в целом не зависит от площади выхода трубки на поверхность и морфологии тела, однако крупные трубчатые тела чаще более алмазоносны.

3. Наиболее крупные и высококачественные алмазы чаще распространены в изометричных, выдержанных в вертикальном разрезе трубчатых телах глубокого заложения; трубки, характеризующиеся сложной конфигурацией и быстро выклинивающиеся с глубиной, чаще содержат значительное количество мелких кристаллов пониженного качества.

4. Кимберлиты различных фаз внедрения близки или значительно отличаются по содержанию алмазов. Между последовательностью фаз внедрения и степенью их алмазоносности закономерной связи не установлено, хотя отмечается, что ранние фазы внедрения с большим количеством ксенолитов обычно беднее. Гибридные породы (на контакте фаз) имеют промежуточные значения алмазоносности по сравнению с контактирующими разновидностями.

5. Отдельные «рудные столбы», сложенные однородными рудами, могут характеризоваться в горизонтальном сечении как относительно равномерным, так и неравномерным распределением концентраций алмазов, причем второй вариант преобладает, свидетельствуя о наличии в рудах локальных скоплений алмазов, чередующихся с участками разубоживания.

6. В пределах рудного столба сверху вниз происходит медленное возрастание (или снижение) содержания алмазов, достигающее максимальных (или минимальных) значений на той или иной глубине, с последующей стабилизацией содержаний на более глубоких горизонтах. Максимум содержания в верхнем горизонте часто обусловлен наличием кор выветривания, подлежащих разделному опробованию.

7. Весовые распределения содержаний микро- и макроалмазов в рудах относятся к единой генеральной совокупности и не противоречат логнормальной модели. Распределения алмазов по размерам (в отличие от содержаний) обычно противоречат логнормальной модели и чаще отвечают модели γ - распределения.

8. Гранулометрический состав алмазов рудных столбов, а также качество камней в горизонтальном и вертикальном сечениях трубки не испытывают существенных изменений, что позволяет оценивать стоимость 1 карата и запасов алмазов в целом по месторождению.

9. По характеру связи кристалломорфологических особенностей алмазов с их крупностью выделяются две группы тел. В первой (большинство трубок Якутии) увеличению содержания кристаллов октаэдрического габитуса соответствует увеличение их крупности, во второй (месторождение им. Ломоносова), наоборот, максимум октаэдров фиксируется среди кристаллов мелких классов. Тела первой группы, как правило, существенно более алмазоносны.

Прогнозно-поисковая модель коренного месторождения (трубки) определяется не только особенностями строения и состава самой трубки, но и характером ее взаимоотношений с вмещающими породами, поскольку именно контрастность различных свойств алмазоносных и вмещающих пород является основой предварительной локализации трубки в ходе поисковых работ. Особо важное значение имеют петрофизические параметры, так как геофизические методы поисков являются ведущими. Обобщенная геолого-геофизическая модель алмазоносной кимберлитовой трубки Зимнебережного поля приведена на рис.16 .

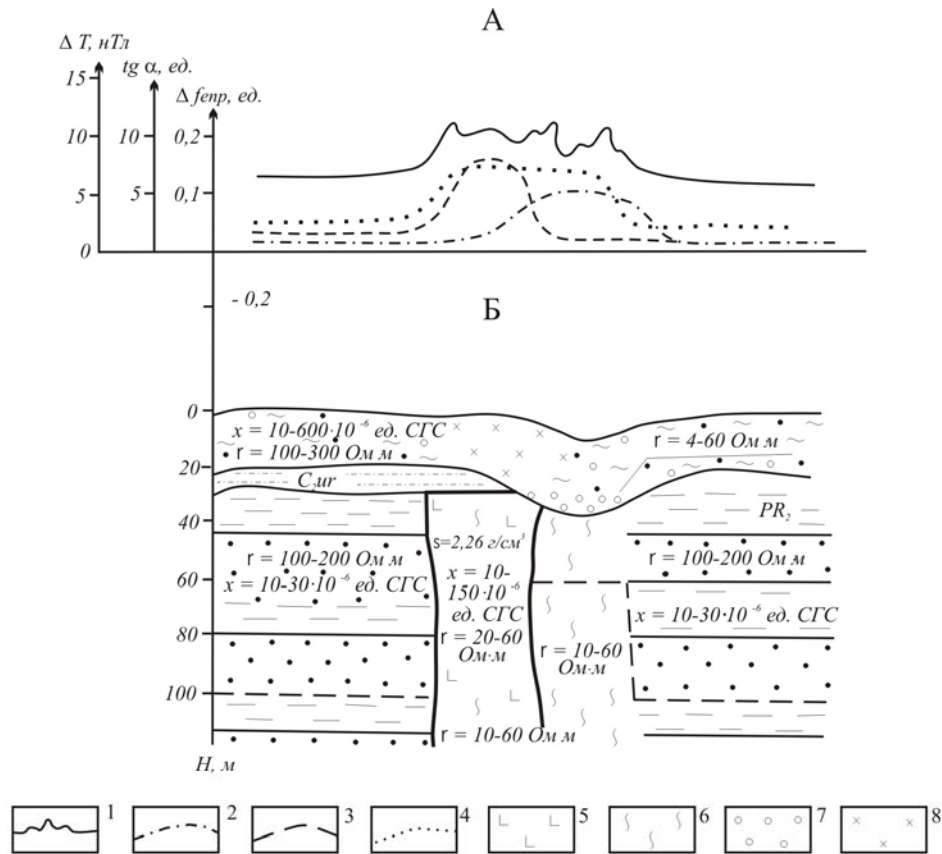


Рис. 16. Обобщенная геолого-геофизическая модель трубки взрыва Зимнебережного поля [5].

А - графики результатов съемки наземными геофизическими методами: 1 - магниторазведки, 2 - ЕЭМП, 3 - ДИМ на средних частотах, 4 - ДИМ на низких частотах.

Б - физико-геологическая модель разреза: 5 - трубка взрыва, 6 - зона инфильтрации минеральных вод, 7 - механически привнесенные магнитные минералы, 8 - магнитные минералы, образованные при инфильтрации вод.

Плотность кимберлитов понижена: средние ее значения (в г/см³) варьируют от 1,9 до 2,5, снижаясь в кратере до 1,68—1,95 и возрастая с глубиной до 2,02—2,32. Более высока плотность автолитовых брекчий в центральных частях трубок; к периферии, где залегают туфы и туфобрекчии, плотность уменьшается. Удельное электрическое сопротивление варьирует в широком диапазоне (2—170 Ом·м) и в среднем значительно ниже, чем в кимберлитах Якутии (150—600 Ом·м). Магнитная восприимчивость также понижена, особенно пород кратерных фаций.

Имеющаяся петрофизическая информация свидетельствует о крайне слабой контрастности пород, слагающих трубки, на фоне вмещающих и перекрывающих отложений. Кроме того, фиксируется сложный характер магнитного поля над трубкой или смещение магнитных аномалий относительно эпицентров тел, что связано с разной намагниченностью пород, слагающих трубку.

3.5. Критерии алмазоносности

Все перечисленные выше элементы прогнозно-поисковых моделей разных таксонов нацелены на выделение кимберлитов (и/или лампроитов) как таковых безотносительно их алмазоносности. Тем не менее, при региональных-среднемасштабных прогнозных построениях и оценке прогнозных ресурсов категории P_3 необходимо в первую очередь оценить хотя бы качественно вероятность обнаружения именно алмазоносных кимберлитов (лампроитов).

Чаще всего на стадии регионального прогноза приходится использовать косвенные критерии. Это, прежде всего, возраст кратонизации кристаллического фундамента. В 1966 г. Т.Клиффордом было сделано предположение, что алмазоносные кимберлиты приурочены исключительно к областям с возрастом кристаллического фундамента свыше 1500 млн.лет (по его мнению, архейского возраста). Это предположение получило в дальнейшем название «правила Клиффорда». Последующие исследования на различных континентах мира подтвердили справедливость этого правила, но лишь применительно к классическим кимберлитам. Обнаружение нового типа алмазоносных пород — лампроитов — в структурах с протерозойским возрастом фундамента повлекло за собой частичную ревизию правила Клиффорда. В современной трактовке по возрасту кратонизации кристаллического фундамента выделяются три типа территорий: а) архоны — с архейским фундаментом и возрастом кратонизации фундамента порядка 2500 млн.лет и более; б) протоны — с возрастом кратонизации фундамента в интервале 2500—1600 млн.лет; в) тектоны — с позднепротерозойским возрастом кратонизации фундамента (1600—800 млн.лет). В пределах архонов возможно обнаружение коренных месторождений алмазов всех типов, в пределах протонов — только лампроитового типа, а тектоны в этом отношении бесперспективны [2].

Алмазоносные кимберлиты встречаются в основном в пределах геологических структур, сформировавшихся в режиме восходящих тектонических движений и сжатия, а неалмазоносные — в режиме нисходящих тектонических движений и растяжения.

Важное значение имеет ожидаемый генетический тип коренных месторождений. В ряду «классические кимберлиты — кимберлит-лампроиты — лампроиты» падает средняя алмазоносность серий (и соответственно, вероятность обнаружения месторождений), хотя вероятность обнаружения единичных месторождений сохраняется. С этим связано и прогнозное значение типа минерагенической зоны.

Наиболее обоснованными в настоящее время являются вещественные критерии (и прямые поисковые признаки) алмазоносности, то есть те особенности состава пород и глубинных минералов, которые обнаруживают значимую корреляцию с уровнем алмазоносности пород. Наиболее разработаны минералогические критерии алмазоносности на примере пиропов и хромшпинелидов, однако даже для наиболее хорошо изученных кимберлитов Якутии на представительном материале показано, что эти критерии имеют вероятностный характер и много исключений [2]. Тем более это справедливо в том случае, когда потенциально алмазоносные породы представлены не классическими кимберлитами, а лампроитами или же породами промежуточного типа.

Очень важны находки в рыхлых отложениях самих алмазов, которые прямо указывают на алмазоносность существующих (существовавших) первоисточников. Необходимо, однако, помнить, что в целом ряде регионов с россыпной алмазоносностью коренные месторождения не установлены, несмотря на десятилетия усиленных поисков (западный склон Урала в России, Новый Южный Уэльс в Австралии). Кроме того, при незначительных уровнях эрозионного среза, когда размыву подвергались лишь убогоалмазоносные породы кратерных фаций, в рыхлые отложения попадают лишь единичные немногочисленные кристаллы, что может создать искаженное представление о перспективах территории.

Все перечисленные выше косвенные критерии и даже прямые признаки имеют исключительно вероятностный характер (отражая уровень наших знаний на сегодняшний день) и позволяют лишь выделить более перспективные площади в ряду прочих. Даже при максимальном совпадении благоприятных критериев алмазоносности в случае обнаружения, например, нового кимберлитового поля, одна алмазоносная трубка будет приходиться на десятки пустых.

При оценке прогнозных ресурсов категории P_2 и P_1 учитываются следующие косвенные критерии:

среди разновидностей руд, слагающих алмазоносное тело, максимальным содержанием алмазов отличаются руды с повышенным количеством минералов-индикаторов и общим выходом тяжелой фракции;

разновидности руд (участки) месторождения, обогащенные ксенолитами вмещающих пород, характеризуются относительно низким содержанием алмазов;

автолитовые брекчии с незначительным количеством ксенолитов вмещающих пород и брекчии, обогащенные включениями глубинных мантийных пород, обычно обладают повышенной алмазоносностью.

Суммируя все вышесказанное, очевидно, что главный прямой признак алмазоносности кимберлитовых (лампроитовых) тел — присутствие в них алмазов, содержание и качество которых определяется только путем непосредственного опробования руд.

4. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ

Количественная оценка прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 проводится для уже обнаруженных месторождений или вновь выявленных тел с установленной алмазоносностью (либо для прогнозируемых тел в непосредственной близости от известных месторождений), то есть в основе этой оценки лежат результаты прямого опробования (в зависимости от объема и представительности проб, плотности сети опробования и т.д.). Иначе обстоит дело с ресурсами категории P_3 , объективность оценки которых определяется сопоставлением выявленных характеристик оцениваемой площади с параметрами уже известного эталонного объекта (прогнозно-поисковой модели) соответствующего минерагенического таксона. Таким образом, очевидно, что для корректной оценки прогнозных ресурсов категории P_3 необходимо применение комплекса методов (прогнозно-поисковые системы), обеспечивающих в определенной степени достоверность прогнозных построений.

4.1. Применение различных методов прогнозно-поисковых работ при количественной оценке прогнозных ресурсов коренных месторождений алмазов

4.1.1. Геологические методы.

Глубинные неоднородности кимберлитовых полей коррелируются с купольными поднятиями, когда вмещающие породы достаточно пластичны, или с приподнятыми крупными блоками, когда вмещающие породы обладают повышенной хрупкостью. Поэтому одной из главнейших задач при проведении геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 является выделение данных элементов в процессе изучения геологического строения территории. Эта задача решается на основе литолого-фациального изучения основных терригенных горизонтов дочетвертичных пород с воссозданием палеогеографических условий их формирования. Решение данной задачи

позволяет, кроме того, выявить возможный возраст купольного поднятия. Совмещение данных исследований со стратиграфическими, при которых датируются терригенные толщи, содержащие минералы-индикаторы и алмазы, позволяет уточнить ожидаемый возраст кимберлитового магматизма. Литолого-фациальные исследования включают также выделение основных литотипов и фаций, вмещающих ореолы рассеяния продуктивного материала, в том числе и алмазные россыпи. Во многих случаях купольные структуры унаследованно отражаются в современном рельефе в виде своеобразных радиально-концентрических систем, поэтому необходимо комплекс геологических поисковых методов дополнять методами морфоструктурного анализа.

При более детальных работах (м-б 1:50 000 и крупнее) комплекс геологических методов нацелен на выделение купольных и блоковых структур более высокого порядка, сопоставимых с кустами тел, поэтому практически все перечисленные методы сохраняют свою эффективность, за исключением, пожалуй, морфоструктурного, разрешающая способность которого в данном масштабе изучена еще недостаточно. Особое внимание уделяется выявлению такого специфического элемента прогнозно-поисковой модели куста, как парные разломы

4.1.2. Геофизические методы.

Эффективность геофизических методов определяется наличием закономерностей в распределении геофизических параметров, которые установлены при изучении эталонных объектов с известной алмазоносностью и вошли в качестве составляющих элементов в соответствующие прогнозно-поисковые модели.

Профильная или площадная сейсморазведка масштаба 1:200 000 позволяет достаточно уверенно выделять аномальные площади ранга кимберлитового поля. Однако изученность сейсморазведкой даже известных алмазоносных полей явно недостаточна, не говоря уже о новых перспективных территориях. Кроме того, в ближайшем будущем объемы сейсморазведочных работ вряд ли существенно увеличатся из-за значительной их стоимости, поэтому при прогнозных исследованиях основная информация о потенциальных кимберлитовых полях будет базироваться на интерпретации материалов гравиметрических и магнитометрических съемок.

Анализ проводится путем качественной и количественной интерпретации наблюдаемых потенциальных полей. Применяется частотный анализ полей с выделением их региональной и локальной составляющих путем осреднения с различными радиусами и пересчетов в верхнее полупространство на различные уровни (обычно до 20 км), с последующим вычислением остаточных аномалий. Анализ таких

трансформант по эталонным кимберлитовым полям показывает, что хорошей информативностью поля аномалий Δg , полученные по методике Сакса-Нигарда с различными радиусами осреднения [2]. При количественной оценке параметров аномалообразующих объектов наряду с простейшими графическими способами целесообразно использований аппроксимационных методов. В их основе лежит сравнение наблюдаемого поля силы тяжести с гравитационным полем теоретической модели. Последняя корректируется до получения параметров геоплотностного разреза, которые наилучшим образом соответствуют заданной кривой Δg . Для этой операции эффективна программа, разработанная в ЦНИГРИ по алгоритму Г.Г.Кравцова.

Кимберлитовые поля отражаются в виде типоморфных аномалий Δg и $(\Delta T)_a$ (см. рис. 6, 7). Характерно, что расчетные параметры потенциально алмазоносных объектов соответствуют аномальным блокам литосферы, выделенным по данным сейсмических и магнитотеллурических исследований. Граница кимберлитового поля обычно проводится по контуру совмещенных в плане типоморфных аномалий Δg и $(\Delta T)_a$.

Достаточно эффективны также различные электроразведочные методы. Результаты глубинных магнитотеллурических зондирований позволили выделить на территории Якутии под известными кимберлитовыми полями локализованные сквозные гетерогенные литосферные неоднородности высокого сопротивления с проводящим обрамлением на фоне высокоомного глубинного разреза. К сожалению, степень изученности перспективных на алмазы территорий электроразведочными методами крайне низка.

Кусты кимберлитовых тел приурочены к отдельным локальным максимумам Δg (к их периферическим частям) небольшой интенсивности изометрических или слабовытянутых форм в узлах пересечения линейных локальных положительных аномалий. В магнитном поле группы кимберлитовых тел контролируются своеобразными кольцевыми структурами, образованными системами локальных элементов различной интенсивности и сопряженными с локальными изометричными максимумами гравитационного поля.

При поисках кимберлитовых тел аэромагнитная съемка м-ба 1:25 000 является основным геофизическим методом. При этом подразумевается, что съемкой этого масштаба в пределах кимберлитового поля будут выявлены (не будут пропущены) относительно крупные средне- высокомагнитные тела (трубки-лидеры). Аэромагнитная съемка масштаба 1:10 000 проводится в пределах уже выявленного кимберлитового поля либо на высокоперспективных участках, намеченных и оконтуренных, например, по шлихо-минералогическим критериям.

Основной задачей поисковой аэромагнитной съемки является выявление локальных магнитных аномалий, перспективных на обнаружение кимберлитовых тел. Главными признаками таких аномалий являются сравнительно небольшие размеры в плане (от первых сотен метров до 1—1,5 км), приблизительно изометричная или слабовытянутая форма в плане (соотношение осей 1:1—1:3), интенсивность не менее 3—5 нТл и т.д.. По сравнению с обычными съемками, проводимыми для целей геологического картирования, к данной съемке предъявляются более высокие требования к точности магнитных измерений и плановой привязке, к равномерности поисковой сети маршрутов, высоте полета. Средняя квадратическая погрешность измерений должна быть не ниже 1 нТл при частоте измерений не более 0,5—1,0 с. Запись результатов измерений в обязательном порядке должна производиться в цифровой (кодовой) форме и дублироваться записью в аналоговой форме.

Результаты аэромагнитной съемки целесообразно изображать в виде карт изолиний аномального магнитного поля и карт-графиков (и изолиний) локальной составляющей, полученной путем вычитания из исходного аномального поля «региональной» составляющей, рассчитываемой по профилям скользящим осреднением на отрезке 0,75—1,5 км (в зависимости от характера регионального магнитного поля для данной территории). Для выделения локальной составляющей магнитного поля могут быть использованы также специальные программы.

Выделение перспективных на обнаружение трубчатых тел аномалий производится по ряду признаков (размеры и форма в плане, интенсивность, глубина до верхней кромки, характер законтурных экстремумов в поле (ΔT)а и др.). По материалам съемки масштаба 1:25000, как правило, выделяют аномалии интенсивностью свыше 4—5 нТл; аномалии меньшей интенсивности выделяют в редких случаях, например, при почти полном отсутствии на площади геологических помех. В ряде случаев помощь в оценке перспективности аномалий может оказать обработка аэромагнитной информации по специальным программам. По возможности вычисляют также предполагаемую глубину залегания верхней кромки магнитовозмущающего объекта.

В результате, по совокупности всех данных, определяют степень перспективности локальных аэромагнитных аномалий и устанавливают очередность их наземной проверки. Аэромагнитные аномалии, признанные заслуживающими дальнейшего изучения наземными геолого-геофизическими работами, являются перспективными геофизическими участками 2-ой категории (ПГУ-2).

Основной задачей наземной съемки является уточнение местоположения аэромагнитных аномалий (ПГУ-2) на местности, уточнение ее геофизических параметров и параметров аномалообразующего объекта для оценки перспективности

аномалии и решения вопроса о необходимости заверки ее бурением. При оконтуривании и детализации аэромагнитных аномалий, зафиксированных не менее чем на 5 аэрогеофизических маршрутах, масштаб наземной магнитной съемки должен быть крупнее, чем аэромагнитных исследований, выявивших аномалию. Так, если аномалия обнаружена аэромагнитной съемкой масштаба 1:25 000, то наземную магнитную съемку проводят в масштабе 1:10 000, если аэромагнитной съемкой масштаба 1:10 000, то в масштабе 1:5000. Сеть наблюдений при съемке масштаба 1:10 000 должна составлять 100×20 (25) или 100×50 м, при съемке масштаба 1:5000—50×20 (25) или 50×10 м. Направление профилей должно, как правило, совпадать с направлением маршрутов аэромагнитной съемки, в результате проведения которой была выявлена аномалия.

Во избежании ошибок в опознании аномалий наземную съемку необходимо проводить на площади не менее 700×700 м, в среднем 1×1 км (1 км²). Площадь и размеры участка должны обеспечивать выход из аномального поля в область «фоновых» значений. Размеры участка съемки могут быть также увеличены, если опознание аномалии в наблюдаемом поле затруднено из-за большого количества приповерхностных магнитных помех, и для ее выделения требуется выполнение специальных трансформаций. На аномалиях, выявленных аэромагнитной съемкой масштаба 1:50 000 и не подвергавшихся детализации с воздуха, наземная съемка должна выполняться на площади не менее 1,5 км² (1×1,5 км), причем длинная сторона участка должна быть ориентирована перпендикулярно направлению аэромагнитных маршрутов. Если аномалии расположены компактными группами, то размеры участка выбираются такими, чтобы он охватывал всю группу (первые км²).

Крупные по площади изометричные аномалии могут изучаться наземной магнитной съемкой в том же масштабе, что и масштаб аэросъемки, со сгущением сети маршрутов в районе эпицентра.

Для получения дополнительных данных об аномалии и проведения количественной интерпретации на каждой аномалии должны быть выполнены детальные измерения на интерпретационном (расчетном) профиле, который прокладывается через эпицентр аномалии вкрест ее простирания. В итоге должен быть решен вопрос о перспективности изученной аномалии (ПГУ-2) на поиски кимберлитовых тел. Для аномалий, признанных заслуживающими дальнейшего изучения, должен быть определен порядок и методы дальнейших исследований.

По данным даже детальной магнитной съемки далеко не всегда удается однозначно оценить перспективность исследуемой аномалии на выявление кимберлитов. Поэтому в районах, где по данным аэромагнитной съемки масштаба 1:25

000 и последующей наземной детализации выделяется большое число подлежащих разбурированию магнитных аномалий, для определения первоочередных объектов целесообразно комплексировать магниторазведку на аномалиях с другими геофизическими методами — прежде всего электоразведкой и, возможно, гравиразведкой. Помимо установления очередности бурения, данные комплексных исследований могут оказать помощь в определении формы объектов, а также способствовать классификации аномалий как по набору локальных характеристик, так и с позиции возможного структурного контроля (наподобие зон повышенной электропроводимости, к которым, например, приурочено большинство кимберлитовых тел Архангельской области).

4.1.3. Шлихо-минералогический метод.

Основная задача шлихо-минералогических поисков при прогнозно-минерагеническом картировании масштаба 1:200 000 — получение вещественной информации о наличии в пределах прогнозной площади ранга кимберлитового поля алмазонасных (потенциально алмазонасных) объектов. В неледниковых районах шлиховое опробование наиболее эффективно на открытых площадях, где оно проводится в ходе маршрутных исследований. В ледниковых районах наиболее эффективные результаты могут быть получены на площадях, где ледниковые осадки непосредственно перекрывают кимберлитомещающие породы. При мощности ледниковых осадков более 60 м обломочный материал с их подошвы практически не выводится на поверхность, поэтому опробование водотоков не имеет смысла.

Ореолы рассеяния индикаторных минералов классифицируются по условиям образования, источникам питания и дальности транспортировки от питающего источника. По условиям образования выделяются: континентальные, прибрежно-морские, дельтовые ореолы. Континентальные ореолы подразделяются на аллювиальные, делювиальные, ледниковые. К прибрежно-морским относятся ореолы, формирующиеся в пляжевой зоне и в условиях шельфового мелководья. Дельтовые ореолы можно разделить на ореолы, образующиеся в надводной и подводной частях дельт.

По источникам питания выделяются первичные, вторичные и смешанные ореолы. Первичные ореолы связываются с поступлением материала непосредственно из коренного источника; вторичные — с переотложением материала из осадочных толщ, и смешанные — за счет коренных источников и более древних осадочных толщ одновременно. По дальности переноса различаются ореолы ближнего, дальнего сноса и

ореолы, потерявшие связь с первоисточником. Ореолы, связанные с различными источниками питания, а также разной дальности переноса, могут появляться как в континентальных, так и в прибрежно-морских и дельтовых обстановках осадконакопления. В то же время для определенных обстановок осадконакопления характерны разные дальность транспортировки, форма, размеры и контрастность ореолов индикаторных минералов, а также степень износа их поверхностей.

Мелкообъемное опробование проводится с целью установления алмазности в различных типах рыхлых отложений в местах с повышенной концентрацией минералов-индикаторов, обнаруженных шлиховым опробованием. Мелкообъемное опробование ведется практически параллельно со шлиховым, либо с некоторым отставанием, но по значительно более редкой сети. Крупнообъемное опробование осуществляется на локальных участках, где по результатам шлихового и мелкообъемного опробования установлены повышенные концентрации минералов-индикаторов и принципиальная алмазность различных типов рыхлых образований (аллювия русла, поймы, террас, аллювиально-делювиальных отложений), а также базальных горизонтов древних осадочных коллекторов в местах их расположения вблизи дневной поверхности. Основной задачей крупнообъемного опробования является контроль результатов анализа мелкообъемных проб и оценка возможного промышленного значения установленных проявлений алмазности. При опробовании обязательно должен выдерживаться «литологический принцип», опробованию подлежат отдельно литологически разнообразные продуктивные горизонты различных геоморфологических (гипсометрических) уровней, а на коренных проявлениях коры выветривания и разновидности руд.

По результатам крупнообъемного опробования оценивается содержание, гранулометрический состав и качество алмазов. На основании этих данных дается обоснованная оценка прогнозных ресурсов, выделяются участки для постановки дальнейших поисково-оценочных работ.

4.1.4. Прочие методы

При прогнозно-поисковых работах на алмазы широко используются геохимические и дистанционные методы исследований.

К настоящему времени накоплен большой опыт геохимических поисков различных видов. В производственных масштабах применяется, в основном, только литогеохимический метод поисков по первичным и вторичным ореолам, потокам рассеяния как в открытых районах, так и на закрытых площадях. Метод нацелен на

прямой поиск кимберлитовых тел, а также для решения ряда задач локального прогнозирования. По действующим инструктивным документам, литогеохимическая съемка входит в обязательный комплекс на всех стадиях работ.

За несколько десятков лет проведен огромный объем геохимических поисков на многих площадях алмазонасных провинций. Тем не менее, из почти тысячи открытых за это время кимберлитовых тел лишь одна трубка (трубка Геохимическая) была обнаружена при заверке локальной геохимической аномалии. По мнению многих специалистов, это не случайно, поскольку из-за рассеянного характера кимберлитового магматизма геохимический сигнал от отдельных тел весьма слаб и в дальнейшем «погашается» гораздо более интенсивными сигналами в ходе последующей геологической эволюции территории, траппового магматизма и т.д. Целесообразно поэтому использование геохимических методов не как обязательного, а как рекомендуемого элемента прогнозно-поискового комплекса, прежде всего для разбраковки аномалий, выявленных другими методами.

Широкое применение находит в последнее время при прогнозно-поисковых работах на алмазы дешифрирование космоаэрофотоснимков различных видов и масштабов. Обычно дешифрирование проводится «традиционным» способом, путем выделения различных линейных, дуговых и кольцевых элементов и их последующей геологической интерпретации. Как показал опыт якутских геологов, наиболее четко при таком подходе выделяются минерагенические зоны на картах м-ба 1:2 500 000—1:1 000 000, прежде всего такой трудно выявляемый геологическими методами тип, как зоны сближенных скрытых разломов фундамента. При дешифрировании материалов, приближающихся по масштабу к 1:200 000, выявляются также крупные радиально-кольцевые структуры, которые могут быть сопоставлены с кимберлитовыми районами. В последнем случае при сопоставлении результатов дешифрирования для некоторых эталонных районов и их морфоструктурных моделей обнаружена высокая степень сходимости; таким образом, для многих территорий возможна замена дорогого дешифрирования (учитывая высокую стоимость космоаэроматериалов) намного более дешевым и экспрессным морфоструктурным анализом.

Прочие прогнозно-поисковые методы не вышли за стадию опытно-методических разработок и практического значения (в плане их массового применения) на сегодняшний день не имеют.

4.2. Районирование территорий по условиям ведения прогнозно-поисковых работ

Важнейшим условием эффективности геологоразведочных работ является районирование территории по условиям ведения поисков, то есть выделение площадей

с различными типами взаимоотношений между прогнозируемыми кимберлитовыми телами и вмещающими и перекрывающими породами, что в конечном итоге определяет эффективность тех или иных поисковых методов и рациональные схемы их комплексирования (прогнозно-поисковые комплексы).

К основным факторам, контролирующим районирование, относятся:

1. Особенности предполагаемых коренных первоисточников. Они определяются петрогенетическим типом алмазоносных пород, содержаниями, соотношениями и составами минералов-индикаторов.

2. Предполагаемый уровень эрозионного среза. В зависимости от уровня среза на конкретных территориях на поверхность кимберлитовмещающих пород может выводиться различная часть кимберлитовой трубки — кратерные фации, диатремовые фации, корневые зоны. Каждая отличная в петрохимическом и петрофизическом отношении фаза внедрения при ее «выводе» на уровень эрозионного среза характеризуется своими индикационными параметрами (по крайней мере, критическими значениями этих параметров).

3. Ожидаемый возраст коренных первоисточников алмазов.

4. Мощность пород осадочного чехла. На открытых территориях (кристаллические щиты) или на территориях, где мощность осадочного чехла не превышает 200—400 м (склоны щитов и кристаллических массивов, выступы фундамента), при обработке аэромагнитных данных зачастую невозможно определить, где находится верхняя кромка магнитовозмущающего объекта — в пределах чехла или в кристаллическом фундаменте. Кроме того, фундамент обычно интенсивно насыщен разнообразными интрузивами, создающих множество ложных аэромагнитных аномалий «трубчатого» типа.

5. Характер перекрывающих отложений. В самом общем виде можно выделить следующие типы перекрытия: открытые территории, где кимберлитовмещающие породы перекрыты лишь четвертичными континентальными осадками; перекрытые терригенными дочетвертичными породами, здесь эффективность поисковых методов зависит от мощностей терригенных толщ, их фациальной принадлежности и седиментологических особенностей формирования; перекрытые карбонатными или другими скальными породами; территории, где в строении перекрывающей толщи участвуют как терригенные, так и карбонатные породы; перекрытые траппами; территории, где в составе четвертичных отложений доминирует сложнопостроенный комплекс ледниковых осадков.

Перечисленные факторы районирования могут достаточно произвольно сочетаться, обуславливая большое разнообразие поисковых обстановок.

Следовательно, задача поискового районирования в общем виде не имеет решения; для каждого конкретного региона разрабатывается своя схема районирования, исходя из указанных факторов.

4.3. Комплексование среднемасштабных прогнозно-поисковых работ на алмазы.

Прогнозно-поисковые работы масштаба 1:200 000 — 1:50 000 ставятся на площадях, на которых в рамках предыдущих региональных исследований выделены перспективные территории ранга алмазоносного поля (иногда района). Основные задачи работ — подтверждение (или неподтверждение) ранее сделанного прогноза, детализация контуров потенциально алмазоносных полей и в благоприятной обстановке — предварительное выделение аномальных площадей ранга куста кимберлитовых тел; подсчет прогнозных ресурсов алмазов категории P_3 (в лучшем случае — частично P_2). На территорию, включающую площадь планируемых работ, должна быть составлена прогнозная карта масштаба 1:1 000 000, отражающая контур алмазоносной (потенциально алмазоносной) субпровинции, основные алмазоносные минерагенические зоны с разбивкой их по генетическим типам и возрастом (возрастами) тектоно-магматической активизации (установленной или вероятной); геологические, геофизические, минералогические и прочие элементы прогнозно-поисковой модели поля; обобщенные контуры прогнозируемых перспективных площадей ранга района и поля с их ранжировкой по надежности прогнозных построений и вероятной степени алмазоносности; в благоприятных случаях при наличии достаточного фактического материала — предполагаемые контуры локальных перспективных площадей ранга куста кимберлитовых тел (на предварительных картах-врезках масштаба 1:200 000), ожидаемый геолого-промышленный тип месторождений, по возможности их возраст.

Прогнозно-поисковые работы данного масштаба целесообразно проводить в три этапа.

Первый этап (подготовительный) — обобщение имеющихся по данной территории материалов; дешифрирование космофотоаэроматериалов; интерпретация гравимагнитных данных, топоосновы; геолого-структурный анализ с составлением в итоге предварительной прогнозной карты масштаба 1:200 000; анализ поисковых обстановок, их типизация с составлением предварительной карты районирования территории того же масштаба; разработка оптимальных прогнозно-поисковых комплексов.

Второй этап (собственно прогнозно-поисковые работы) — проведение необходимого объема полевых работ.

Третий этап (завершающий) — лабораторные исследования; камеральное обобщение результатов работ; подготовка окончательного варианта прогнозной карты; решение вопроса о постановке и локализации работ следующей стадии.

При работах масштаба 1:50 000 основными задачами являются детализация внутренней структуры прогнозируемого поля, оконтуривание перспективных участков ранга куста тел, заверка наиболее перспективных локальных аномалий. В соответствии с укрупнением масштаба работ детализируются типы поисковых обстановок (в первую очередь, по фациальным особенностям строения перекрывающего осадочного чехла), эффективность и разрешающая способность различных методов. Работы также проводятся в три основных этапа, как и в случае масштаба 1:200 000, примерно с таким же содержанием этапов.

Первый этап — проведение аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000, а также гравимагнитной съемки масштаба 1:50 000, поскольку последней охвачена лишь незначительная часть алмазоперспективных территорий.

Второй этап — увеличение объемов мелкообъемного опробования и сгущение его сети, постановка заверочных работ на наиболее перспективных локальных аномалиях.

Главным результатом работ является прогнозная карта масштаба 1:50 000, где окончательно оконтурены прогнозные участки ранга куста кимберлитовых тел, приведены результаты заверки единичных локальных аномалий, уточнены прогнозные ресурсы категории P_3 и в благоприятных случаях подсчитаны ресурсы категории P_2 , определены направления и методы дальнейших поисковых работ. В принципе полученные результаты должны быть достаточными для подготовки пакетов необходимых документов для лицензирования конкретных локальных перспективных площадей.

5. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

Методы и способы оценки ресурсов зависят от прогнозируемого объекта (месторождение, перспективный участок, поле, район), степени его изученности и категории прогнозных ресурсов.

Прогнозные ресурсы категории P_3 для достаточно хорошо изученных районов, полей могут определяться методом геологической аналогии с пообъектной оценкой перспективных участков, для слабоизученных и новых полей, районов — методом

геологической аналогии с выбором эталонных полей, районов и с учетом удельной продуктивности площадей.

Выбор эталонного объекта, подходящего коэффициента подобия и оценка удельной продуктивности новой площади для расчета ресурсов категории P_3 могут осуществляться как высококвалифицированными экспертами, так и с помощью логико-математических методов. Надежность логико-математических методов прогноза в сильной степени зависит от изученности площадей и правильности оценок информационного веса благоприятствующих оруденению признаков. При явном недостатке, неравноценности информации надежнее основываться на геологической качественной аналогии, опыте и интуиции специалистов, используя логико-математические методы в качестве дополнения.

При количественной оценке ресурсов категорий P_1 и P_2 подсчетные параметры (мощность, площадь и содержание) определяются методами прямого расчета и экстраполяции на глубину и фланги эксплуатируемых, разведанных месторождений с учетом характера изменчивости их параметров. На новых вскрытых, но недостаточно опробованных месторождениях и перспективных участках при определении подсчетных параметров, кроме прямого расчета, применяется метод геологической аналогии с подобными известными месторождениями, учитывается химический и вещественный состав руд.

Оценка прогнозных ресурсов коренных месторождений алмазов основывается на данных о геолого-промышленных и генетических типах месторождений и руд, особенностях их размещения, геологического строения, морфологии, внутреннего строения, состава и алмазоносности, полученных в результате регионального геологического изучения недр, поисковых и оценочных работ, и учитывает весь накопленный опыт и существующие научные представления.

5.1. Оценка прогнозных ресурсов категории P_3

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_3 по полю (иногда району) осуществляется методом аналогии с оценкой удельной продуктивности в целом по площади, или пообъектной оценкой ресурсов по каждому перспективному на обнаружение коренного месторождения участку с суммированием и отнесением ресурсов в целом к площади.

Определяются геолого-тектонические условия формирования, вероятные форма и границы ожидаемого кимберлитового поля, предполагаемый возраст, глубина эрозионного среза, преобладающая форма и ожидаемые размеры кимберлитовых тел, вероятный тип поля по уровню содержания и крупности алмазов и другие признаки,

позволяющие сопоставить его с известными алмазоносными полями и выбрать поле — эталон.

Количество ожидаемых кимберлитовых тел оценивается, исходя из площади поля с учетом количества тел, приходящихся на единицу площади в эталонных объектах, а число месторождений - по процентной доле месторождений в эталонном поле.

В сравнительно хорошо изученных полях проводится пообъектная (по каждому перспективному на обнаружение кимберлитов участку) оценка ресурсов категории P_3 , для чего в пределах намеченной площади выделяются все локальные участки, по комплексу или отдельным признакам (геофизические, геохимические, фотоаномалии, минералогические ореолы и др.) перспективные на обнаружение отдельных месторождений или же групп (кустов) тел.

Оценивается среди выделенных участков вероятное количество кимберлитовых тел (N_T) с учетом надежности комплекса признаков, обосновывающих перспективы участков, для чего может быть использована формула:

$$N_T = n_1 p_1 + n_2 p_2 + \dots + n_i p_i$$

где n_i — количество локальных перспективных участков, на которых с вероятностью p_i ожидается кимберлитовое тело.

Вероятное количество месторождений среди ожидаемых кимберлитовых тел определяется методом аналогии (на основе данных по алмазоносности известных тел) по среднему значению доли месторождений от числа тел в эталонных полях или путем пообъектного анализа признаков алмазоносности тел.

Прогнозные ресурсы категории P_3 по кимберлитовому полю подсчитываются, исходя из полученной оценки вероятного количества коренных месторождений и подсчетных параметров (площадь, глубина распространения промышленных руд, среднее содержание алмазов).

Рекомендуются следующие нижние пределы подсчетных параметров при пообъектной оценке.

Площадь прогноза для алмазоносных кимберлитовых тел, ожидаемых на локальных перспективных участках — это средняя площадь известных в данном кимберлитовом поле (или районе) трубчатых тел, а при отсутствии достаточных данных в слабо изученных полях — средняя площадь сечения трубок в подобных эталонных полях (обычно 30—50 тыс.м²). При пообъектной оценке ресурсов можно учитывать площади геофизических и фотоаномалий на ожидаемых месторождениях.

Глубина прогноза ресурсов ожидаемых алмазоносных кимберлитовых трубок зависит от их морфологии (овальные, линзовидные в плане), размеров и степени эродированности. В новых, слабоизученных (особенно линейного типа) целесообразно

давать осторожную оценку глубины — 200 м, в сравнительно хорошо изученных — до 400 м.

Содержание алмазов в ожидаемых на локальных перспективных участках тела принимается на известных полях с промышленными месторождениями в соответствии с районными кондициями для подобных месторождений, а в случае отдаленной перспективы освоения — с понижающим коэффициентом, учитывающим тенденцию снижения кондиций за предыдущие годы, но не ниже 0,1 кар/т (при преобладании крупных камней). В новых слабоизученных полях можно принимать в расчете на дальнюю перспективу освоения за нижний предел промышленного содержания 0,3 кар/т — среднее содержание алмазов большинства разрабатываемых мировых месторождений с алмазами среднего качества (по крупности и выходу ювелирных камней).

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_3 новых потенциально алмазоносных кимберлитовых полей (иногда районов) осуществляется методом аналогии с оценкой ресурсов по удельной продуктивности подобных эталонных полей. Процедура оценки ресурсов следующая. На основе анализа тектонического районирования кристаллического фундамента, геолого-структурных условий района, возраста кимберлитов, глубины их эрозионного среза, условий денудации и концентрации продуктов их разрушения, в том числе минералов-индикаторов и алмазов в современных и древних отложениях, и других прогнозных критериев выбираются эталоны известных кимберлитовых полей. Статистически определяется средняя удельная продуктивность (в тысячах карат на квадратный километр площади эталонов без учета уникальных месторождений), которая и учитывается с коэффициентом надежности менее 1,0 (по экспертной оценке группы специалистов) при подсчете прогнозных ресурсов категории P_3 по новому прогнозируемому полю.

Полученные таким образом оценки прогнозных ресурсов категории P_3 весьма приблизительны и обусловлены обычно слабой специализированной изученностью новых территорий.

5.2 . Оценка прогнозных ресурсов категории P_2

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_2 по вскрытому кимберлитовому (лампроитовому) телу основывается на конкретных геофизических и геологических данных о его форме, размерах, составе и алмазоносности. В связи с ограниченностью и недостаточной полнотой исходных данных необходимые

параметры уточняются методом аналогии, сравнением с параметрами подобных известных алмазоносных тел данного или аналогичного поля. При этом определяются:

форма тела (трубка, дайка) и морфологический тип трубки (овальная с каналом центрального типа или линзовидная с каналом трещинного типа);

величина эрозионного среза, возможное наличие кратерной части трубки и характерных для нее «эпигенетических» кимберлитовых туфов, туфогенно-осадочных пород;

разновидности руд, слагающих тело, их вещественный состав и состав минералов-индикаторов, сходство с разновидностями руд известных алмазоносных тел поля;

группа, к которой может быть отнесено ожидаемое месторождение по размерам, уровню содержания, крупности алмазов, выходу ювелирных камней и др. (см. табл. 1).

Рекомендуются следующие нижние пределы подсчетных параметров прогнозных ресурсов категории P_2 .

Площадь прогноза — среднее сечение трубки или средняя мощность и протяженность дайки в пределах глубины оценки прогнозных ресурсов. Площадь горизонтального сечения трубки на поверхности оценивается по контуру геофизической аномалии, либо по $2/3$ площади близкой к изометричной фотоаномалии, или по данным оконтуривания редкими выработками. Средняя площадь сечения трубки в пределах глубины оценки ресурсов определяется по аналогии с известными подобными телами данного кимберлитового поля, а в новых полях принимается равной $2/3$ площади сечения поверхности для трубок, близких к изометричным с каналом центрального типа, и $1/3$ — для линзовидных в плане трубок с каналом трещинного типа.

Глубина прогноза зависит от глубины рентабельной разработки месторождения. В известных кимберлитовых полях она может быть определена для каждого нового тела по аналогии с проектной глубиной разработки подобных разведанных и эксплуатируемых месторождений. В новых полях глубину прогноза ресурсов целесообразно ограничить глубиной вероятной открытой отработки трубок 300—600 и 50—100 м для даек и жил с раздувами.

Содержание алмазов в кимберлитовых телах оценивается по данным опробования кимберлитов, если оно проведено, или прилегающих рыхлых отложений в редких выработках; в качестве дополнительных признаков могут быть учтены косвенные критерии алмазоносности (минералогические, петрохимические и др.). Прогнозные ресурсы категории P_2 в новых районах и полях определяются только по алмазоносным кимберлитовым телам с общим содержанием алмазов около 0,3 кар/т и более, или более

0,1 кар/т для алмазов крупнее 1 карата. В полях с известными промышленными месторождениями для тел первоочередного освоения ресурсы подсчитываются при содержании алмазов, близком или превышающем значения районных кондиций.

5.3. Оценка прогнозных ресурсов категории P_1

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_1 осуществляется методами прямого расчета и экстраполяции подсчетных параметров на фланги и глубину разведанных и разведываемых месторождений и на всю площадь новых алмазоносных тел или разновидностей руд (рудных столбов), положительно оцененных на стадии оценочных работ. Основными параметрами оценки ресурсов категории P_1 являются: площадь и глубина прогноза, содержание алмазов. Учитывается объемный вес руд, качество алмазов, ожидаемые крупность, сортность и цена одного карата.

Площадь прогноза определяется как среднее значение площади горизонтального сечения трубки (рудного столба) в интервале глубин оценки ресурсов. Для флангов глубоких горизонтов разведанных и разведываемых месторождений она оценивается по данным предварительного оконтуривания трубки в горизонтальном сечении и экстраполяции ее границ до принятой глубины прогноза ресурсов. Экстраполяция границ трубок осуществляется с учетом углов их падения на глубину по разведочным разрезам с последующим построением погоризонтных планов.

Для новых трубок площадь на поверхности определяется по геофизическим данным и (или) редким выработкам, вскрывшим и оконтурившим кимберлиты, площадь на глубине прогноза — путем экстраполяции при наличии данных об углах наклона границ трубки. В случаях, когда такие данные отсутствуют, ими задаются, исходя из аналогии с подобными по морфологии известными трубками того же поля. При этом учитывается, какая часть трубки оценивается — выположенная раструбная или крутопадающая канальная. Если данные о вероятной морфологии тела полностью отсутствуют, площадь прогноза в интервале глубин оценки ресурсов принимается уменьшенной относительно площади поверхности: для округлых или овальных в плане трубок — на 20—30 %, для линзовидных в плане трубок - на 40—60 %.

Глубина оценки ресурсов категории P_1 различна. Для разведанных трубок она определяется по известному характеру уменьшения сечения трубки, а также глубиной ее перехода в жилу с раздувом. Для крупных трубок, округлых и овальных в плане, максимальная глубина оценки ресурсов достигает 1000 и даже 1500 м. Для небольших округлых, овальных трубок и особенно линзовидных в плане тел максимальные глубины оценки ресурсов уменьшаются, такие трубки переходят в жильные тела с

раздувами на глубинах обычно от 200 до 800 м. Ограничение глубины оценки в связи с явным падением содержания алмазов по вертикали случается редко при резкой смене руд в прикорневых частях диатрем.

Оценка ресурсов новых трубок, положительно оцененных на стадии оценочных работ, на большие глубины затруднена из-за отсутствия надежных данных о морфологии, углах склонения трубок, их внутреннем строении и алмазоносности. Поэтому прогнозные ресурсы категории P_1 для новых предварительно изученных трубок достаточно надежно определяются до средних глубин, включая глубину возможной открытой разработки и двух-трех 100—150-метровых ниже расположенных этажей, разведка которых обеспечит обоснование для подземной разработки месторождения. В зависимости от ожидаемого морфологического типа и размера трубок, рекомендуются следующие глубины прогноза:

для округлых, овальных в плане трубок (рудных столбов), крупных по размеру — 600—800 м, средних — 300—600 м;

для линзовидных в плане трубок (рудных столбов), крупных по размеру — 400—600 м, средних — 200—400 м;

для мелких по размеру трубок и крупных жильных тел с раздувами — 100—200 м.

Указанные параметры глубины прогноза ресурсов категории P_1 на разведанных (разведываемых) и новых предварительно изученных кимберлитовых трубках следует рассматривать как ориентировочные пределы глубины прогноза. Для каждого конкретного месторождения необходимо учитывать все имеющиеся геолого-геофизические данные и результаты опробования, позволяющие обосновать рациональную глубину прогнозирования ресурсов. При обосновании последней и планирования на этой основе глубины разведки месторождения необходимо учитывать, что себестоимость производства одного карата алмазов при подземной разработке резко увеличивается, кондиции возрастают.

Содержание алмазов в блоке подсчета прогнозных ресурсов должно оцениваться по данным представительного опробования, обеспечивающего допустимую его погрешность по доминирующим классам крупности и возможность судить о характере изменчивости алмазоносности по типам руд и на глубину.

Для разведанных с поверхности месторождений содержание алмазов в нижележащем неопробованном блоке принимается равным среднему содержанию в вышележащем опробованном, и только в самом нижнем прикорневом участке трубки — на 20—30% ниже среднего содержания в вышележащих горизонтах средней ее части. Такое снижение оценки страхует от ошибки, связанной с возможным

присутствием на глубине неучтенных слабоалмазоносных интрузивных разновидностей кимберлитов и/или рифов вмещающих пород.

Если в оцениваемом блоке имеются хотя бы одиночные опробованные скважины, содержание определяют по ним с поправкой на недоизвлечение крупных и части средних ($-4+2$ мм) камней по данным разработки или горной разведки месторождения, а на новых трубках по графо-аналитическому способу. В первом случае по данным керновых проб определяется содержание мелких ($0,5—2$ мм) алмазов, а по данным добычи или контрольного крупнообъемного опробования — содержание относительно крупных ($+2$ мм) алмазов. К оценке содержания алмазов класса $-2+0,5$ мм добавляются оценки содержания алмазов классов $-8+4$ мм и $-4+2$ мм. Отношение общего содержания к содержанию класса $-2+0,5$ мм служит поправочным коэффициентом. Применение его может повысить оценку содержания: для месторождений с мелкими алмазами в $1,1—1,3$ раза, с алмазами средней крупности — $1,3—1,5$ раза.

За нижний предел содержания принимаются значения действующих кондиций, а при освоении ресурсов в далекой перспективе — с понижающим коэффициентом, учитывающим вероятную величину их снижения.

Качество алмазов, в частности, выход крупных ($+4$ мм) ювелирных камней, а также стоимость одного карата для разведанных (разведуемых) месторождений, принимаются при прогнозной оценке ресурсов на глубину аналогичными их оценкам по вышележащим отработанным или разведанным горизонтам. Только при появлении на глубоких горизонтах трубок новых разновидностей интрузивных кимберлитов возможно некоторое изменение качества алмазов и средней цены одного карата.

Для новых трубок, положительно оцененных по редким валовым пробам шурфов или по керну скважин, качество алмазов можно ориентировочно оценить по выходе крупных кристаллов и по аналогии с подобными месторождениями данного поля, а также по качеству алмазов в примыкающей россыпи, где оно обычно несколько выше.

Качество алмазов, в частности, содержание крупных и ювелирных камней, существенно влияют на стоимость одного карата и оценку минимально промышленного содержания, которое снижается с увеличением качества алмазов. За рубежом эксплуатируются коренные месторождения с крупными (средняя масса $30—60$ мг), ювелирными (выход $40—60$ %) камнями при содержании $0,2—0,1$ кар/т. Вероятно, и среди отечественных кимберлитовых тел могут быть обнаружены подобные месторождения, имеющие промышленное значение при низком ($0,3—0,1$ кар/т) содержании алмазов, что следует учитывать при оценке прогнозных ресурсов некоторых месторождений на стадии оценочных работ. Косвенными признаками такого

месторождения могут служить находки крупных ювелирных камней в россыпи ближнего сноса.

Для месторождений с невысоким содержанием алмазов оценка средней цены одного карата алмазов обычно значительно занижается из-за недоизвлечения крупных (+2 мм) кристаллов. Достаточно надежное определение цены можно получить лишь по результатам изучения крупных (1—10 тысяч карат) партий алмазов при разведке и разработке месторождений. Малые партии алмазов (десятки — первые сотни карат), извлекаемые обычно при оценочных работах, с этой точки зрения неrepresentительны. В таких случаях необходимо введение поправочного коэффициента в оценку стоимости алмазов по методу, детально изложенному нами в [9, 10, 11].

Объемный вес кимберлитовых пород в блоках подсчета прогнозных ресурсов определяется по имеющимся данным его замеров в штуфах керна одиночных глубоких скважин и путем экстраполяции оценок объемного веса руд вышележащего горизонта, с обязательным учетом закономерного увеличения их плотности с глубиной (обычно от 2,0 на поверхности до 2,3—2,5 г/см³ на глубине).

Рассмотренные выше особенности оценки параметров прогнозных ресурсов коренных месторождений алмазов относились к кимберлитовой трубке как к месторождению в целом, границами его являются контакты кимберлитов с вмещающими породами. В разведанных и разведываемых месторождениях, сложенных рудными столбами с существенно разной алмазоносностью, прогнозные ресурсы подсчитываются как сумма ресурсов рудных столбов, на новых месторождениях ресурсы подсчитываются по средним значениям параметров для месторождения в целом или, при возможности, как сумма средневзвешенных оценок по площадям рудных столбов.

6. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ

Геолого-экономическая оценка месторождений алмазов и перспективных участков является составной частью работ по их изучению (поискам и разведке). До недавнего времени, в условиях плановой экономики, геолого-экономическая оценка учитывала десятки различных показателей, прежде всего стоимостных, большая часть которых диктовалась постановлениями соответствующих директивных органов. С переходом на рыночную экономику ситуация коренным образом изменилась. Зарубежными специалистами предложена поливариантная экономическая модель крупного алмазного рудника (табл. 2). Очевидно, что содержание (и соответственно запасы) определяются на стадии разведки месторождения. Сложнее обстоит дело с

ценами (средней стоимостью одного карата). Расчет параметров геолого-экономической оценки месторождений алмазов производится на основании цен внутрироссийского ценового преysкуранта на сырые алмазы, учитывающего текущую ценовую ситуацию на мировом алмазном рынке. Объем годовой добычи и ее себестоимость определяется на стадии проектирования рудника, что в совокупности с ценой автоматически задает величины выручки и валового дохода, а величина конечной прибыли зависит в основном от уровня налогообложения. Таким образом, предмет геолого-экономической оценки в сложившемся виде становится на сегодняшний день довольно неопределенным.

2. Экономическая модель алмазного рудника [2]

Показатели	Содержание алмазов в руде, кар/т			
	100	125	150	150
Стоимость 1 кар, дол. США	80	100	100	120
Годовая добыча, млн.кар	5,0	6,25	7,5	7,5
Суммарная выручка, млн. дол. США	400	625	750	900
Себестоимость, млн. дол. США	100	100	100	100
Суммарный доход, млн. дол. США	300	525	650	800
Прибыль, млн. дол. США	120	210	260	320

Примечание. Принимаемые ограничения: годовая производительность рудника — 5 млн. т руды; себестоимость переработки 1 т руды — 20 дол. США; норма прибыли — 40% от суммарного дохода.

В то же время возросло значение экспрессных методов геолого-экономической оценки на ранних стадиях геологоразведочного процесса. Применительно к алмазам такая методика разработана А.С.Бобиным [1]. В соответствии с ней, максимально допустимая мощность перекрывающих пород для применения открытого способа разработки не должна превышать следующих значений: для трубок с сечением до 10 тыс. м² не более 20 м; до 50 тыс.м² не более 40 м; до 100 тыс. м² не более 60 м; до 160 тыс.м² не более 80 м; до 200 тыс.м² не более 100 м. Месторождения, не удовлетворяющие этим условиям, а также трубки с мощностью перекрывающих пород более 100 м должны рассматриваться как объекты подземной добычи.

При определении технико-экономических показателей освоения месторождений алмазов важнейшее значение имеет экономически целесообразная глубина открытых работ. Для ее расчета рекомендуется пользоваться формулой:

$$H=KS$$

где H — экономически целесообразная глубина открытых работ, м; S — площадь поперечного сечения рудного тела в верхней части, м^2 ; K — комплексный корректирующий коэффициент.

Комплексный корректирующий коэффициент учитывает значения граничного коэффициента вскрыши (K_R), морфологию трубки в плане (K_l), объемную массу руды (j), усредненные углы погашения бортов карьера (φ) и углы выклинивания диатрем с глубиной (δ). Максимальное влияние на комплексный коэффициент оказывает коэффициент вскрыши, который зависит от ожидаемой ценности руды в недрах. Сводная номограмма для определения K приведена на рис. 17, которая разработана с применением промежуточных функций для широкого диапазона величин. Порядок определения K иллюстрируется примером со следующими значениями исходных величин: $K_R = 10 \text{ м}^3/\text{т}$; $K_l = 0,7$; $j = 2,5 \text{ т}/\text{м}^3$; $\varphi = 36^\circ$, $\delta = 80^\circ$. Согласно номограмме $K = 0,88$.

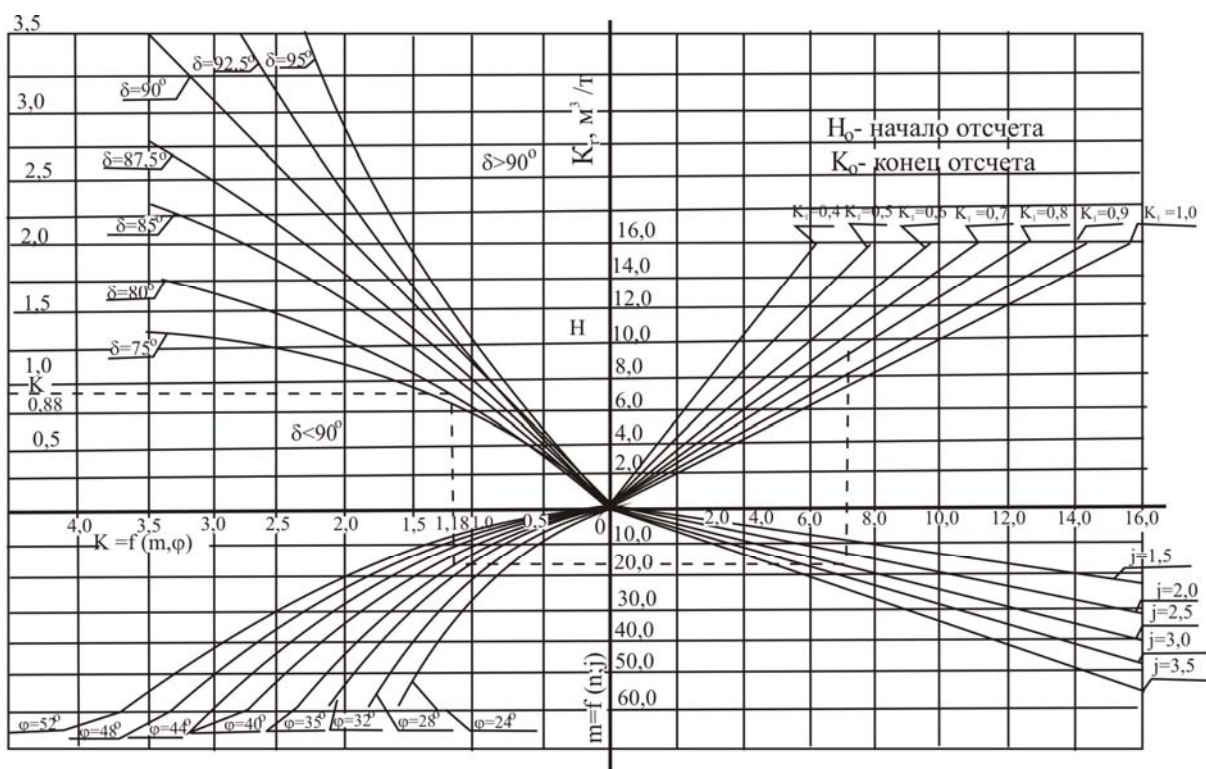


Рис. 17. Номограмма для расчета комплексного корректирующего коэффициента K [1].

H_0 — начало отсчета; K_0 — конец отсчета

Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения осуществляется на основе запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 путем составления оценочных (браковочных) кондиций и укрупненных расчетов по аналогии с известными разведанными и эксплуатируемыми месторождениями с коррективами на горно-геологические условия оцениваемого объекта и географо-экономическую характеристику района. Главные параметры кондиций — минимально

промышленное содержание и предельная глубина отработки месторождения. На начальных этапах разведки широко используются укрупненные показатели и параметры месторождений-аналогов, с составлением технико-экономического обоснования (ТЭО) и проекта временных кондиций.

7. ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОТРАЖАЮЩИХ КОНЕЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

1. Структурно-формационно-фациальная карта поверхности с отображением: формаций магматических пород; разломов (с дифференциацией по глубине заложения и возрасту); контуров крупных положительных и отрицательных структур с разбивкой их по возрасту; выходов грубозернистых отложений; парных разломов и аномалий «трубочного» и «даечного» типов (для м-ба 1:50 000).
2. Структурно-формационно-фациальная карта базального горизонта отложений, перекрывающих кимберлиты, с отображением: фаций перекрывающих отложений; изоглубин подошвы горизонта; поднятий и прогибов; областей аккумуляции и денудации; глубинных и других разломов с разделением их по возрасту, глубине заложения и отношению к кимберлитовому магматизму.
3. Морфоструктурная карта с выделением перспективных площадей на коренные и россыпные источники ранга района и поля (м-б 1:200 000).
4. Карта результатов дешифрирования космоснимков с выделением перспективных площадей ранга района и поля (м-б 1:1 000 000—1:200 000).
5. Шлихо-минералогическая карта поверхности с отображением: находок обломков кимберлитов; степени сохранности алмазов и минералов-индикаторов; их размеров и концентраций, степени сортированности; наличия высокохромистых пиропов и шпинелидов; наличия сростков минералов и келифитовых кайм на пиропе (м-б 1:200 000 — 1 :50 000).
6. Шлихо-минералогическая карта базальных отложений, перекрывающих кимберлиты (м-б 1: 200 000).
7. Карта-схема остаточных мощностей до маркирующего горизонта кимберлитовмещающих отложений, с отображением: положительных и отрицательных структур; глубинных и других разломов; обобщенных контуров шлиховых и геохимических ореолов; литологического состава кимберлитовмещающих пород; областей денудации (м-б 1:200 000).
8. Карта-схема расчленения ледниковых отложений по их информативности для проведения и интерпретации результатов шлихо-минералогического опробования (м-б 1 :200 000).

9. Карта интерпретации геофизических материалов: грави-, магнито-, электроразведочных и сейсморазведочных (м-б 1:200 000) — с отображением: рельефа фундамента; глубинных разломов; физико-геологических неоднородностей в строении коры (низкочастотные гравимагнитные аномалии) и чехла (высокочастотные аномалии).
10. Карта локальных геофизических аномалий «трубочного» и «дайкового» типов с выделением аномалий ранга ПГУ-2 (м-б 1:50 000 — 1:25 000).
11. Схемы наземной заверки ПГУ-2 м-ба 1:10 000;
12. Карта поисковых критериев и признаков, с обязательным отражением всех элементов соответствующих прогнозно-поисковых моделей.
13. Итоговая прогнозная карта, составленная на основе карты поисковых критериев и признаков, с выделением на ней площадей, перспективных на обнаружение алмазоносного поля (м-б 1:200 000) или куста алмазоносных тел (м-б 1:50 000), в благоприятных случаях выделяются площади, перспективные на обнаружение отдельных трубок. Все площади ранжируются по очередности опробования с указанием необходимых видов и методов работ.
14. Прогнозные ресурсы категорий P_3 (м-б 1:200 000) и P_2 (м-б 1:50 000 — 1:25 000).
15. Определение достоверности предшествующих оценок ресурсов категории P_3 и P_2
16. Определение прогнозных ресурсов категории P_1 прямым подсчетом по результатам опробования.
17. Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов.

8. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В настоящее время принципы прогноза, поисков и оценки россыпных месторождений алмазов значительно не изменились по сравнению с зафиксированными в предыдущих методических руководствах [7, 12]. Тем не менее, в последние годы создан ряд обобщенных прогнозно-поисковых моделей россыпных месторождений, которые позволяют существенно повысить объективность количественной оценки для них прогнозных ресурсов.

Обобщенные модели россыпей рассматриваются по комплексу объединенных в группы прогнозно-поисковых факторов: геолого-структурная и морфоструктурная позиции; палеогеографические, литофациальные и гидродинамические; петрографические и минералогические; концентрационные; математико-статистические; геофизические и геохимические.

8.1. Геолого-структурные и морфоструктурные модели

Геолого-структурная, морфоструктурная позиции россыпей, наряду с питающими источниками, являются основными факторами, контролирующими пространственное размещение россыпных зон, районов, полей и месторождений. Особенно важна их роль в размещении россыпей алмазов умеренного и дальнего сноса и переотложения, не связанных непосредственно с коренными первоисточниками.

Наиболее благоприятными для россыпеобразования являются поднятия и их склоны, способствующие как интенсивному размыву питающих источников, так и концентрации алмазов на ограниченных участках (табл. 3).

3. Основные критерии геоструктурного, морфоструктурного контроля размещения россыпей

Фактор	Критерии и объекты прогноза	
	региональные	локальные
Геоструктурный	Зоны, области сочленения крупных (I-II порядка) положительных и отрицательных платформенных структур: антеклиз и синеклиз, прогибов, антиклинориев и синклинориев, крупные сводовые, валообразные поднятия, антиклинали и их склоны. Россыпные зоны, области,	Участки сочленения положительных и отрицательных структур, средние и мелкие сводовые, валообразные поднятия, антиклинали и их склоны. Россыпные поля, группы россыпей и отдельные россыпи.
	Зоны разломов, интенсивной трещиноватости на поднятиях, склонах и их пересечения, контролирующие размещение мезо-кайнозойских карстово-эрозионных долинных и воронкообразных депрессий и создающие неровности плотика россыпей — ловушки алмазов.	
Морфоструктурный	Зоны, области сочленения крупных положительных и отрицательных морфоструктур: возвышенностей, плато, кряжей, гряд с равнинами, низменностями и морские побережья. Россыпные зоны, области, районы.	Участки склонов умеренных возвышенностей разного порядка, эрозионные, карстово-эрозионные долины, в том числе сухих рек, мелкие депрессии, воронки и морские, озерные пляжи. Россыпные поля, группы и отдельные россыпи.
	Расположение питающих первичных и (или) промежуточных источников алмаза на возвышенностях рельефа (палеорельефа) в областях размыва.	

При оценке перспектив россыпной алмазоносности конкретных площадей и россыпей необходимо учитывать, наряду с алмазоносностью питающих источников, особенности их размыва и благоприятные условия концентрации алмазов:

расположение первоисточников алмаза на интенсивных неотектонических поднятиях, водоразделах и крутых склонах, способствующее их интенсивной денудации;

наличие древних отпрепарированных поверхностей выравнивания и размыв сохранившихся на них реликтов базальных горизонтов промежуточных коллекторов

алмаза;

умеренное неотектоническое поднятие площади распространения промежуточных коллекторов алмаза; на интенсивных поднятиях они могут быть полностью эродированы;

наличие участков речных долин, унаследующих древние мезо-кайнозойские, особенно карстово-эрозионные, долины, где возможны реликты неоген-нижнечетвертичных россыпей.

локальные геоморфологические критерии выделения участков гидросети, благоприятных для формирования аллювиальных россыпей:

своды и склоны умеренных неотектонических поднятий, а также склоны мелких умеренно развивающихся депрессий;

в речной долине алмазоносность аллювия обычно увеличивается в направлении от высоких террас к низким, пойме и руслу; исключениями являются долины мезо-кайнозойского заложения с реликтами неоген-нижнечетвертичных россыпей, отличающихся повышенной алмазоносностью;

карстово-эрозионные долины и воронки тяготеют к поднятиям, зонам и пересечениям разломов, выражаются пониженным рельефом или обводненностью, изменением растительности и нередко дешифрируются на АФС.

8.2. Морфологические модели

Форма, размеры россыпных месторождений алмазов (табл. 4) зависят от их источника, генезиса, геоморфологической позиции и прочих условий россыпеобразования.

Элювиальные, делювиальные и пролювиальные россыпи расположены на водоразделах, склонах и в логах вблизи питающих источников, что определяет их слабо вытянутую форму, малую (1—3 км) протяженность и большую ширину (100—200 м).

Аллювиальные россыпи по форме обычно линзовидные в руслах и лентовидные в долинах рек. Мелкие по длине (несколько километров и менее) аллювиальные россыпи находятся возле коренных месторождений и промежуточных коллекторов алмазов. Русловые россыпи преимущественно узкие и средней (около 50—100 м) ширины, малой (1—2 м) мощности, долинные - широкие (более 100 м) и средней (2—3 м) мощности. Россыпи речных террас разной формы, обычно слабой и средней вытянутости, мелкие по длине (1—5 км), широкие и очень широкие (200—300 м и более), со средней и большой (2—4 м и более) мощностью песков.

Древние пролювиально-озерные россыпи конусов выноса, пляжей, ложбин стока озерных вод и карстовых воронок ближнего сноса и переотложения, разной формы,

слабой вытянутости, малой протяженности, большой ширины, средней и большой мощности песков.

Известные в России прибрежно-морские россыпи, как правило, малой и очень малой (менее 1 м) мощности, непромышленные, за исключением единичных мелких россыпей в корах выветривания девонских гравелитов на Урале и Тимане.

8.3. Палеогеографические, гидродинамические и литофациальные модели

Палеогеографические, гидродинамические и литофациальные факторы (климат, рельеф, динамика среды россыпеобразования, фациальная принадлежность, гранулометрический состав песков и др.) определяют особенности размещения, внутреннего строения россыпей и концентрации в них алмазов (табл. 5).

В условиях теплого влажного климата формируются наиболее богатые и крупные континентальные россыпи, особенно элювиальные, делювиальные, делювиально-пролювиальные и карстовые. Аридный климат с редкими ливневыми дождями способствует образованию россыпей в морских и крупных озерных бассейнах в связи с быстрым переносом алмазов сухими реками, что не свойственно рекам в гумидном климате. Жаркому аридному климату пустынь и полупустынь свойственны эоловые россыпи, холодному арктическому — ледниковые.

Мощный (десятки метров) элювий с обогащенным алмазами верхним горизонтом формируется на кимберлитах в условиях поднятия и химического выветривания, маломощный (метры) элювий с обогащенным алмазами нижним горизонтом - в условиях пониженного рельефа и физического мерзлотного выветривания. Древние аллювиальные россыпи известны в долинах мелких палеорек на склонах поднятий. Аллювий крупных медленно текущих палеорек с блуждающим руслом на низменных равнинах Вилюйской и Тунгусской синеклиз не благоприятен для концентрации алмазов.

В литологическом составе алмазоносных россыпей наиболее благоприятны для концентрации алмазов грубообломочные, грубозернистые относительно слабо сортированные отложения, особенно валунные и глинистые; не благоприятны — мелко-, тонкозернистые пески, алевроиты.

Относительно повышенные концентрации алмазов свойственны участкам россыпей, расположенным среди устойчивых к эрозии пород, или закарстованных известняков, доломитов, а также с ложем из глинистых пород, удерживающих алмазы. На участках распространения рыхлых слабо устойчивых к эрозии пород, возле интенсивно эродируемых обнажений или на участках ровного скального и песчаного ложа, россыпи разубоживаются и алмазы больше переносятся, чем аккумулируются.

Известно, что базальные грубообломочные отложения терригенных алмазоносных толщ обычно богаче алмазами, чем внутрiformационные. Морские россыпи нередко сопровождаются слоями ракушечника, подстилающими пески.

8.4. Петрографические и минералогические модели

Петрографические и минералогические модели характеризуют присутствие в россыпи пород и минералов-индикаторов питающих источников, кор выветривания, а также гидродинамических минералов-индикаторов, их состав, концентрацию и свойства (табл. 6).

6. Петрографические и минералогические прогнозные признаки россыпей

Факторы	Прогнозные признаки	
	региональные	локальные
Породы-индикаторы: первоисточников	—	Присутствие обломков (щебень, чаще дресва) кимберлитовых или лампроитовых пород на удалении до первых, редко — нескольких километров
промежуточных источников	Повышенная концентрация валунов и хорошо скатанной гальки экзотических пород, устойчивых к химическому выветриванию (кварцит, кварц, кварцевый песчаник, кремь и др.). Следы выветривания (кремнистые, лимонитовые корки, ожелезненные трещины, коррозия и др.) на поверхности гальки с удалением от источника уменьшаются до исчезновения, трещиноватая галька раскалывается	
кор химического выветривания	Присутствие обломков сидерита, лимонита, остроугольных кремней, халцедонов, окремненных или кальцитизированных образований (силькрет или калькрет в россыпях Африки)	
Минералы-индикаторы: первоисточников	Находки сортированных алмазов, одиночных минералов кимберлитов, лампроитов: пироп или хромшпинелида, пикроильменита, циркона со следами износа и обычно мелких размеров	Не сортированные или слабо сортированные алмазы, комплекс минералов: пироп, пикроильменит, хромшпинелид, хромдиопсид и другие хорошей сохранности и разной
промежуточных источников и гидродинамические спутники	Преимущественно кварцевый состав песчаной фракции алмазоносных отложений, повышенная концентрация в них тяжелых минералов, устойчивых к химическому выветриванию и (или) близких алмазу по удельному весу (пироп, альмандин, турмалин, кианит, ставролит, рутил,	
кор химического выветривания	Присутствие в тяжелой фракции повышенных концентраций гематита, гетита, лимонита, сидерита, лейкоксена, а в глинистой фракции — каолина, монтмориллонита	

Породы и минералы-индикаторы первичных и промежуточных источников алмаза являются основными прямыми признаками алмазоносных россыпей, а продукты кор выветривания и гидродинамические спутники — косвенными признаками благоприятных условий россыпеобразования.

Массовому высвобождению и локализации алмазов из питающих источников способствует корообразование, поэтому при прогнозе алмазности россыпи важно определить наличие (или отсутствие) пород и минералов-индикаторов кор химического выветривания.

Прямой признак алмазности россыпи — наличие алмазов, концентрация, крупность и качество которых определяют промышленную значимость россыпи и меняются в зависимости от типа, удаленности источника.

В россыпях ближнего сноса непосредственно возле коренных первоисточников весовое и количественное содержание алмазов обычно максимальное, а средняя масса зерен — минимальная; средняя масса и соотношение зерен разных классов крупности близки таковым в первоисточнике. Доминирующие по массе алмазы распределены, как и в первоисточниках, обычно в трех соседних классах крупности, много (70—80%) сколотых кристаллов, что служит основным признаком близости коренных первоисточников.

При умеренном удалении россыпи от коренных первоисточников, на расстоянии от нескольких километров до нескольких десятков километров, весовое и количественное содержание алмазов в общем замедленно падают, а средняя масса зерен растет и затем стабилизируется, алмазы сортируются, доминирующие по массе зерна распределены чаще в двух классах крупности.

В россыпях дальнего сноса и переотложения возле древних промежуточных источников значения как весового, количественного содержания, так и средней массы зерен алмазов обычно максимальные, алмазы хорошо сортированные, и доминирующая их масса сосредоточена преимущественно в одном, реже двух классах крупности, преобладают (70—80%) целые и слегка поврежденные кристаллы. Алмазы с «рубашками» на поверхности и типа карбонадо отличаются пониженной рентгенолюминесценцией и слабо прилипают к жирам, могут теряться, что следует учитывать при их извлечении из песков и оценке содержания.

По мере удаления от питающих источников в россыпях уменьшается доля дефектных, трещиноватых, окрашенных (особенно желтых и дымчатых) кристаллов, алмазов с включениями, с интенсивной рентгенолюминесценцией, октаэдрических (кроме гладкогранных), переходных форм, пигментированных зеленых алмазов, с корродированными гранями, кремнисто-кварцевыми лимонитизированными «рубашками», и, наоборот, увеличивается доля высококачественных, ювелирных, целых, бесцветных камней, ромбододекаэдрических и округлых алмазов.

Сортировка парагенетических минералов-индикаторов по мере удаления от питающих источников выражается в следующем:

большинство наиболее крупных (>2 мм) и тяжелых (пикроильменит, хромшпинелид) минералов аккумулируется вблизи и отчасти на умеренном расстоянии, пироп, оливин и хромдиопсид могут переноситься на большие расстояния, однако оливин и хромдиопсид из-за химической и механической неустойчивости на большом удалении от источников фиксируется редко;

доля высокохромистых пиропов, наиболее устойчивых к выветриванию и износу, с удалением от первоисточника возрастает, что не может быть признаком высокого содержания алмазов в россыпях.

В россыпях дальнего сноса, на морских пляжах и шельфе с алмазами ассоциирует наиболее широкий набор химически устойчивых тяжелых минералов: ильменит, лейкоксен, рутил, турмалин, кианит, гранат, циркон, корунд, хромит, монацит, мелкое золото и др.; в ряде древних титан-циркониевых и золотых россыпных месторождений алмазы являются попутными полезными компонентами.

Ореолы парагенетических минералов-индикаторов сопровождают алмазы в россыпях ближнего, отчасти умеренного сноса и образуют локальные аномалии, различные по форме, размерам и контрастности. Сведения об ориентировке, размерах и контрастности ореолов минералов-индикаторов особенно необходимы при поисках погребенных россыпей (и кимберлитов).

8.5. Концентрационные модели

Концентрационные модели количественно и отчасти качественно характеризуют параметры алмазности россыпей, их региональную и локальную изменчивость в зависимости от многочисленных изложенных выше факторов.

Количественные концентрационные модели в табличной и графической форме иллюстрируют изменчивость параметров алмазности, типы концентрации алмазов в связи с влиянием факторов питающих источников, генезиса, структурной (морфоструктурной) позиции, локальных элементов морфологии россыпей, уклона продольного профиля, мощности песков и др.

Концентрационные модели в табл. 7 обобщают данные о весовом, количественном содержании, ситовом составе, средней массе алмазов, выходе ювелирных камней и размерах концентрационных неоднородностей по 30 промышленным россыпям России, отчасти зарубежным, разных морфогенетических типов.

Высокое содержание, количество и низкая средняя масса, невысокая доля ювелирных алмазов свойственны россыпям ближнего сноса. Среднее и низкое

содержание, количество и высокая средняя масса, доля ювелирных алмазов характерны для россыпей дальнего сноса и переотложения. Россыпи с крупными высококачественными ювелирными алмазами, как правило, отличаются низким содержанием и могут быть надежно оценены только крупнообъемными (десятки м³) валовыми пробами горных выработок.

Изменчивость содержания алмазов определяется условиями их концентрации и количественно выражается коэффициентом вариации, оценки которого, как известно, прямо зависят от крупности алмазов и обратно от уровня их содержания и объема проб. Приведенные оценки коэффициентов вариации содержаний рассчитаны по представительным валовым пробам горных выработок. Минимальные коэффициенты вариации содержания (50—90%), присущи россыпям ближнего сноса с высоким содержанием и преимущественно мелкими алмазами; максимальные (более 150%) — более бедным россыпям в основном с крупными алмазами.

Изменчивость параметров алмазоносности по протяженности россыпей, фиксируемая линейными трендами, может указывать на причину обогащения алмазами того или иного участка россыпи:

- 1) привнос алмазов из дополнительного питающего источника выражается в пространственном совмещении максимумов весового и количественного содержаний с минимумом (понижением) значений средней массы алмазов;
- 2) на гидродинамическую причину обогащения участка россыпи указывает пространственное совмещение максимумов как весового, количественного содержаний, так и средней массы зерен алмазов.

Региональные неоднородности концентрации алмазов в аллювиальных россыпях, чередование относительно богатых и бедных участков обусловлены разными питающими источниками, в том числе притоками, и/или геолого-структурными, гидродинамическими условиями концентрации алмазов. Они имеют протяженность от нескольких километров до десятков километров и определяют расстояние между пунктами мелкообъемного или валового опробования аллювия гидросети при поисках россыпей. Надежное выделение участка достигается при подсечении его в 2 пунктах опробования.

Локальная изменчивость содержания, количества и средней массы алмазов по протяженности россыпей, положение и размеры концентрационных струй, линз и гнезд, обусловлены, главным образом, динамикой водотока, положением и размерами мелких морфологических неоднородностей излучин, сужений, расширений водотоков, островов, плесов, перекаатов и др., и, в меньшей степени, привносом алмазов из ручьев, размывающихся террасы, и др.

Длина струй и линз колеблется от 0,2 до 3 км на крупных богатых россыпях. Короткие струи, линзы свойственны мелким, в частности, ложковым, озерным и бедным россыпям. На спрямленных расширенных отрезках дна речных долин наблюдаются обычно две струи, на суженных — одиночные струи, но чаще более обогащенные алмазами; в излучинах серповидные струи вдоль намывного берега.

Ширина струй, линз и относительно изометричных гнезд колеблется обычно от 20 до 80 м, струи и линзы шириной более 100 м относительно редки, свойственны россыпям склонов, логов, террас, карстовых депрессий, озерных и морских бассейнов.

Анализ концентрационных моделей показывает, что во флювиальных россыпях присутствуют разные формы скопления алмазов: струйчатые, линзовидные и гнездовые. В зависимости от преобладания той или иной формы скопления алмазов нами выделяются 4 типа их концентрации (рис. 18):

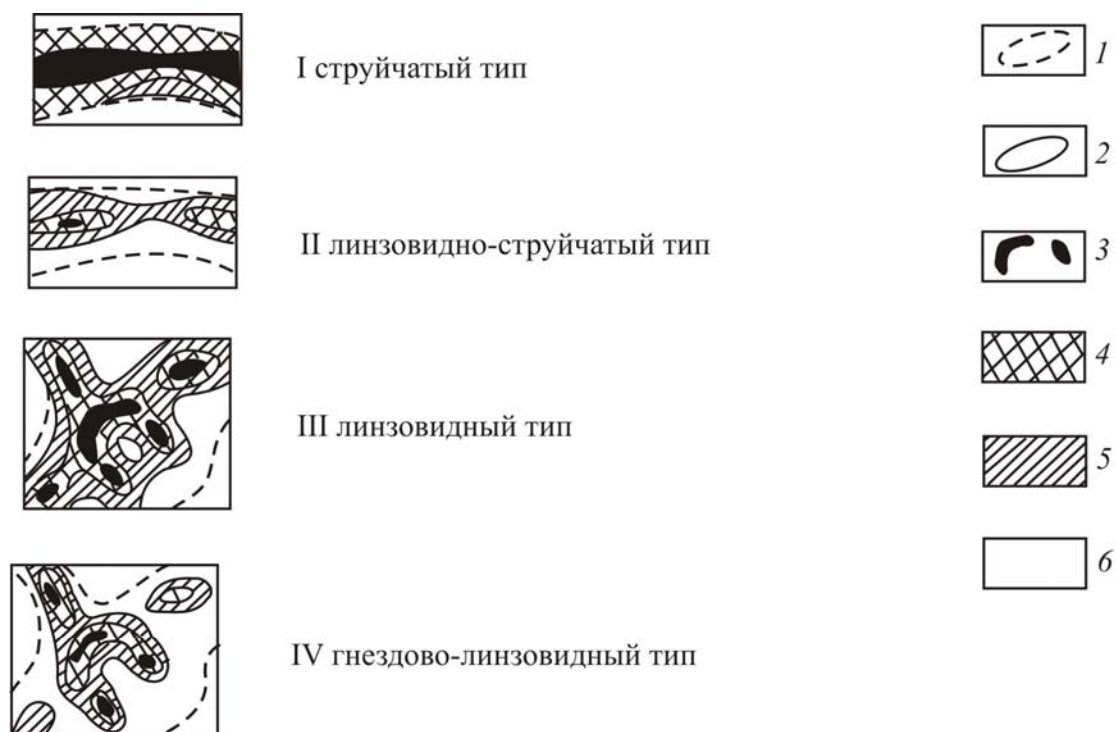


Рис. 18. Обобщенная модель типов концентрации алмазов в россыпях

1 - геологические границы залежи; 2 - контур промышленной россыпи; содержания: 3 - значительно (>2 раз) выше среднего; 4 - выше среднего; 5 - выше минимально промышленного; 6 - ниже минимально промышленного

I — струйчатый тип, алмазы концентрируются преимущественно в крупных по длине, широких и средней ширины струях, доля линз и гнезд незначительная; бедные участки, с содержанием ниже минимально промышленного, встречаются редко, фиксируются одиночными выработками. Россыпи относительно выдержанные, промышленный контур близок геологическим, геоморфологическим границам, эффективно опробуются при относительно больших расстояниях между линиями и выработками. Этот тип концентрации редкий, встречается на богатых аллювиальных,

пролювиально-аллювиальных россыпных месторождениях ближнего сноса и переотложения с высоким содержанием мелких и средних алмазов (реки Ирелях, Эбелях);

II — линзовидно-струйчатый тип, алмазы концентрируются преимущественно в струях при подчиненной, но значительной доле линз и незначительной — гнезд: преобладают струи и линзы средних размеров; бедные локальные участки присутствуют в подчиненном количестве и тяготеют обычно к флангам россыпей. Россыпи невыдержанные, промышленный контур не совпадает с геологическими, геоморфологическими границами. Это наиболее распространенный тип концентрации алмазов, характерный для большинства месторождений с невысоким содержанием алмазов разной крупности (Молодо, Горное, р. Большой Колчим—нижний, руч. Гусиный, Пироповый и др.);

III — линзовидный (струйчато-линзовидный) тип, алмазы концентрируются преимущественно в линзах разной ширины при подчиненной, но значительной доле коротких узких струй и присутствии гнезд; бедные локальные участки встречаются как по флангам, так и внутри по протяженности россыпей. Россыпи невыдержанные, их контуры постепенно или резко меняются, содержание алмазов по некоторым линиям (блокам) бывает ниже минимально-промышленного. Линзовидный тип концентрации более свойственен россыпям логов, озер, россыпям русла рек с невысоким содержанием и средней крупностью алмазов, а также большинству россыпей с очень низким содержанием и крупными алмазами (реки: Верхнее Молодо, Малая Ботуобия, Большой Колчим-верхний, Чурочная, Водораздельные галечники и др.) и занимает второе по распространенности место;

IV — гнездово-линзовидный тип, алмазы концентрируются преимущественно в линзах при подчиненной, но значительной доле гнезд и незначительной — коротких узких струй; относительно богатые и бедные локальные участки в границах залежи распространены примерно одинаково. Россыпи весьма невыдержанные, нередко прерывистые или четковидные с резко меняющейся формой и алмазоносностью, нуждаются в наиболее плотной сети опробования, применении канав, траншей. Этот тип концентрации более характерен для карстово-эрозионных депрессий, озерных пляжей и россыпей с низким содержанием, но крупными размерами алмазов (Верхний Биллях, Новинка, Рассольнинская депрессия и др.).

При поисках и оценке россыпей целесообразно учитывать также следующие количественные признаки концентрации алмазов.

Содержание, количество и средняя масса алмазов в аллювиальных россыпях дальнего сноса и переотложения с удалением от промежуточных коллекторов

относительно медленно снижаются, причем средняя масса медленнее, чем содержание; на удалении в первые десятки километров их значения, при отсутствии дополнительных питающих источников, стабилизируются и затем падают.

В россыпях ближнего сноса или ближнего переотложения (россыпи Рассольная, Рассольнинская депрессия) с приближением к коренным первоисточникам или промежуточным коллекторам алмазов содержание как крупных, так и особенно мелких алмазов увеличивается, а средняя масса уменьшается, причем в большей мере возле первичных и в меньшей — возле промежуточных питающих источников, что является одним из главных прогностических признаков и должно учитываться при поисках питающих источников.

Концентрация алмазов меняется в зависимости от уклона продольного профиля рек: для якутских россыпей с мелкими и средними алмазами благоприятны участки с уклоном 1—2 до 3 м/км, для уральских россыпей с крупными алмазами — 5—10 до 20 м/км; при существенном понижении уклона продольного профиля, способствующем интенсивному накоплению наносов, россыпь разубоживается. Повышенные концентрации алмазов свойственны приустьевым участкам россыпей с выположенным уклоном и пониженной скоростью водотока. На приподнятых приустьевых участках с повышенной скоростью течения количество алмазов в россыпях уменьшается, происходит их интенсивным вынос в основную реку, обогащение ее аллювия непосредственно ниже устья притока.

В аллювиальных россыпях благоприятны для локальной концентрации алмазов:

участки, где происходит изменение скорости и (или) направления течения, сужения долин и перехода к расширению, плавных излучин;

участки врезанных долин с пониженной мощностью аллювия или переуглубленного русла с повышенной мощностью аллювия в закарстованных долинах древнего заложения;

головные части островов, кос, перекатов, стрежни водотоков, прирусловые части пойм, плесы (преимущественно на поднятиях с аллювием инстративного типа) или перекаты (преимущественно на сочленении поднятий с депрессиями с перстративным аллювием).

В пределах морских пляжей, судя по зарубежным россыпям, наиболее благоприятными для концентрации алмазов являются их нижние и верхние границы, т.е. участки перехода от пляжа к шельфу и к валунной штормовой гряде, а также перпендикулярные берегу каналы-ложбины стока морских приливных и дождевых вод. На озерных пляжах повышенные концентрации алмазов приурочены в основном к дельтовым и пролювиальным фациям конусов выноса питающих водотоков. В разрезе

озерных продуктивных залежей повышенные концентрации алмазов наблюдаются в разных их частях: в нижней средней или верхней; необходимо послойное секционное опробование.

8.6. Математико-статистические модели

Математико-статистические модели характеризуют: типы распределения алмазов, минералов-индикаторов и мощности песков, закономерности изменчивости параметров алмазности россыпей и их зависимость от расстояния до питающего источника, корреляционные связи параметров алмазности между собой и с другими свойствами россыпей, а также способы расчета необходимой сети и объема проб при поисках и оценке россыпей.

С удалением от первоисточника в россыпях ближнего, умеренного, дальнего сноса и переотложения характер кривых распределения содержаний алмазов (рис. 19) и парагенетических минералов-индикаторов меняется: асимметрия и диапазон кривых уменьшается, а эксцесс, высота — увеличивается, что полезно учитывать при оценке дальности до питающего источника.

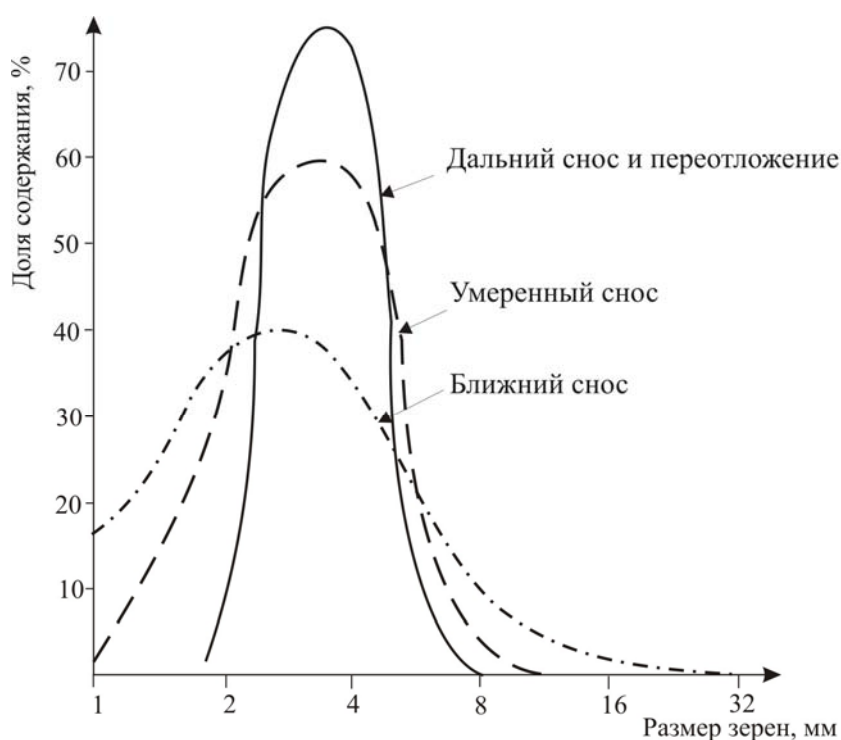


Рис. 19. Обобщенная модель распределения алмазов в россыпях по крупности зерен с удалением от первоисточника

Коэффициенты парной корреляции между содержанием, количеством и средней массой алмазов свидетельствуют о следующем:

в любых якутских и уральских россыпях наблюдается сильная положительная связь между весовым и количественным содержанием алмазов, то есть увеличение содержания обусловлено, главным образом, увеличением количества алмазов;

в аллювиальных россыпях умеренного, дальнего сноса и переотложения с

сортированными алмазами корреляция между весовым содержанием и средней массой алмазов значимая положительная, а в россыпях ближнего сноса с большой долей мелких кристаллов — слабая отрицательная или незначимая;

связь между количественным содержанием и средней массой зерен алмазов слабая, нестабильная: в россыпях умеренного, дальнего сноса и переотложения она чаще положительная, а в россыпях ближнего сноса — отрицательная;

в россыпях с сортированными алмазами весовое содержание положительно коррелируется с содержаниями алмазов доминирующих по массе классов крупности, в россыпях с несортированными или слабо сортированными алмазами — с содержаниями по всем классам крупности;

в прибрежно-морских россыпях положительная корреляционная связь между содержанием и средней массой алмазов более сильная, чем в континентальных россыпях, что, по-видимому, вызвано более интенсивной сортировкой алмазов.

Указанные связи учитываются при прогнозе питающих источников, россыпей, например, отсутствие связи содержания со средней массой алмазов — признак близости первоисточника россыпи (Водораздельные галечники, Новинка).

Между мощностью продуктивных песков и параметрами их алмазоносности в делювиальных, пролювиальных, аллювиально-пролювиальных и пролювиально-озерных россыпях ближнего сноса и переотложения корреляционная связь отсутствует или нестабильная: слабая положительная и реже отрицательная.

В аллювиальных и отчасти в прибрежно-морских россыпях между мощностью песков, с одной стороны, и содержанием, крупностью алмазов, с другой, появляется обычно значимая отрицательная связь, реже, на участках карстовых воронок и неровного плотика с частыми западинами, ложбинами — слабая положительная связь. Отрицательная корреляционная связь между мощностью песков, содержанием и крупностью алмазов наиболее сильная на участках поднятий с аллювием инстративного типа и менее сильная на участках сочленения поднятий и впадин с аллювием перстративного типа. Прямая связь свидетельствует о преимущественной концентрации алмазов в понижениях рельефа (р.Эбелях, Большой Щугор, побережье ЮЗ Африки, Лихтенбург и др.), обратная — на поднятиях, участках маломощного аллювия (р.Молодо, Моторчуна и др.).

Между содержанием минералов-индикаторов, тяжелой фракции и алмазов обычно наблюдается прямая корреляционная связь, разная по значимости. В россыпях ближнего и умеренного сноса наблюдается значимая положительная связь между содержанием алмазов, выходом тяжелой фракции и минералов-индикаторов; в россыпях дальнего сноса и переотложения эти связи слабые или отсутствуют, но

проявляется положительная связь с минералами кор химического выветривания и/или с экзотическими породами-индикаторами промежуточных коллекторов алмаза.

Указанные корреляционные связи используются как для прогнозирования россыпей, так и для приближенного их оконтуривания. В случаях тесной прямой связи между ними на россыпях ближнего сноса при их оконтуривании можно учитывать границы ореолов концентрации парагенетических, а на россыпях дальнего сноса — гидродинамических минералов-индикаторов и тяжелой фракции.

8.7. Геофизические и геохимические модели

Геофизические и геохимические модели россыпей алмазов имеют второстепенное значение, используются главным образом при поисках древних погребенных россыпей, особенно карстово-эрозионного типа. Последние, выполненные переотложенными продуктами кор химического выветривания, фиксируются в геофизических полях прерывистыми линейно-вытянутыми минимумами силы тяжести (до 0,4 мгл), цепочками и отдельными слабомагнитными аномалиями (10—100 гамм), а также линейными зонами и отдельными электрическими низкоомными (менее 10 000 Ом·м) аномалиями.

Повышенная намагниченность характерна для некоторых древних ложковых россыпей ближнего сноса, сложенных переотложенными продуктами кор химического выветривания алмазоносных кимберлитов; в обычных условиях физического выветривания россыпи алмазов даже ближнего сноса в магнитном поле не выражаются.

Для прибрежно-морских россыпей характерна повышенная концентрация тяжелых магнитных минералов, но в общем невысокая намагниченность (0,5—2 до $10 \cdot 10^3$ ед. СИ), чаще не позволяющая фиксировать россыпь в магнитном поле.

Присутствие геохимических аномалий комплекса элементов-индикаторов кимберлитовых и лампроитовых пород: Ti, Cr, Ni, Co, Ba, Sr, Nb, V свидетельствует о возможном присутствии коренных месторождений алмазов и связанных с ними россыпей ближнего и умеренного сноса.

Переотложенным корам химического выветривания и связанным с ними неогеновыми россыпям умеренного и дальнего сноса и переотложения свойственны геохимические аномалии следующих элементов-индикаторов: Ti, Mn, Cu, Zn, Cr, Fe, и сокращенный набор элементов собственно кимберлитов.

8.8. Группировка россыпей для прогноза, поисков и оценки

Предложенная группировка основана на изложенных выше моделях детально изученных, разведанных россыпных месторождениях алмазов и включает 20 основных

классификационных факторов, определяющих размещение, условия формирования, внутреннее строение, размеры россыпей, неоднородных участков, концентрацию в них алмазов и др. (табл. 8).

Подразделение россыпей на группы позволяет достаточно полно дифференцировать и учитывать факторы россыпеобразования, более обоснованно относить ожидаемые россыпи к известным аналогам (в условиях недостатка информации) и выбирать наиболее эффективные методы их прогноза, поисков и оценки, в том числе существенно повысить достоверность количественной оценки прогнозных ресурсов россыпных алмазов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. *Бобин А.С.* Особенности геолого-экономической оценки кимберлитовых трубок на разных стадиях их изучения // Тр.ЦНИГРИ. 1988. Вып. 188
-

2. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира. — М.: Геоинформмарк, 2000
 3. Ваганов В.И., Богатых И.Я. Конъюнктура минерального сырья. Вып. 25 Алмазы, — М.: ВИЭМС, 1998
 4. Ваганов В.И., Варламов В.А., Фельдман /и др./ Прогнозно-поисковые системы для месторождения алмазов //М. Отечественная геология./ 1995. № 3
 5. Губайдуллин М.Г., Александров С.П., Постельников А.Ф., Ширококов В.Н. Геолого-геофизические предпосылки поисков трубок взрыва в условиях ледникового ландшафта Русской платформы //Геофизические методы прогноза, поисков и разведки месторождений алмазов: Тр.ЦНИГРИ. М., 1989. Вып.250.
 6. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. — М.: Госгеолтехиздат, 1960.
 7. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вып. XV. Оценка ресурсов алмазов/ Б.И.Прокопчук, В.И.Ваганов, В.Е.Минорин, и др. — М.: ЦНИГРИ, 1986.
 8. Минорин В.Е. Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России. — М.: ЦНИГРИ, 2001.
 9. Минорин В.Е., Безбородов С.М. Аналитическая оценка содержания крупных кристаллов по установленной зависимости между содержанием и размером алмазов в месторождении //Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов Мирный, 1998.
 10. Минорин В.Е., Веричев Е.М. Способ оценки стоимости крупных камней и средней цены 1 карата по их зависимости от классов крупности алмазов в месторождении //Руды и металлы. 2002. №1.
 11. Оценка и разведка коренных месторождений алмазов. // В.Е. Минорин, Д.Н. Гречишников, И.Ю.Горохов, А.Г. Солопанов — М.: ЦНИГРИ, 2000.
 12. Прокопчук Б.И., Минорин В.Е, Подчасов В.М. Методические рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов алмазов. — М.: ЦНИГРИ, 1983, 26 с.
 13. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). — М.: ВИЭМС, 1999.
 14. Шпунт Б.Р. Кимберлитоконтролирующие структуры Сибирской платформы// Проблемы прогнозирования коренных месторождений алмазов различных генетических типов: Тр.ЦНИГРИ М., 1991. Вып. 250
-

1. Основные геолого-промышленные типы месторождений алмазов и их характеристик

Типы, примеры месторождений	Характеристика месторождений				
	По морфологии, масштабам и характеру залегания	по запасам алмазов	по содержанию	по качеству алмазов	
				крупность алмазов в мм	доля (выход) ювелирных кристаллов (в %)
Коренные месторождения					
<p>Кимберлитовый</p> <p>Трубки Мир, Удачная, Юбилейная</p>	<p>1) Трубки взрыва: цилиндрические и разной конусности; изометричные и разной удлиненности, эллипсоидальные; подразделяются по площади поперечного сечения поверхности на:</p> <p>а) уникальные, площадью > 250 тыс.м²</p> <p>б) крупные, площадью 100—250 тыс.м²</p> <p>в) средние, площадью 10—100 тыс.м²</p> <p>г) мелкие, площадью <10 тыс.м²</p> <p>2) Силлы, дайки и жилы, нередко с раздувами, разделяющиеся по размерам;</p> <p>а) средние, площадью 10—100 тыс.м² или длиной >1км, при мощности >10 м</p> <p>б) мелкие, площадью <10 тыс.м² или длиной <1 км, при мощности <10 м</p>	<p>1) Уникальные 500 млн. карат, в т.ч.:</p> <p>а) уникальные запасы руды при средних содержаниях</p> <p>б) крупные по запасам руды с уникальными и высокими содержаниями</p> <p>2) крупные от 150 до 500 млн.карат, в т. ч.: а) крупные запасы руды при средних содержаниях; б) средние запасы руды с уникальными и высокими содержаниями</p> <p>3) Средние от 50 до 150 млн.карат, в т.ч.: а) средние по запасам руды при средних содержаниях</p> <p>б) небольшие запасы с уникальными и высокими содержаниями</p> <p>4) мелкие 50 млн.карат, в т.ч.: а) небольшие запасы руд при средних содержаниях; б) с любыми запасами руды и непромышленными содержаниями, но с весьма крупными ювелирными кристаллами алмазов</p>	<p>Вне зависимости от формы тел и запасов руды выделяются:</p> <p>1) уникальной алмазоносности >3 карат/т</p> <p>2) высокоалмазоносные от 1 до 3 карат/т</p> <p>3) средней алмазоносности от 0,3 до 1 карат/т</p> <p>4) низкой алмазоносности < 0,3 карат/т, но с высоким выходом крупных ювелирных алмазов</p> <p style="text-align: center;">то же</p>	<p>Вне зависимости от форм и запасов руды содержат алмазы всех классов крупности</p> <p style="text-align: center;">то же</p>	<p>Вне зависимости от форм и запасов руды выделяются:</p> <p>1) с уникальным выходом 50%</p> <p>2) с высоким выходом 30—50%;</p> <p>3) средним выходом 15—30 %</p> <p>4) с низким выходом 5—15%</p> <p style="text-align: center;">то же</p>
<p>Лампроитовый</p> <p>Трубки Аргайл,</p>	то же	то же	<p>1) Уникальноалмазоносные >5 карат/т</p> <p>2) Высокоалмазоносные</p>	то же	<p>1) С высоким выходом >15%</p> <p>2) Средним выходом</p>

Прейри-Крик			2—5 карат/т; 3) Среднеалмазоносные 1—2 карат/т; 4) Низкоалмазоносные <1 карат/т		5—15% 3) С низким выходом < 5%
Кимберлит-лампроитовый Трубки им. Карпинского-1, Карпинского-2	Аналогично кимберлитовому				
Метаморфогенный Кумды-Коль	Линейно вытянутые зоны алмазоносных пород протяженностью до первых км, мощностью десятки сотни метров	Уникальные >1000 млн. карат	1) Уникальноалмазоносные >100 карат/т 2) Высокоалмазоносные 10—100 карат/т	Весьма мелкие 10—100 микрон	Только технические сорта алмазов
Импактный (взрывной) Попигайское м-е	Кольцевые структуры от первых км до 100 км в диаметре	Уникальные >1000 млн. карат	Высоко- и среднеалмазоносные 10—50 карат/т	Мелкие и весьма мелкие от 10 до 300 микрон	Только технические сорта алмазов
II. Россыпные месторождения					
Аллювийный Россыпь р. Молодо	Линейно-вытянутые лентовидные залежи протяженностью от первых десятков км, шириной первые десятки-сотни метров, мощностью 0,5—3 м	1) Уникальные >20 млн. карат 2) крупные 5—20 млн. карат 3) средние 1—5 млн. карат 4) мелкие <1 млн. карат	1) уникальноалмазоносные >3 карат/м ³ ; 2) высокоалмазоносные 1—3 карат/м ³ 3) среднеалмазоносные 0,3—1 карат/м ³ 4) низкоалмазоносные <0,3 карат/м ³	Ранжируются по доминирующему классу крупности: 1) –8+4 мм (крупные) 2) –4+2 мм (средние) 3) –2 мм (мелкие) 4) технические очень мелкие	1) с уникальным выходом >60% 2) с высоким выходом 30—60% 3) средним выходом 15—30% 4) с низким выходом <15%
Делювильно-пролювиальный Россыпи вблизи коренных м-ний Якутии	Вытянутые и субизометричные «линзовидные» и плащеобразные залежи площадью в несколько км ² , мощностью от 1—5 до 10—30 м	Преимущественно средние и мелкие от 1 до 5 млн. карат	От уникально алмазоносных до низкоалмазоносных, в зависимости от количества алмазов в коренном источнике	1) Всех классов из кимберлитовых источников 2) только очень мелкие технические сорта алмазов из метаморфогенных и импактных коренных	1) Преобладают с низким и средним выходом 15—30% 2) Ювелирные алмазы отсутствуют
Прибрежно-морской Россыпи Нами-	Линейно-вытянутые лентовидные залежи, протяженностью от первых десятков километров, шири-	Преимущественно средние и мелкие	Преимущественно низкой, реже средней алмазоносности	Преобладают алмазы среднего и крупного классов (–8+2 мм)	Преобладают с высоким и весьма высоким выходом (30—60%)

бии	ной первые десятки-сотни метров мощностью 0,2—2 м				
Карстовый Россыпи Эбеляхского р-на	Карстовые воронки и эрозионно-карстовые полости различной величины	От уникальных до мелких	От уникально-алмазоносных до низкоалмазоносных	Всех классов крупности из кимберлитовых и (или) лампроитовых источников	Преобладают с низким и средним выходом (15—30%)
Депрессионный	Линейно-вытянутые, линзовидные и плащеобразные залежи площадью до нескольких км ²	Средние, реже мелкие	Преимущественно низкой и средней алмазоносности	1) Преобладают алмазы среднего и крупного классов (-8+2 мм) из кимберлитовых источников 2) только очень мелкие технические сорта алмазов из метаморфогенных и импактных коренных месторождений	1) Преобладают с низким и средним выходом (5—30%) 2) Ювелирные алмазы отсутствуют

2. Экономическая модель алмазного рудника [1].

Показатели	Содержание алмазов в руде, кар/т			
	100	125	150	150
Стоимость 1 кар, дол. США	80	100	100	120
Годовая добыча, млн.кар	5,0	6,25	7,5	7,5
Суммарная выручка, млн. дол. США	400	625	750	900
Себестоимость, млн. дол. США	100	100	100	100
Суммарный доход, млн. дол. США	300	525	650	800
Прибыль, млн. дол. США	120	210	260	320

Примечание. Принимаемые ограничения: годовая производительность рудника – 5 млн. т руды; себестоимость переработки 1 т руды – 20 дол. США; норма прибыли – 40% от суммарного дохода.

3. Основные критерии геоструктурного, морфоструктурного контроля размещения россыпей

Фактор	Критерии и объекты прогноза	
	региональные	локальные
Геоструктурный	Зоны, области сочленения крупных (I-II порядка) положительных и отрицательных платформенных структур: антеклиз и синеклиз, прогибов, антиклинориев и синклинориев, крупные сводовые, валообразные поднятия, антиклинали и их склоны. Россыпные зоны, области, районы.	Участки сочленения положительных и отрицательных структур, средние и мелкие сводовые, валообразные поднятия, антиклинали и их склоны. Россыпные поля, группы россыпей и отдельные россыпи.
	Зоны разломов, интенсивной трещиноватости на поднятиях, склонах и их пересечения, контролирующее размещение мезо-кайнозойских карстово-эрозионных долинных и воронкообразных депрессий и создающие неровности плотика россыпей - ловушки алмазов.	
Морфоструктурный	Зоны, области сочленения крупных положительных и отрицательных морфоструктур: возвышенностей, плато, кряжей, гряд с равнинами, низменностями и морские побережья. Россыпные зоны, области, районы.	Участки склонов умеренных возвышенностей разного порядка, эрозионные, карстово-эрозионные долины, в том числе сухих рек, мелкие депрессии, воронки и морские, озерные пляжи. Россыпные поля, группы и отдельные россыпи.
	Расположение питающих первичных и (или) промежуточных источников алмаза на возвышенностях рельефа (палеорельефа) в областях размыва.	

4. Морфология и размеры россыпей

Генетический тип россыпей	Морфологический тип, подтип	Форма залежей; вытянутость l : b , от—до	длина россыпи, l , км, от—до	Ширина россыпи		Мощность песков		Примеры
				от—до средняя, м	коэфф. вариации, %	от — до средняя, м	коэфф. вариации, %	
Кайнозойские россыпи								
Элювиальные, элювиально-делювиальные	Водораздельные, склоновые: 1) на рудных телах; 2) на промежуточных коллекторах	Овальная, неправильная, плащевидная; 1—5	В границах рудного тела или промежуточного коллектора			$\frac{2-10}{3-4}$ до 30*		Мир, Удачная, им. XIII съезда, Ботуобинская, Нюрбинская и др.
Делювиальные, делювиально-солифлюкционные	Склоновые возле рудных тел	Плащевидная, шлейфовидная, неправильная; 2—4	0,1—1,0	$\frac{50-500}{200}$	20—45	$\frac{1-5}{2-3}$		Законтурные россыпи трубок Мир, Удачная и др.
Делювиально-пролювиальные, пролювиальные, делювиально-аллювиальные	Ложковые, конусов выноса	Линзовидная, шлейфовидная; 5—10	1,0—3,0	$\frac{40-400}{250}$	25—45	$\frac{1,5-4}{3}$	40—55	Лог Хабардина, руч. Ильменитовый, Пироповый и др.
	Карстовых долин	Лентовидная, четковидная; 10—30	2—3,5	$\frac{10-600}{70-200}$	55—80	$\frac{4-15}{5-10}$	50—52	Верх. Биллях, Рассольнинская депрессия
Аллювиальные 1) мелких речек, ручьев	Долинные и террасовые**	Лентовидная, линзовидная; 40—60	3—10	$\frac{40-150}{100}$	40—55	$\frac{1,5-2,5}{2,0}$	40—60	Рч. Гусиный, Ырас-Юрэх, 53, Чурочная, Рассольная и др.
2) средних и крупных рек	Русловые	Лентовидная, линзовидная, четковидная; 100—200	10—20 до 40	$\frac{40-140}{80}$	40—75	$\frac{1,0-2,5}{1,5-2}$	50—75	Молодо, Верхнее Молодо, Моторчуна, Мал. Ботуобия и др.

	Долинные	Лентовидная, линзовидная; 100—400	10—100	$\frac{50—500}{50—200}$	20—65	$\frac{1,5—4,0}{2—3}$	30—60	Ирелях, Эбелях, Маят, Большой Колчим и др.
	Террасовые	Лентовидная, линзовидная, пластовая неправильная; 3—15	1—5	$\frac{150—700}{300—400}$	30—50	$\frac{2—6}{3—4}$	40—65	Горное, Спутник-1, террасы рек Эбелях, Большой Колчим, Чурочная
2. Древние россыпи								
Пролувиальные, делювиально-пролувиальные	Ложковые, конусов выноса	Линзовидная, шлейфовидная; 2—6	0,5—5,0	$\frac{100—900}{500}$	20—40	$\frac{1—4}{2}$	40—90	Восточная, Геофизическая, Солур
	Карстовых воронок	Линзовидная, гнездовидная, пластовая; 1—3	0,1—0,5 до 2,0	$\frac{50—500}{200—300}$		$\frac{0,5—15}{10}$		Эбеляхское поле, Урал. Мел, неоген
Пролувиально-озерные, озерные	Конусов выноса, пляжевые	Шлейфовидная, линзовидная; 2—5	1—3	$\frac{150—1200}{700}$	40—60	$\frac{2—4}{3}$	55—5	Водораздельные галечники, Новинка, Дачный
Прибрежно-морские, морские***	Пляжевые, шельфовые, подводных дельт	Лентовидная, линзовидная, веерообразная	Общая — сотни километров, залежи 0,5—8	Сотни метров		0,5—2,0		Приленский район, Булкур, Дью-кунах, Ичет-Ю

Примечания: * — большие мощности песков элювиальных россыпей в корах химического выветривания; ** — террасовые россыпи мелких речек, ручьев только в долинах древнего заложения; *** — характеристика прибрежно-морских учитывает зарубежные россыпи

5. Палеогеографические, гидродинамические и литологофациальные условия, благоприятные для формирования россыпей

Факторы	Критерии прогноза	
	региональные	локальные
Палеогеографические	Теплый влажный климат наиболее благоприятный для химического выветривания питающих источников, высвобождения алмазов и образования россыпей, теплый полусухой — благоприятный, сухой и холодный — малоблагоприятные	
	Возвышенный палеорельеф областей размыва питающих источников, устойчивое положение границ размыва и аккумуляции, регрессивный тип алмазоносных терригенных осадков	Локальные палеодепрессии областей размыва питающих источников, участки устойчивого положения пляжа, подводные каньоны, устья, дельты рек, наличие котлов, ложбин
Гидродинамические	<p>Условия врезания речных долин на неотектонических поднятиях, высокая скорость водотока благоприятны для формирования россыпей с малой мощностью аллювия, но относительно повышенными содержанием и крупностью алмазов.</p> <p>Условия равновесия эрозии и аккумуляции на склонах поднятий с умеренной скоростью водотока благоприятны для формирования россыпей с нормальной мощностью аллювия, средним уровнем содержания, крупности алмазов.</p> <p>Благоприятные условия концентрации алмазов на участках озерных и морских пляжей между границами прилива и отлива в зоне прибоя, волнового движения вод</p>	
Литологофациальные:	Фация руслового аллювия наиболее благоприятна для концентрации алмазов вдоль стрежня водотока, где аккумулируется валунный, крупнообломочный галечник; на флангах водотока содержание и крупность алмазов обычно снижаются	
озерные	<p>Фации прибрежно-озерных пляжей и ложбин, представленные грубообломочными, крупно-, разнозернистыми осадками: галечниками или гравийными песками.</p> <p>Фация внутриозерных разнозернистых терригенных осадков в ложбинах стока вод менее алмазоносная; в мелкозернистых осадках конечного озерного водоема преобладают мелкие алмазы</p>	
морские	Фации морских пляжей, террас, подводных каньонов благоприятны для концентрации крупных ювелирных камней. Фация мелководного шельфа отличается меньшим содержанием, размером и большей сортировкой алмазов	Участки распространения на пляжах валунных галечников, желтоцветных глинистых галечников, содержащих продукты кор химического выветривания. Пласты галечных, гравийных песков на поверхности или в разрезе мелкозернистых отложений шельфа

6. Петрографические и минералогические прогнозные признаки россыпей

Факторы	Прогнозные признаки	
	региональные	локальные
Породы-индикаторы: первоисточников	—	Присутствие обломков (щебень, чаще дресва) кимберлитовых или лампроитовых пород на удалении до первых, редко — нескольких км.
промежуточных источников	Повышенная концентрация валунов и хорошо скатанной гальки экзотических пород, устойчивых к химическому выветриванию (кварцит, кварц, кварцевый песчаник, кремь и др.). Следы выветривания (кремнистые, лимонитовые корки, ожелезненные трещины, коррозия и др.) на поверхности гальки с удалением от источника уменьшаются до исчезновения, трещиноватая галька раскалывается.	
кор химического выветривания	Присутствие обломков сидерита, лимонита, остроугольных кремней, халцедонов, окремненных или кальцитизированных образований (силькрет или калькрет в россыпях Африки).	
Минералы-индикаторы: первоисточников	Находки сортированных алмазов, одиночных минералов кимберлитов, лампроитов: пироба или хромшпинелида, пикроильменита, циркона со следами износа и обычно мелких размеров.	Не сортированные или слабо сортированные алмазы, комплекс минералов: пироп, пикроильменит, хромшпинелид, хромдиопсид и другие хорошей сохранности и разной крупности.
промежуточных источников и гидродинамические спутники	Преимущественно кварцевый состав песчаной фракции алмазоносных отложений, повышенная концентрация в них тяжелых минералов, устойчивых к химическому выветриванию и (или) близких алмазу по удельному весу (пироп, альмандин, турмалин, кианит, ставролит, рутил, хромит и др.)	
кор химического выветривания	Присутствие в тяжелой фракции повышенных концентраций гематита, гетита, лимонита, сидерита, лейкоксена, а в глинистой фракции - каолина, монтмориллонита.	

7. Количественные концентрационные модели основных промышленных типов россыпей

Морфогенетический тип, подтип россыпей	Содержание алмазов, кар/м ³ от — до среднее	Количество алмазов, шт/м ³ от — до среднее	Коэф. вариации содер- жания, %	Ситовой состав и	
				β_i — доли (единицы)	
				d_i —масса (мг) по классам	
				-16+8 мм	-8+4 мм
1	2	3	4	5	6
Россыпи с мелкими и средними алмазами					
1. Элювиальный, делювиальный возле рудных тел	<u>0,4—4,0</u> 0,5—1,0	<u>20—100</u> 30—50	<u>50—150</u> 100	Аналогичный составу питающих источников	
2. Делювиально-пролюви- альный, пролювиально- аллювиальный: 1) ложковый; 2) карстовых депрессий	<u>0,4—1,2</u> 0,6 <u>0,8—2 до 10</u> 1,0	<u>15—30</u> 20 <u>10—30 до 100</u> 20	<u>95—125</u> 110 >100	Не обн. То же	<u>0,0—0,2</u> 200 <u>0,0—0,1</u> 250
3. Аллювиальный: 1) мелких речек, ручьев 2) средних и крупных рек: русловый долинный террасовый	<u>0,5—4,6</u> 1,0 <u>0,2—2,4</u> 0,5—1,0 <u>0,3—3,0</u> 0,5—1,0 <u>0,3—1,3</u> 0,7	<u>10—20</u> 15 <u>2—5 до 30</u> 5 <u>5—20</u> 10 <u>5—10</u> 7	<u>100—150</u> 120 <u>100—200°</u> 150 <u>100—70°</u> 130 <u>95—100</u> 100	Не обн. <u>0,00—0,10</u> 15000 <u>0,00—0,05</u> 800 <u>0,00—0,02</u> 900	<u>0,09—0,15</u> 270 <u>0,01—0,15</u> 300 <u>0,10—0,20</u> 260 <u>0,1—0,20</u> 260
4. Пролувиально-озерный, озерный: конусов выноса, пляжей	<u>0,4-1,0</u> 0,7	<u>5-30 до 50</u> 20-30	<u>90-200</u> 130	Не обн.	<u>0,02—0,20</u> 240
2. Россыпи с крупными алмазами					
5. Делювиально-пролю- виальных карстовых депрессий	<u>0,05—0,10</u> 0,08	<u>0,05—0,10</u> 0,08	<u>100—40°</u> 120	<u>0,00—0,09</u> 1000	<u>0,30—0,72</u> 250
6. Аллювиальный: 1) мелких речек, ручьев 2) средних рек: долинный террасовый	<u>0,05—0,15</u> 0,09 <u>0,03-0,20</u> 0,07 <u>0,06—0,20</u> 0,08	<u>0,05—0,14</u> 0,09 <u>0,03—0,30</u> 0,07 <u>0,03—0,35</u> 0,08	<u>100—120°</u> 110 <u>110—180</u> 130 <u>80—110</u> 100	<u>0,08—0,20</u> 900 <u>0,05—0,20</u> 900 <u>0,02—0,25</u> 1000	<u>0,7—0,8</u> 300 <u>0,6—0,8</u> 300 <u>0,6—0,8</u> 250
7. Прибрежно-морской, пляжей, дельт и шельфа	<u>0,05—1,0</u> 0,10	<u>0,05—0,20</u> 0,10	—	—	<u>0,6—0,8</u> 300

Окончание табл.

Морфоген. тип, подтип россыпей	Ситовой состав и средняя масса алмазов				Выход ювелирных камней, %	Размеры локальных неоднородностей (струй, линз)	
	β_i по классам крупности d_i			средняя масса: <u>взвешенная-$d_{\text{в}}$</u> арифмет.- $d_{\text{ар}}$, мг, от - до		длина, км	ширина, м
	-4+2 мм	-2+1 мм	-1+0,5 мм				
1	7	8	9	10	11	12	13
Россыпи с мелкими и средними алмазами							
1.	Аналогичный составу питающих источников			$\frac{12-40}{3-12}$	$\frac{10-35}{25}$	—	—
2.	$\frac{0,3-0,5}{40}$	$\frac{0,3-0,6}{8}$	$\frac{0,1-0,2}{1,3}$	$\frac{15-60}{5-15}$	$\frac{20-40}{30}$	0,5—1,5	30—200
	$\frac{0,1-0,5}{50}$	$\frac{0,4-0,7}{7-10}$	$\frac{0,1-0,2}{1,4}$	$\frac{10-50}{15}$	$\frac{3-20}{15}$	0,5—1,0	20—100
3.	$\frac{0,5-0,7}{55}$	$\frac{0,15-0,40}{10}$	$\frac{0,01-0,02}{1,6}$	$\frac{20-60}{10-20}$	$\frac{10-40}{30}$	0,5—3,0	20—150
	$\frac{0,3-0,6}{55}$	$\frac{0,2-0,5}{10}$	$\frac{0,01-0,10}{1,6}$	$\frac{40-80}{15-30}$	$\frac{20-80}{50}$	0,2—1,0	10—40
	$\frac{0,5-0,7}{50}$	$\frac{0,15-0,30}{9}$	$\frac{0,01-0,05}{1,4}$	$\frac{50-70}{15-30}$	$\frac{15-60}{40}$	0,4—1,6	20—120
	$\frac{0,5-0,6}{50}$	$\frac{0,15-0,25}{8-9}$	$\frac{0,01-0,05}{1,4}$	$\frac{50-70}{20-30}$	$\frac{20-60}{40}$	0,4—2,0	60—300
	$\frac{0,5-0,7}{30}$	$\frac{0,2-0,4}{6}$	$\frac{0,01-0,10}{1,1}$	$\frac{25-60}{8-20}$	$\frac{35-65}{50}$	0,3—2,0	60—400
2. Россыпи с крупными алмазами							
5.	$\frac{0,18-0,70}{60}$	$\frac{0,01-0,05}{12}$	—	$\frac{100-300}{60-150}$	$\frac{50-70}{60}$	0,1—0,4	20—40 до 150
6.	$\frac{0,09-0,20}{70}$	$\frac{0,001-0,015}{11}$	—	$\frac{200-380}{80-200}$	$\frac{50-70}{60}$	0,2—0,6	20—60
	$\frac{0,09-0,30}{70}$	$\frac{0,001-0,020}{11}$	—	$\frac{200-310}{70-200}$	$\frac{50-90}{75}$	0,3—1,6	20—80
	$\frac{0,10-0,35}{70}$	$\frac{0,005-0,050}{12}$	—	$\frac{150-350}{70-200}$	$\frac{50-70}{60}$	0,2—1,2	40—200
7.	$\frac{0,20-0,40}{60-70}$	$\frac{0,005-0,010}{12}$	—	$\frac{150-310}{80-200}$	$\frac{50-95}{80}$	сотни м —первые км	десятки— сотни м

8. Группировка основных промышленных типов россыпей алмазов для целей прогноза, поисков и количественной оценки прогнозных ресурсов алмазов

Основные факторы, влияющие на прогноз, поиски и оценку	Группы россыпей по факторам				
	1	2	3	4	5
1. Тип питающего источника	Коренной первоисточник	Промежуточный источник	Смешанный коренной и промежуточный источник		
2. Удаленность питающего источника	ближнего сноса (переотложения), около 20 км и менее	умеренного сноса (переотложения), десятки километров	дальнего сноса и переотложения, сотни километров и более		
3. Геолого-структурная, морфоструктурная позиция	на тектонических поднятиях, вершинах возвышенностей	на склонах тектонических поднятий, возвышенностей, плато	на сочленении тектонических поднятий и впадин, подошвах возвышенностей	внутри тектонических впадин и прогибов, депрессий, на низменностях	
4. Длина россыпей (l) или площадь (S) слабо вытянутых залежей	очень крупные, длиной около 100 км и более	крупные, длиной несколько десятков км или площадью более 5 км ²	средние, длиной от нескольких до 20 км, или площадью 1—5 км	мелкие, длиной 1—5 км, или площадью 0,2—1 км ²	очень мелкие, $l < 1$ км, или $S < 0,2$ км ²
5. Ширина россыпи	очень широкие, около 300 м и более	широкие, 100—200 м	средней ширины, 50—100 м	узкие, средняя ширина менее 50 м	
6. Мощность песков	очень большой мощности, десятки метров	большой мощности, около 5—10 м	средней мощности, около 2—4 м	малой мощности, около 1—2 м	очень малой мощности, менее 1 м
7. Изменчивость, коэф. вариации (K_v) ширины и мощности	относительно выдержанные, K_v 20—50%	невыдержанные с постепенной изменчивостью, K_v 50—70%	невыдержанные с резкой изменчивостью, K_v 50—80%	весьма невыдержанные с резкой изменчивостью, $K_v > 80\%$	

8. Тип концентрации алмазов в россыпи	струйчатый; струи выдержанные большой и средней протяженности и ширины	линзовидно-струйчатый; струи невыдержанные, прерывистые средние и узкие по ширине	линзовидный (струйчато-линзовидный); преобладают линзы — короткие струи	гнездово-линзовидный; преобладают мелкие линзы и гнезда	
9. Длина однородных участков россыпи	крупные участки, длиной 10—20 км и более; l 4,8—9,6 км*	участки средней длины, 5—10 км; l 2,4—4,8 км*	мелкие участки, длиной 3—5 км; l 1,2—2,4 ⁽¹⁾		
10. Локальные неоднородности, размеры струй, линз, гнезд: длина (l)	крупные струи, 1,6-3,2 км, редко более; l 0,8—1,6 км**	средние струи, 0,8—1,6 км; l 0,4—0,8 км**	короткие струи, линзы, 0,4—0,8 км; l 0,4 км**	мелкие линзы и гнезда, 0,4—0,1 км и менее	
ширина	широкие, около 100 м и более; l 20—40м***	средние по ширине, 40—80 м; l 10.20м***	узкие струи и линзы, 20—40 м; l 10м***, траншеи	очень узкие линзы и гнезда, менее 20 м; траншеи	
11. Содержание алмазов, кар/м ³	весьма высокое, более 3,0	высокое, 1,0—3,0	среднего уровня (умеренное), 0,3—1,0	низкое, 0,1—0,3	весьма низкое, <0,1
12. Количественное содержание алмазов, шт./м ³	весьма высокое, более 50	высокое, 10—50	среднего уровня (умеренное), 2—10	низкое, 0,5—2,0	весьма низкое, <0,5
13. Крупность, доминирующие размеры алмазов и оценки средней (d), средневзвешенной (d_g) их массы	весьма крупные алмазы, -8+4, -4+2 мм (или -16+8 мм) и d более 70, d_g более 150	крупные алмазы, -4+2, -8+4мм d 30-70, d_g 70-150	алмазы средней крупности, -4+2, -2+1 мм и d 15—30, d_g 30—70	мелкие алмазы, -2+1, -1+0,5 мм и d менее 15, d_g менее 30	
14. Изменчивость, коэф. вариации (K_v) содержания алмазов по рядовым пробам	умеренно неравномерное распределение, K_v 50-70%	неравномерное распределение, K_v 70—100%	весьма неравномерное распределение, K_v 100—150%	крайне неравномерное распределение, K_v более 150%	
15. Доля ювелирных алмазов	весьма высокая, более 60%	высокая, 30—60%	средняя, 15—30%	низкая, 15—5%	весьма низкая, менее 5%

16. Запасы алмазов	крупные, более 5 млн. карат	средние, 5—0,1 млн. карат	мелкие, менее 0,1 млн. карат		
17. Гидродинамика водотоков, скорость течения при переносе алмазов	весьма быстрых водотоков; вынос алмазов к конечным водоемам, аккумуляция весьма крупных камней	быстрых водотоков; аккумуляция преимущественно алмазов крупных и средних размеров	умеренных водотоков (V 1—2 м/сек); аккумуляция алмазов разной крупности	медленных водотоков (V 1 м/сек и менее); аккумуляция преимущественно мелких и средних алмазов	
18. Гранулометрический состав продуктивных отложений	с сильновалунными (более 10%) галечниками (конгломератами)	со слабовалунными (менее 10%) галечниками (конгломератами)	в гравийных, разнозернистых песках (гравелитах, песчаниках)	в мелкозернистых песках (песчаниках)	
19. Выход (содержание) аллотигенных минералов тяжелой фракции — первичные и вторичные минералы-спутники алмазов	с относительно высоким содержанием; повышенные концентрации алмазов, тяжелой фракции	с умеренным содержанием; умеренные концентрации алмазов, тяжелой фракции	с относительно низким содержанием; низкие концентрации алмазов, тяжелой фракции		
20. Содержание и состав глинистого материала продуктивных отложений; промывистость песков	с высоким содержанием, каолиновыми глинами; глинистые пески слабой и трудной промывистости	со средним содержанием, чаще карбонатными глинами; слабо глинистые пески средней промывистости	с низким содержанием глины; хорошо промытые слабо связанные пески	глин практически нет, пески отлично промытые (сыпучие)	

Примечание. Рекомендуемые расстояния (l): между линиями, * — при поисках, ** — при оценке россыпей, *** — между выработками по линиям.