

Б. И. ПРОКОПЧУК

АЛМАЗНЫЕ РОССЫПИ
И МЕТОДИКА
ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И ПОИСКОВ



Б. И. ПРОКОПЧУК

АЛМАЗНЫЕ РОССЫПИ
И МЕТОДИКА
ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И ПОИСКОВ

2906



МОСКВА «НЕДРА» 1979



Прокопчук Б. И. Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. М., Недра, 1979. 248 с.

Обобщен материал по алмазонасытым провинциям мира и опыт изучения и поисков алмазных россыпей в СССР.

Книга состоит из пяти разделов. В первом разделе приводятся фактический материал о россыпях алмазов мира, рассматриваются условия формирования и закономерности размещения россыпей различных генетических типов и предлагается новая промышленно-генетическая классификация алмазных россыпей. Во втором разделе подробно разбираются факторы, контролирующие формирование и размещение россыпных месторождений алмазов (тип первоисточника, климатический, структурно-тектонический, геоморфологический, литолого-фациальный, гидродинамический). В третьем разделе рассматриваются вертикальная и латеральная зональности в их размещении. Далее (четвертый раздел) излагаются основные принципы и методы прогнозирования алмазных россыпных месторождений и методы поисковых работ (пятый раздел).

Книга рассчитана на специалистов геологов и геоморфологов, ведущих поисковые и геологосъемочные работы, а также на студентов вузов.

Табл. 23, ил. 58, список лит. — 206 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На основании анализа материалов по известным алмазоносным древним платформам выявлены основные закономерности формирования и размещения алмазных россыпей различных генетических типов и определена их промышленная ценность.

Специфика алмазов как полезного ископаемого, характеризующегося очень большой механической прочностью, позволяет решать ряд общетеоретических вопросов россыпеобразования и в первую очередь раскрыть историю формирования россыпей на протяжении длительного времени. Этого нельзя сделать при изучении россыпей других полезных ископаемых, ценные компоненты которых в процессе неоднократного переотложения и метаморфизма исчезают вообще. Для алмазов можно легко установить закономерности формирования россыпей ближнего и дальнего сноса, выявить четкую вертикальную и латеральную зональность в размещении россыпей различных генетических типов, уточнить ряд закономерностей распределения алмазов в разрезе и плане россыпей, провести оценку практической значимости россыпей каждого генетического типа, определить роль карста при формировании алмазных россыпей, выявить особенности их образования в условиях арктического климата и многолетней мерзлоты, а также многие другие вопросы. Разработана промышленно-генетическая классификация алмазных россыпей. Имеется большое количество зарубежных и отечественных публикаций, в которых рассматриваются строение россыпей и условия их формирования, дается промышленная оценка разных типов месторождений. Однако сводных работ, в которых анализировались бы региональные и локальные закономерности образования и размещения алмазных россыпей, немного. В зарубежных публикациях основное внимание уделяется экономической оценке россыпных месторождений, а геология россыпей освещается недостаточно полно. Нередко, в связи с тем что одно и то же в генетическом отношении месторождение разделено между частными предпринимателями, описание различных площадей его неодинаково, часто искажающее общее представление о месторождении. Сводных работ по россыпям платформенных областей до сих пор нет. Из обобщающих работ по россыпной алмазности можно назвать работы Н. П. Вербицкой и М. И. Плотниковой (1971), И. С. Рожкова и др. (1963, 1967 г.), В. В. Жукова и др. (1968), Б. Н. Леонова и др. (1966), О. Штуцера (Stutzer, 1935), М. Г. Барде (Bardet, 1973). Большой вклад в решение проблемы россыпной алмазности внесли А. Г. Дьяков, Г. Х. Файнштейн, М. А. Крутойярский, З. В. Осипова, Е. Д. Черный, И. Н. Иванов, М. И. Плотникова, Г. П. Михалев, М. М. Одинцова, О. Г. Салтыков, В. Н. Щукин, В. А. Ветчанинов и другие геологи.

В данной книге мы попытались на основании обобщения материала по россыпям всех древних платформ и личных наблюдений выявить типоморфные признаки алмазных россыпей различных генетических типов, выявить общие и частные закономерности формирования и размещения россыпей, факторы, контролирующие их образование, сформулировать критерии их прогноза и поисков и обобщить методы поисков россыпей алмазов.

Автор обязан многим лицам за помощь и полезную критику как во время написания этой работы, так и во время сбора материала. Большую благодарность и признательность автор выражает геологам Всесоюзного аэрогеологического треста Б. Н. Леонову, М. В. Сусову, Р. О. Галабале, Л. М. Натапову; Амакинской и Ботубинской экспедиций И. Я. Богатых, В. М. Гаращук, А. А. Горбунову, И. Н. Иванову, В. Ф. Кривоносу, А. А. Понкратову, О. Н. Петрову, В. А. Побережскому, А. А. Потурову, И. К. Сарычеву, А. Д. Харькиву, Е. Д. Черному, В. Н. Щукину, которые оказали помощь при проведении полевых работ и сборе материала, а также М. П. Метелкиной, М. И. Плотниковой, В. В. Жукову, З. В. Осиповой, И. Л. Шофман, Е. В. Францессон, А. А. Константиновскому, Г. Х. Файнштейну, В. В. Ковальскому за неоднократные консультации при обсуждении разрабатываемых вопросов.

Раздел I

ТИПЫ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

В этом разделе приводятся данные об особенностях алмазов из россыпных месторождений, приведен обзор россыпной алмазности древних платформ земного шара, детально описываются типы россыпей и предлагается генетико-промышленная классификация россыпных месторождений алмаза.

АЛМАЗЫ В РОССЫПЯХ

Алмазы в россыпях встречаются в виде отдельных кристаллов, их сростков и обломков, иногда образуют кристаллические агрегаты (рис. 1). Форма кристаллов октаэдрическая, ромбододекаэдрическая, реже кубическая, очень редко тетраэдрическая. Кроме плоскогранных кристаллов широко распространены и кривогранные: додекаэдриды, октаэдриды, кубонды и тетраэдриды. Среди полых кристаллических образований выделяются три разновидности: борт, баллас, карбонадо. К борту относятся неправильной формы сростки мелких кристалликов и плохо ограненных зерен алмаза преимущественно темной окраски. Строение борта часто неравномернозернистое, внутри зернистой массы наблюдаются более крупные зерна и даже целые кристаллы алмаза (Орлов, 1963, 1973). Балласы — шаровидной формы сферолиты радиально-лучистого строения, бесцветные, серые и черные. Иногда их окраска молочно-белая и светло-серая опаловидная; они напоминают градины. К карбонадо относятся тонкозернистые плотные и скрытокристаллические агрегаты алмаза, образующие эмалевидные и пористые угловатые серые, буроватые и черные непрозрачные обломки с блестящей поверхностью. Наружная поверхность карбонадо всегда более темная, чем внутренняя.

Алмаз характеризуется самой высокой из всех известных природных минералов твердостью (10 по шкале Мооса). Поэтому на протяжении длительной истории формирования россыпей алмаз сохраняет свою массу и форму, а месторождения алмазов могут быть далеко удалены от коренных источников. Плотность алмаза 3,486—3,520 г/см³. Незначительной плотностью объясняется тот факт, что алмазы далеко переносятся от коренных источников, и месторождения образуются только в тех случаях, когда привнос алмазов преобладает над их выносом.

Масса кристаллов алмаза в россыпях различна — от сотых долей до нескольких каратов и даже до тысячи каратов. Чаще всего

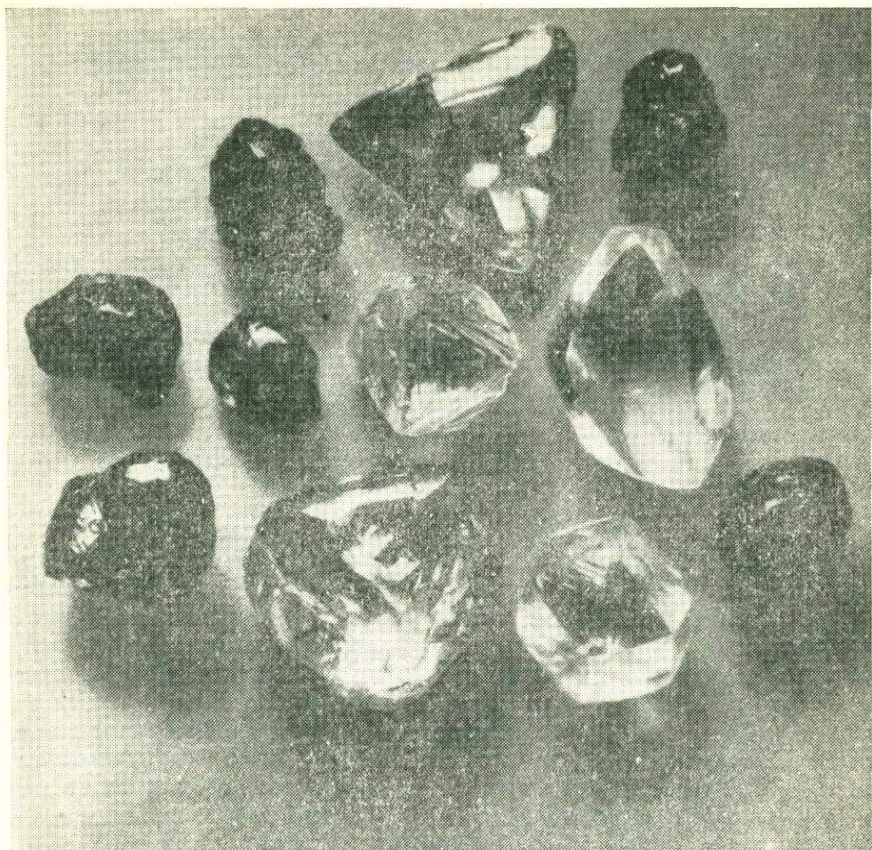


Рис. 1. Алмазы из россыпных месторождений

встречаются мелкие кристаллы массой 0,1—0,4 карата, реже в 1 карат и больше и совсем редко — массой более 10 каратов.

Гранулометрический состав алмазов в россыпях разных районов различный и зависит от размеров алмазов в коренных источниках и от условий сортировки алмазов в экзогенных условиях. Автором проведен анализ материала по россыпям с установленным и с не установленным коренным источником. В результате можно сделать следующие выводы. Гранулометрические составы алмазов из россыпей ближнего сноса, привязанных к конкретным коренным источникам, и алмазов из этих источников близки между собой. В зависимости от генетических типов россыпных месторождений отмечаются лишь некоторые различия. Так, гранулометрический состав алмазов из элювиальных россыпей аналогичен гранулометрическому составу алмазов коренных источников. В делювиальных и пролювиальных россыпях средняя масса не-

сколько увеличивается за счет выноса алмазов самых мелких классов. В аллювиальных россыпях средняя масса алмазов незначительно (не более 10—20%) увеличивается.

В россыпях дальнего сноса средняя масса алмазов всегда выше, чем в россыпях ближнего сноса и в коренных источниках. Это связано с дифференциацией материала по размерам и массе, а также с выносом мелких кристаллов. Наиболее представительные материалы собраны по гранулометрическому составу алмазов из аллювиальных россыпей. Благодаря этому возможно выявить некоторые закономерности изменения средней массы кристаллов в зависимости от расстояния от кимберлитовых тел, установить степень их сортировки. Типичная кривая изменения средней массы алмазов приведена на рис. 2. На 20—40-километровом участке реки, примыкающем к кимберлитовой трубке, средняя масса кристаллов постепенно увеличивается. Максимум средней массы отмечен в конце участка, а величина кристаллов зависит от кристаллов в кимберлитах, размеров водного потока, его кинетической энергии. Далее средняя масса постепенно уменьшается. Для россыпей Южной Африки градиент падения измеряется 5—8 мг на 100 км. Некоторые аномальные участки с повышенной средней массой алмазов отмечаются на участках с аномальным гидродинамическим режимом. Так, в зоне развития крупных порогов, «исполиновых котлов», каньонов и теснин средняя масса алмазов увеличивается, а далее характер изменения кривой сохраняется.

На рис. 2 построена обобщенная кривая распределения алмазов по массе из коренных и россыпных месторождений, образовавшихся в результате размыва. Кривые подобны, поэтому можно сделать следующий вывод: уже само коренное месторождение определяет величину кристаллов алмазов в аллювиальных россыпях.

Анализируя особенности алмазов из разновозрастных россыпных месторождений, можно установить некоторое их различие. Наиболее ярко отличаются между собой алмазы из докембрийских и фанерозойских месторождений.

Для алмазов из докембрийских россыпей характерно преобладание округлых кристаллов ромбододекаэдрического и октаэдрического габитусов и повышенное содержание кубоидов. Плоско-

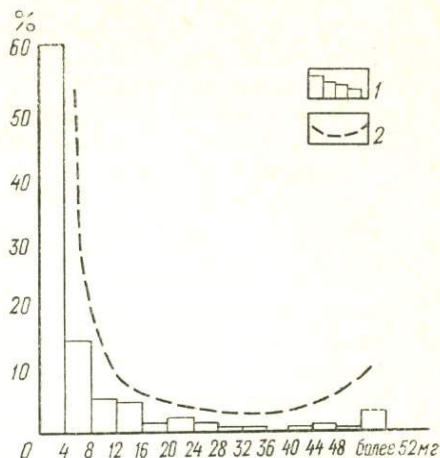


Рис. 2. Типичная кривая распределения алмазов из кимберлитовой трубки по массе и алмазов из аллювиальной россыпи, образовавшейся за счет ее размыва.

1 — гистограммы содержания алмазов в кимберлитовой трубке; 2 — кривая изменения средней массы алмазов из россыпи

гранные формы, обычные для коренных месторождений палеозоя и мезозоя, отсутствуют или составляют незначительное количество. Повышенное содержание кубоидов и преобладание округлых форм среди докембрийских алмазов, в отличие от фанерозойских, для которых свойственны плоскогранные кристаллы октаэдрического габитуса, очевидно, свидетельствуют о своеобразных термодинамических условиях докембрия, обусловивших зарождение и рост алмазов при пониженных температурах, и сверхвысоком давлении, а на завершающих этапах кристаллизации — о постепенном плавном падении этих параметров на протяжении длительного времени.

Все находки своеобразных поликристаллических форм алмазов — карбонадо и балласов — приурочены к месторождениям докембрийского возраста (Францессон, Каминский, 1974₁). Зернистая разновидность алмаза — карбонадо — является пористым микро- и скрытокристаллическим агрегатом, состоящим из зерен и кристаллов октаэдрического габитуса размером от 0,5 до 50 мкм. Карбонадо образует крупные желваки или встречается в виде кусков или обломков величиной от горошины до камней в 700—800 каратов. Средняя масса карбонадо в Бразилии составляет 30—40 каратов (Францессон, Каминский, 1974₁). Карбонадо распространены более локально. Из 40 млн. каратов алмазов, добываемых ежегодно (без СССР), лишь 30 тыс. каратов составляют карбонадо. Главная область распространения карбонадо — Бразилия, где их доля в общей добыче составляет 10—70% по отдельным месторождениям докембрийского возраста. Карбонадо встречены в Венесуэле, Гане, Австралии. Карбонадо не были найдены ни в одной кимберлитовой трубке фанерозоя и в россыпях, сформировавшихся в результате их размыва. Скрыто- и микрозернистое строение, узколокальная встречаемость (только в докембрийских алмазоносных провинциях), отсутствие карбонадо в кимберлитовых телах, а также состав минеральных включений — все это свидетельствует о некимберлитовом происхождении этой разновидности алмаза. Своеобразная структура, специфический изотопный состав и состав минералов-включений, по мнению Е. В. Францессон и Ф. В. Каминского, дают основание предполагать, что карбонадо образовались в коре в процессе прогрессивного регионального метаморфизма в докембрийское время.

На древних докембрийских алмазах отмечены пятна пигментации. Зеленая пигментация наблюдается на поверхности граней всех разновидностей кристаллов алмаза, а также его поликристаллических образований (борта, карбонадо и балласа) и сохраняется при обработке любыми кислотами. Интенсивность окраски не одинаковая. Обычно форма пятна округлая или неправильная, но иногда, сливаясь, они образуют большие, сложного рисунка пятна или представляют собой размытый тон, образовавшийся вокруг интенсивно окрашенного (почти черного) центрального участка. Кроме зеленых, на алмазах нередко наблюдаются бурые и темно-коричневые пятна. Характер окраски эпигенетический. Экс-

периментально доказано, что зеленая пигментация вызвана облучением алмаза в течение длительного времени при температурах ниже 500°C , а бурая — воздействием на алмаз процессов метаморфизма при повышенных температурах (Орлов, 1973). На всех древних платформах, к которым приурочены древние алмазы, процессы регионального метаморфизма, при которых возможно повышение температуры, происходили в основном до позднего протерозоя. В это время алмазы могли подвергаться воздействию процессов метаморфизма в коренных породах и в древних россыпях.

Во многих кристаллах алмаза из древних докембрийских россыпей наблюдаются углубления неправильной округлой формы в виде каверн или оспин. Часто в них присутствуют остатки вторичного кварца (в алмазах из фанерозойских месторождений они никогда не встречаются). Каверны на алмазах образуются, очевидно, в результате интенсивного травления каким-то силикатным расплавом в процессе гранитизации пород, вмещающих алмазы. Об этом свидетельствуют алмазы, инкрустированные кварцем, покрытые кварцевыми корочками или пронизанные кварцевыми трещинками. Такие «окарцованные» алмазы известны в докембрийских россыпях Бразилии, Ганы и Австралии.

Среди древних докембрийских алмазов встречается большое количество коричневых и бурых алмазов, окраска которых обусловлена проникновением по трещинам гидроокислов железа, а также заполнением охристо-глинистыми массами отрицательных скульптур поверхности кристаллов. В некоторых докембрийских россыпях Ганы встречаются алмазы в гематитовой рубашке, а основная масса алмазов Гайаны покрыта коричнево-бурой пленкой, состоящей из гидроокислов железа и марганца. Коричнево-бурая окраска алмазов этого типа, а также присутствие корочек и пленок свидетельствуют о длительном пребывании алмазов в экзогенных условиях.

Вопрос о механическом износе алмазов в россыпях имеет большое значение для восстановления условий формирования россыпей, дальности их переноса и определения местоположения первоисточников. Ряд исследователей (Гневушев, Бартошинский, 1959; Гневушев, Шеманина, 1970; Дьяков, Бартошинский, 1961), изучая поведение алмазов при речном переносе на примере аллювиальных россыпей Урала и Западной Якутии, установили, что при транспортировке в русловом потоке алмазы фактически не окатываются и не истираются. Наиболее часто встречающиеся следы механического повреждения — свежие с блестящей поверхностью и острыми краями сколы от вершин и ребер, а также на гранях кристаллов, вплоть до образования остроугольных обломков, со всех сторон ограниченных сколами. В редких случаях острые и тонкие края таких поврежденных кристаллов бывают лишь слегка обломаны и выкрошены. Таким образом, окатывание не характерно для аллювиальных алмазов, а степень износа при речном переносе может быть охарактеризована лишь соотношением целых и

расколотых кристаллов, так как с увеличением дальности транспортировки алмазов русловым потоком растет только количество осколков. Однако необходимо помнить, что количество расколотых алмазов в самих кимберлитовых трубках не одинаково, что затрудняет определение дальности переноса по этому критерию.

Н. П. Кленовицким и Т. Г. Нестеровой в барабанах типа шаровой мельницы (в воздушной среде) были воспроизведены условия переноса ромбододекаэдрических кристаллов алмаза, происходящего в прибрежно-морской зоне. Результатами опыта доказано, что только после 620—817 тыс. ударов на алмазах возникают следы механического износа в виде серповидных трещин и ромбического узора на гранях, выколов на ребрах и вершинах и даже раскалывания кристаллов, у которых были внутренние трещины.

А. А. Кухаренко (1955), характеризуя особенности окатывания кристаллов и осколков алмаза, отмечал, что в начальной стадии истирания ребра кристаллов приобретают зазубренные очертания, в результате появления мельчайших трещинок и выбоин, развивающихся параллельно направлениям спайности алмаза. Кроме того, края осколков закругляются, а поверхности сколов становятся матовыми, с мельчайшими фигурами удара. При более интенсивном износе грани кристаллов покрываются бесчисленными трещинками и выколами, сливающимися в общую шероховатую поверхность, и утрачивают блеск. На этой стадии окатывания ребра алмазов совершенно стираются, но общий облик кристаллов еще сохраняется. При максимальном износе, возможном только в прибрежно-морских условиях (за редким исключением в «котлах» порожистых рек), алмазы теряют правильную геометрическую форму и приобретают вид шаровидных или эллипсоидальных зерен с тонкой матированной или шлифованной поверхностью.

Изучение алмазов из прибрежно-морских россыпей показало, что степень механического износа кристаллов зависит от таких факторов, как длительность пребывания в зоне прибоя, особенности береговых течений, характера береговой линии, строения литика, размера и твердости обломочного материала. В тех случаях, когда алмазы вместе с крупной галькой и валунами находились в волноприбойной зоне, на них видны многочисленные повреждения: выколы, глубокие серповидные и кольцевые трещины, интенсивная механическая матировка граней, притупленные и округлившиеся ребра и вершины. Наиболее изношенные камни отмечаются там, где в подстилающих породах вихревыми движениями воды были выработаны так называемые исполиновые котлы. Примером могут служить бухты Клейнезее Атлантического побережья на юге Африки (Трофимов, 1967). Вращаясь в таких котлах вместе с песком и галькой, алмазы окатались до такой степени, что утратили первоначальную кристаллографическую форму и стали похожи на матовые шары. Таким образом, нали-

чие на кристаллах любого механического износа, не возникающего при речном переносе, является следствием продолжительного их пребывания в прибрежно-морских условиях, а присутствие таких алмазов в россыпях других генетических типов свидетельствует о поступлении их из более древних промежуточных коллекторов прибрежно-морского генезиса.

Отличительная особенность алмазов из россыпей — их более высокая сортность, чем алмазов из коренных источников. Это связано с тем, что трещиноватые алмазы в результате экзогенной обработки раскалываются и измельчаются, а затем часть их выносится за пределы участков концентрации. Кроме того, происходит дифференциация кристаллов по массе и размеру и поэтому в специфических условиях на определенных участках могут формироваться россыпи с более высокой сортностью алмазов за счет низкосортных коренных источников. Это подтверждается многочисленным материалом, собранным на россыпях различных генетических типов. Устанавливается четкая закономерность следующего вида. В элювиальных, делювиальных и пролювиальных россыпях, образовавшихся в результате размыва коренных источников (кимберлитов), сортность алмазов примерно одинаковая. В аллювиальных россыпях она несколько выше, а в прибрежно-морских — самая высокая. Примером резкого повышения сортности алмазов в россыпях могут служить прибрежно-морские россыпи Намакваленда на Атлантическом побережье юга Африки. Они характеризуются высокой средней массой кристаллов (более I карата) и высокой сортностью алмазов. Так, содержание алмазов класса экстра здесь составляет 14,4%, I класса 10,23%, II класса 16,39%, III класса 44,93%, низкосортных с блоковой скульптурой 4,84%, плоских 8,73%, низкосортного борта 0,39%. В коренных месторождениях, способствующих формированию этих россыпей (трубка Дьюйтспен и др.), сортность алмазов намного ниже. Так, алмазы класса экстра составляют только доли процента, I и II класса 10,75%, III класса 5,36%, а низкосортные алмазы резко преобладают: алмазов с блоковой скульптурой 42,43%, плоских 7,5%, борта 34,71%. Средняя масса кристаллов в этих коренных месторождениях 0,4—0,6 каратов.

У алмазов из различных россыпей разнообразная окраска: бесцветная, белая, желтая, зеленая, голубая, синяя, розовая, красная, сиренево-лиловая, фиолетовая, дымчатая, бурая, коричневая, серая и черная. Наиболее часто встречаются алмазы бесцветные, желтые, зеленые, дымчатые, коричневые, серые и черные. Так, для россыпей, расположенных в районе размыва трубки Премьер в Южной Африке, характерны розовые и лиловые алмазы, в россыпях Заира преобладают желтые и зеленые алмазы, в россыпях Урала — бесцветные, а в Австралии желтовато-бурые. Почти для каждой россыпи характерен определенный цвет алмазов.

Все перечисленные особенности алмазов можно использовать для прогнозирования и поисков россыпных месторождений.

Сводные данные об алмазоносности терригенных формаций древних платформ

Платформа	Эпоха алмазоносности	Терригенная алмазоносная формация	Тектоническое положение	Генетический тип отложений, вмещающих россыпи или россыпные проявления алмазов	Масштабы проявления и экономическая ценность
Африкано-	Докембрийская	Верхний отдел серии Витватерсранд	Юг Трансваальского массива	Прибрежно-морские и дельтовые	Самостоятельного значения не имеет. Один из источников алмазов мезозойских (Родезия) и кайнозойских (верхнее течение р. Вааль, районы Лихтенбург и Вентерсдорп ЮАР) россыпей
		Серии Бирим и Тортья (Pt ₁ ?), Тарква (Pt ₂)	Восточная часть Леоно-Либерийского массива	Прибрежно-морские, отложения предгорных аллювиальных равнин	Основной источник кайнозойских россыпей Ганы и Берега Слоновой Кости
	Верхнепалеозойская	Серия Двайка системы Карру (Cr ₃)	Северный борт синеклизы Карру	Тиллиты, флювиогляционные отложения	Самостоятельного значения не имеет. Один из источников алмазов кай-

нозойских россыпей рек
Оранжевой, Вааль
(ЮАР), прибрежно-мор-
ских россыпей Намибии

Мезозой-
ская

Слон Сомбула серии
Стормберг (Т₃)

Западная окраина Ро-
дезийского массива

Аллювиальные

Разрабатывались в не-
больших объемах. Один
из источников аллюви-
альных россыпей Роде-
зии.

Серии Кванго, Бербе-
рати, Лунда и их ана-
логи (Сг₂)

Северная и южная ок-
раины синеклизы Конго

Аллювиальные, дель-
товые и пролювиальные

Разрабатываются в не-
больших количествах
(Касаи — Лунда, р. За-
ир). Основной источник
алмазов бассейна р. Кон-
го

Кайно-
зойская

Свита «охристых пес-
ков» серии Калахари (N)

Южная окраина сине-
клизы Конго

Аллювиальные

Разрабатывались в не-
больших объемах (Ка-
саи — Лунда, р. Заир).
Один из источников ал-
мазов современных рос-
сыпей республики Заир и
Анголы

Платформа	Эпоха алмазоносности	Терригенная алмазоносная формация	Тектоническое положение	Генетический тип отложений, вмещающих россыпи или россыпные проявления алмазов	Масштабы проявления и экономическая ценность
Африкано-Аравийская	Кайнозойская	Отложения береговых террас и ближнего шельфа Намибии: золотые образования пустыни Намиб (T — Ng)	Прибрежные депрессии на западной окраине Южно - Африканского массива	Прибрежно-морские, морские и пролювиальные отложения «сухих рек», подвергшихся золотой обработке	Богатые промышленные россыпи
		Отложения древней и современной гидросети, коры выветривания на кимберлитовых телах и древних терригенных алмазоносных пород (Ng — Q)	Трансваальский массив и северная окраина синеклизы Карру; окраины синеклизы Конго; Леоно-Либерийский и Танганьикский массивы	Аллювиальные, пролювиальные и делювиальные (нередко законсервированные в карстовых полостях), элювиальные образования	Промышленные россыпи
Южно-Амери-	Докембрийская	Серия Рорайма (Pt ₂)	Гвианский штат	Отложения дельт и прибрежных аллювиальных равнин	Самостоятельного значения не имеет.
		Серия Минас-Жакобина (Pt ₂)	Западная окраина Восточно-Бразильского штата	Прибрежно-морские, дельтовые	Источник алмазов кайнозойских россыпей Гвианской провинции Самостоятельного значения не имеет

Платформа	Эпоха алмазности	Терригенная алмазоносная формация	Тектоническое положение	Генетический тип отложений, вмещающих россыпи или россыпные проявления алмазов	Масштабы проявления и экономическая ценность
Южно-Американская	Мезозойская	Меловые конгломераты Тироса и «тауа» (серия Бауру?)	Юго-западная окраина синеклизы Сан-Франсиску и северо-восточная окраина синеклизы Параны	Аллювиальные	В небольших объемах разрабатывались (площади Абаете и Богаем западной части Минас-Жерайс): один из источников алмазов кайнозойских россыпей Бразильской провинции
	Кайнозойская	Отложения древней гидросети (свита белых песков) неоген — нижнечетвертичного возраста и современных рек и меловых логов	Гвианский и Бразильский щиты и зоны сочленения Бразильского щита с краевыми частями синеклизы Амазонской, Мараньяно, Сан-Франсиску и Параны	Аллювиальные, реже аллювиально-делювиальные	Промышленные россыпи
Индостанская	Докембрийская	Верхний отдел Виндийской серии: свиты	Окраинные части Виндийской и Куддапахской	Прибрежно-морские и дельтовые	Разрабатываются; содержание от 0,15—0,4 ка-

2906

Карнуль, Рева, Бхандер
(Pt₃)внутриплатформенных
впадинрата/м³ (конгломераты
Банганапалла серии Кар-
нуль) до 0,8—0,9 кара-
та/м³ (конгломераты сви-
ты Рева). Один из источ-
ников алмаза кайнозой-
ских россыпейКайнозой-
скаяОтложения древней
гидросети (T—Q₁) и
русловые отложения со-
временных рек; коры вы-
ветривания на кимберли-
тах и выходах докемб-
рийских алмазоносных
конгломератовСеверо-западная ок-
раина Виндийской и за-
падная окраина Кудда-
пахской впадинАллювиальные, делю-
виальные и элювиальныеПромышленные россы-
пи и россыпные проявле-
нияАвстра-
лийскаяДокембрий-
скаяСерия Наллагайн (Pt₁)Массив Пилбара север-
ной части Западно-Ав-
стралийского щитаПрибрежно-морские,
отложения предгорных
аллювиальных равнинЕдиничные находки ал-
мазов

Платформа	Эпоха алмазоносности	Терригенная алмазоносная формация	Тектоническое положение	Генетический тип отложений, вмещающих россыпи или россыпные проявления алмазов	Масштабы проявления и экономическая ценность
Австралийская	Докембрийская	Серия Аделаида (Pt ₃)	Юго-Восточная окраина Западно-Австралийского щита	Флювиогляциальные отложения, тиллиты	Единичные находки алмазов
	Кайнозойская	Русловые отложения современных рек: кора выветривания на докембрийских алмазоносных конгломератах (Q)	Массив Пилбара в северной части и юго-восточная окраина Западно-Австралийского щита	Аллювиальные, элювиально-делювиальные	Попутная добыча с золотом
Китайско-Корейская	Кайнозойская	Отложения древней и современной речной сети (T—Q ₁)		Аллювиальные	Единичные находки (провинция Шаньдун и небольшие россыпи алмазов (провинция Хунань)

Северо-Американская	Кайнозойская	Отложения морены Кетл в районе Великих озер (Q ₁₋₃)	Южная окраина Канадского щита	Ледниковые	Единичные находки
		Кора выветривания климберлитов	Северная окраина прогиба Арканзас	Элювиальные	Ранее разрабатывались с содержанием 0,16 карат/м ³

АЛМАЗОНОСНЫЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ

Главная масса алмазов, поступающих на мировой рынок, добывается из россыпей. Их удельный вес в общей добыче составляет более 50%.

Сравнительный анализ имеющихся материалов по россыпной алмазности разных континентов показывает, что подавляющее большинство россыпных месторождений сформировалось в платформенных условиях. Промышленные россыпи алмазов и проявления россыпной алмазности встречаются практически на всех древних платформах земного шара: Африкано-Аравийской, Южно-Американской, Индостанской, Австралийской, Северо-Американской, Восточно-Европейской, Сибирской, Китайско-Корейской (табл. 1, рис. 3).

В осадочном чехле древних платформ четко выделяются четыре группы алмазносных терригенных формаций, которые хорошо сопоставляются по возрасту и характеризуются особенностями, отражающими специфику процессов россыпеобразования в разные геологические эпохи.

Рассмотрим характерные черты каждой из выделенных групп алмазносных формаций, особенности их геолого-структурного положения, основные генетические типы россыпных проявлений и их практическую ценность.

ДОКЕМБРИЙСКИЕ АЛМАЗОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

В размещении известных алмазносных формаций докембрийского возраста наблюдается отчетли-

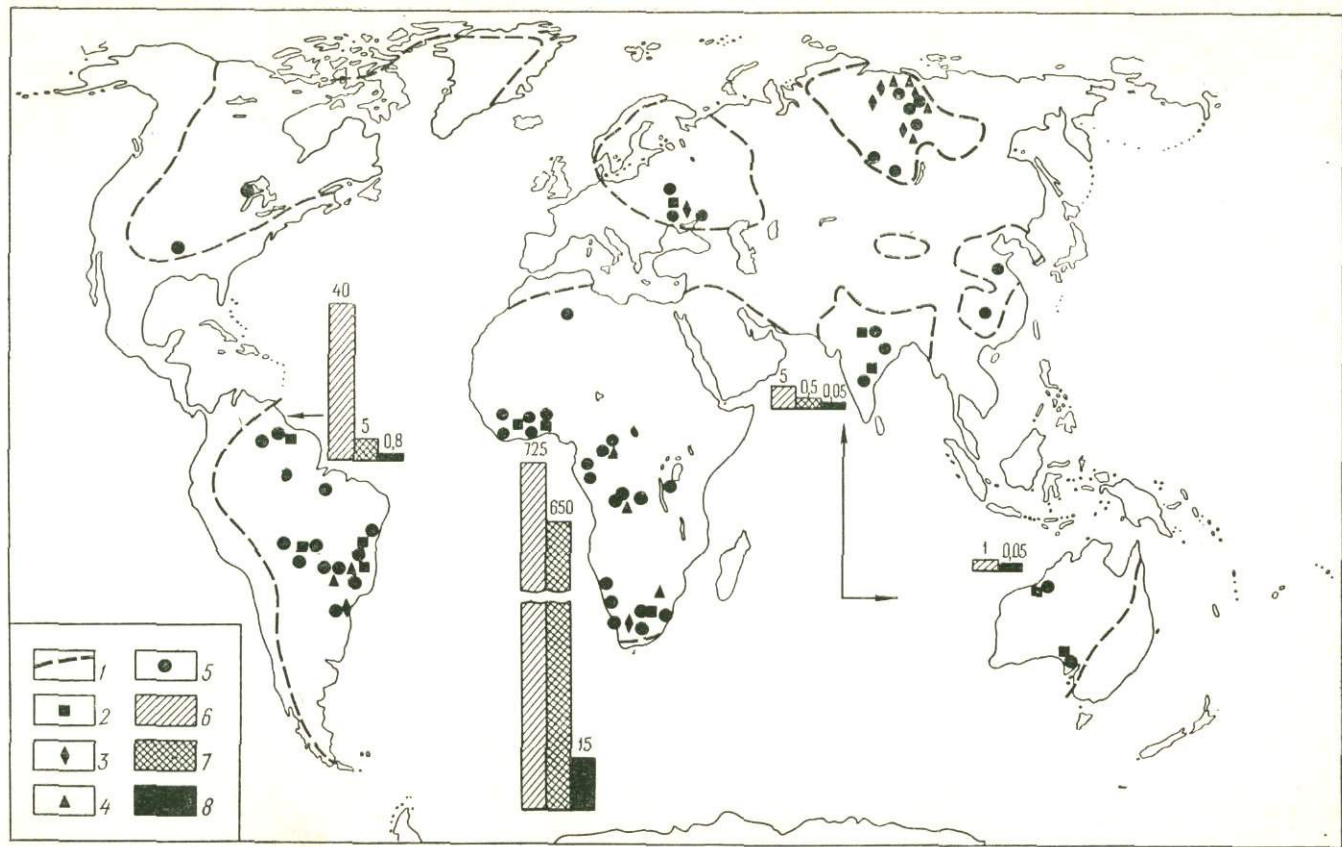


Рис. 3. Схема размещения разновозрастных терригенных алмазonoсных формаций и связанных с ними россыпей.
 1 — границы древних платформ; 2—5 — россыпи и россыпные проявления, связанные с алмазonoсными формациями докембрийского (2), верхнепалеозойского (3), мезозойского (4), кайнозойского (5) возраста; 6 — прогнозные запасы алмазов в россыпях (млн. каратов); 7 — добыто с начала эксплуатации (млн. каратов); 8 — ежегодная добыча алмазов (млн. каратов)

вая связь с древними платформенными структурами земной коры. Они тяготеют к участкам ранней консолидации кристаллического фундамента, образующим в настоящее время щиты или древние массивы: Южно-Африканскому и Леоно-Либерийскому массивам Африкано-Аравийской платформы, Гвианскому, Восточно- и Западно-Бразильскому щитам Южно-Американской платформы, Индийскому щиту Индостанской платформы и Западно-Австралийскому щиту Австралийской платформы. Формации алмазоносных конгломератов докембрия приурочены к основанию осадочного чехла протоплатформ (Витватерсранд, Рорайма), базальным горизонтам карбонатно-терригенных серий рифейского платформенного чехла близ выступов кристаллического фундамента (Виндий), к внешним частям миогеосинклинальных прогибов, развившихся на консолидированном нижнедокембрийском основании (Минас-Жакобина и др.).

Сопоставление возраста древних алмазоносных формаций разных провинций позволяет выделить в докембрии несколько крупных эпох алмазоносности планетарного развития. Самая древняя нижнепротерозойская эпоха соответствует образованию терригенной алмазоносной формации Витватерсранд и возможно Биримской. Наиболее четко фиксируется среднепротерозойская эпоха алмазоносности, в течение которой образовались формации Тарквы Западной Африки, Рорайма и Минас-Жакобина Южной Америки. Достаточно определенно намечается также позднепротерозойская алмазоносная эпоха, к которой относятся терригенные формации Лаврас в Южной Америке, Виндий в Индии, Аделаида в Австралии.

Алмазоносные россыпи и россыпные проявления алмазов докембрийского возраста связаны с фациями грубообломочных пород прибрежно-морского генезиса, отложениями дельт и прибрежных аллювиальных равнин, реже — флювиогляциальными разностями ледниковых отложений. Они приурочены к базальным, реже межформационным конгломератам, отложившимся после длительных эпох выветривания и процесса денудации. Для подобных конгломератов характерны олигомиктовый, иногда чисто кварцевый (кварцитовый, кремневый) состав обломочного материала и резкое преобладание в тяжелой фракции устойчивых минералов. Алмазы месторождений, связанных с известными алмазоносными формациями докембрийского возраста, характеризуются комплексом специфических «признаков древности»: резким преобладанием в морфологическом спектре округлых форм ромбододекаэдрического и октаэдрического габитуса, а также повышенным по сравнению с месторождениями фанерозоя количеством кубоидов, наличием скрытокристаллических разновидностей — карбонадо и балласов, зеленой окраской поверхностного слоя кристаллов и присутствием зеленых и бурых пятен пигментации, причиной появления которых является длительное облучение алмазов во время регионального метаморфизма; наличием алмазов, инкрустированных

кварцем; нередко значительной крупностью зерен; интенсивным механическим износом; часто высокой сортностью (Докембрийские... , 1976).

Формации алмазоносных конгломератов докембрийского возраста в ряде провинций являются объектами непосредственной разработки. Так, на севере Индийской провинции в районе Панна алмазы добываются из базальных конгломератов свит Рева и Бхандер Виндийской серии (алмазоносные площади Шахидан, Камерия и др.). Содержание алмазов достигает в них 0,8—0,9 карата/м³ породы. В Южной Индии в районе Андхра-Прадеш эксплуатировались алмазоносные конгломераты свиты Бангнапалле (площадь Карнуль) с содержанием не ниже 0,15—0,4 карата/м³ породы.

В Южной Америке промышленно-алмазоносны ледниковые конгломераты формации Сопа серии Лаврас. Они разрабатываются на отдельных площадях шт. Минас-Жерайс Бразильской провинции. Таковы месторождения Боа-Виста и Сьерра-Нова, где ежегодная добыча алмазов из конгломератов измеряется в несколько сотен и даже тысяч каратов при содержании алмазов более 0,1 карата/м³ (Frejberg, 1934; Трофимов, 1967).

На территории Республики Берег Слоновой Кости в Западной Африке алмазы добываются из элювия конгломератов серии Тортья (площадь Тортья) при содержании 0,34 карата/м³. В 1969 г. здесь было добыто около 200 000 каратов алмазов (Ружицкий, Скульский, 1971).

В большинстве случаев докембрийские алмазоносные формации служат источником богатых россыпных месторождений фанерозоя. С ними связаны алмазные россыпи Бразильской, Гвианской и Индийской провинций, значительная часть россыпных месторождений Западно-Африканской провинции (Гана, Берег Слоновой Кости) и некоторых месторождений Южно-Африканской провинции (россыпи верховий р. Вааль, районов Лихтенбург и Винтерсдорп, Родезии и др.). В целом месторождения, связанные с формациями докембрийского возраста, поставляют примерно 12% мировой добычи алмазов зарубежных стран.

Находки алмазов с типичными признаками древности известны в пределах развития докембрийских образований на Сибирской и Русской платформах. (Докембрийские... , 1976).

ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ АЛМАЗОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

Проявления россыпной алмазоносности, связанные с терригенными формациями верхнепалеозойского возраста, на древних платформах Гондванского ряда развиты незначительно. К ним относятся ледниковые образования серии Двайка системы Карру

(верхний карбон), распространенные в пределах северного крыла синеклизы Карру Африкано-Аравийской платформы. В тиллитах Двайка, слагающих основные серии, отмечались единичные находки алмазов (Stutzer, 1935). Некоторые исследователи рассматривают эти образования в качестве одного из возможных источников алмазов кайнозойских россыпей Южной Африки и Намибии (Соболев, 1951; Дю-Тойт, 1957; Bardet, 1973).

Алмазоносные отложения верхнепалеозойской формации известны также в Бразильской провинции Южно-Американской платформы. Здесь у восточной окраины синеклизы Параны отмечаются пятна алмазоносных конгломератов ледникового происхождения, относящиеся к свите Итараре серии Тубаран. Возраст отложений датируется верхним карбоном (Оливейра, 1959; Хаин, 1971). Они служат основным источником алмазов кайнозойских россыпей шт. Парана (бассейн р. Тибапси) Бразилии (Трофимов, 1967).

Верхнепалеозойская алмазоносная формация развита и на Сибирской платформе, где ее образованию предшествовала эпоха кимберлитового магматизма, с которой связаны все коренные месторождения. Проявления россыпной алмазоносности и единичные находки алмазов известны в отложениях карбона и перми. Это в основном континентальные отложения делювиального, пролювиального и аллювиального генезиса. Отдельные находки алмазов зафиксированы в прибрежно-морских образованиях (Прокопчук, 1970; Прокопчук, 1973₂). Алмазы встречаются в базальных конгломератах или галечниках, часто представляющих собой продукты перемыва верхнепалеозойской коры выветривания. Реликты этих кор сохранились на некоторых трубках кимберлитов под отложениями пермо-карбонного возраста. Алмазоносность верхнепалеозойской терригенной формации северо-востока Сибирской платформы еще недостаточно изучена.

МЕЗОЗОЙСКИЕ АЛМАЗОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

Терригенные алмазоносные формации мезозоя широко развиты на древних платформах Гондванского ряда (Африкано-Аравийской и Южно-Американской), в меньшей степени на платформах Лавразии.

Особенно интенсивно мезозойская эпоха алмазоносности проявилась на территории Африкано-Аравийской платформы. Здесь известно несколько алмазоносных формаций мезозойского возраста. В Родезии на западной окраине Родезийского массива разрабатывались в небольших масштабах конгломераты Сомабула (серия Стормберг, верхнее Карру) верхнетриасового возраста. Алмазы этих конгломератов очень похожи на докембрийские алмазы Витватерсранда, за счет перемыва которых они вероятно произошли.

Основным источником алмазов бассейна р. Конго в Центральной Африке служат конгломераты серий Кванго, Берберати, Луби-лаш, Лунда и их аналогов, возраст которых датируется верхним мелом. Отложения этих серий широко распространены на северной и южной окраинах синеклизы Конго. Их формированию предшествовали поднятие и выравнивание огромных территорий в Центральной Африке и эпоха интенсивного химического выветривания, которые сменялись затем погружением отдельных участков с накоплением в них континентальных осадков аллювиального и пролювиального генезиса. Алмазоносны базальные конгломераты, залегающие в основании перечисленных серий. Они характеризуются олигомиктовым, иногда чисто кварцевым составом обломочного материала в ожелезненном, нередко коалинитовом цементе.

На некоторых алмазоносных площадях Центрально-Африканской провинции конгломераты верхнемелового возраста непосредственно отрабатываются на алмазы (Касаи—Лунда в восточной части Анголы). В основном за счет их перемива сформировались кайнозойские россыпи бассейна р. Конго, которые представляют собой наиболее продуктивную алмазоносную провинцию мира, занимающую первое место по запасам и количеству добываемых алмазов.

Источником алмазов в верхнемеловых конгломератах рассматриваемой территории служат мезозойские кимберлитовые тела, известные на юго-восточном борту синеклизы Конго. Однако наличие карбонадо в россыпях Западного и Восточного Убанги Центральноафриканской Империи (Trueb, Wys, 1971) и присутствие алмазов с зеленой окраской поверхностного слоя, исчезающей при огранке, в Западном Убанги (Трофимов, 1967) позволяет предположить, что по крайней мере часть россыпей Центрально-Африканской провинции образовалась за счет алмазоносных формаций докембрийского возраста.

На Южно-Американской платформе россыпные проявления, относящиеся к мезозойской алмазоносной формации, связаны с конгломератами «тауа» предположительно мелового возраста. Они развиты на юго-западной окраине синеклизы Сан-Франсиску и северо-восточной окраине синеклизы Параны. Эти конгломераты разрабатывались на алмазы в западной части шт. Минас-Жерайс Бразильской провинции и в верховьях р. Паранаиба. Эти проявления — один из источников аллювиальных россыпей указанных рек (Drapet, 1951; Трофимов, 1967).

Из северных платформ мезозойская алмазоносная формация проявлена только на Сибирской платформе. Алмазы встречаются здесь по разрезу мезозойских отложений от верхнего триаса до мела. Наиболее ранние по возрасту рэт-лейасовые россыпи. Они приурочены к делювиально-пролювиальным и озерным образованиям небольших эрозионно-тектонических депрессий близ алмазоносных кимберлитовых тел. Образованию россыпей предшество-

вала раннемезозойская эпоха химического выветривания. За счет продуктов перемыва и переотложения кор выветривания сформировались россыпи ближнего сноса.

Проявления россыпной алмазности связаны также с прибрежно-морскими отложениями плинсбахского, келловейского и нижневолжского ярусов юры, развитыми в зонах сочленения антеклиз с прогибами и синеклизами. Алмазности базальные горизонты трансгрессивных серий (Прокопчук, 1964, 1966₁, 1973₁; Прокопчук, Сусов, 1960).

Единичные находки алмазов и бедные россыпи отмечены в континентальных отложениях мелового возраста на северо-востоке Сибирской платформы. Они представлены песками, гравийниками и галечниками аллювиального генезиса и сохранились там в виде реликтов. Первоисточниками алмазов меловых отложений можно считать протерозойские (?), карбоновые алмазные отложения и кимберлитовые трубки близлежащих районов. Возможно алмазности и меловые отложения Вилюйской синеклизы, о чем свидетельствуют находки алмазов и минералов-спутников, найденных в центральной части Вилюйской синеклизы в аллювии современных рек, размывающих меловые образования (Прокопчук, Сочнева, 1975).

КАЙНОЗОЙСКИЕ АЛМАЗНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ

Россыпные месторождения кайнозойского возраста обеспечивают основную часть мировой добычи алмазов (по М. Бардэ (Bardet, 1973) около 80%). Кайнозойская эпоха россыпной алмазности проявилась на всех древних платформах земного шара. Кайнозойские россыпи формировались и в результате разрушения алмазных кимберлитовых тел и за счет содержащих алмазы терригенных формаций докембрийского, палеозойского и мезозойского возраста. Различными условиями формирования россыпных месторождений этой формации объясняется разнообразие их генетических типов.

Наибольшее количество кайнозойских россыпей разных генетических типов сосредоточено на юге Африкано-Аравийской платформы, где в период от позднего мела и до современной эпохи существовали особенно благоприятные условия для формирования россыпных месторождений алмаза (Beetz, 1930, Stutzer, 1935; Каэн, 1958; Соболев, 1951; Трофимов, 1967; и др.). Отдельные части этой территории в течение длительного времени представляли собой пенеплен, на котором формировались мощные коры выветривания и связанные с ним элювиальные россыпи на кимберлитовых телах («желтая» и «голубая земля») и алмазных кластических породах разного возраста. Под действием дождевых потоков они смещались; в результате образовывались делювиальные россыпи, в областях с широким развитием закарстованных карбонатных пород (район Бакванга в Заире). Сильные ливни, характерные для аридных областей, вызывают временные водотоки (так

называемые сухие реки), перемещающие алмазоносный материал на большие расстояния. В результате неоднократного перемиыва пролювиальных (сухоречных) отложений в остаточных образованиях, как правило, приуроченных к карстовым воронкам (район Лихтенбурга и Вентерсдорпа), концентрируется большое количество алмазов. В прибрежной зоне Южной Африки известны своеобразные дефляционные россыпи, приуроченные к бессточным впадинам, ориентированным в направлении господствующих ветров. Под влиянием ветровой обработки интенсивно обогащаются алмазами остаточные щебнистые отложения. На побережье Атлантического океана (в Южной Африке) распространены прибрежно-морские россыпи алмазов. Они прослеживаются на 1600 км вдоль побережья и представлены отложениями береговых террас и ближнего шельфа. Характерная особенность этих россыпей — высокое содержание и большая средняя масса алмазов (следствие естественной сортировки в волноприбойной зоне). Наконец, самый распространенный генетический тип кайнозойских россыпей — аллювиальные россыпи древней и современной речной сети. Это основной объект промышленной разработки не только в Африке, но и во всех алмазоносных провинциях других платформ.

Количественное соотношение различных генетических типов россыпей, особенности их строения и экономическая ценность неодинаковы в разных алмазоносных провинциях. Они зависят от ряда факторов (см. II раздел).

Автором подсчитан объем добычи алмазов на I.I.1974 г. (табл. 2). Наибольшее количество алмазов добыто из россыпей Африканской платформы (на ее долю приходится 96% запасов и 98% общей добычи). На втором месте по объему добытых алмазов стоит территория Южно-Американской платформы, где почти все алмазы до сих пор добываются из россыпей. Однако приведенные данные отражают не истинное наличие алмазов в недрах платформ, а степень изученности и опробования территорий. Так, не проводилось еще планомерного изучения Северо-Американской, Австралийской и Китайской платформ, а перспективы Индостанской и Южно-Американской до конца не выяснены, несмотря на то что именно на этих платформах известно широкое площадное распространение находок алмазов в разновозрастных отложениях.

Анализируя добычу алмазов за длительный промежуток времени, можно установить тенденцию увеличения добычи алмазов за счет коренных месторождений. Так, в 1938 г. основная масса алмазов (более 60%) добывалась из россыпей, а уже в 1973 г. 57,5% общей добычи (без СССР) дали коренные месторождения. В дальнейшем, судя по прогнозным запасам, эта тенденция будет сохраняться, но доля россыпных месторождений в добыче остается высокой. Этому способствует более дешевая отработка россыпей и высокая, по сравнению с коренными месторождениями, сортность алмазов, связанная с естественной сортировкой в экзогенных условиях.

Насыщенность алмазными россыпями древних платформ

Древние платформы	Общие запасы алмазов в россыпях (млн. каратов)	Годовая добыча алмазов из россыпей (тыс. каратов)	Запасы и добыча в различных генетических типах месторождений					
			Элювиальные	Делювиальные	Проллювиальные	Аллювиальные	Прибрежно-морские	Прочие типы
Африкано-Аравийская	723	2824,6	—	$\frac{490}{15\,770}$	$\frac{8}{—}$	$\frac{141}{10\,387,6}$	$\frac{65}{2083}$	—
Южно-Американская	22	856	—	—	—	$\frac{22}{856}$	—	—
Индостанская	1,5	10*	—	—	—	$\frac{0,5}{10}$	—	$\frac{1}{—}$
Северо-Американская	Единичные находки алмазов	—	—	—	—	—	—	—
Австралийская	1*	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. 1. В числителе — запасы (в млн. каратов), в знаменателе — добыча (в тыс. каратов).

2. Звездочкой отмечена ориентировочная оценка.

Проведен анализ сортности алмазов из россыпей отдельных платформ. Наиболее высоким качеством отличаются алмазы Южно-Американской платформы, а также южной части Африкано-Аравийской. Качество алмазов бассейна р. Конго в центральной части Африкано-Аравийской платформы низкое. Следует отметить, что сортность алмазов выше там, где размываются древние россыпи, и ниже в районах непосредственного размыва кимберлитовых тел.

В итоге можно сделать следующие основные выводы:

1) в разрезе осадочного чехла большинства древних платформ отчетливо выделяются четыре группы алмазоносных терригенных формаций: докембрийская, верхнепалеозойская, мезозойская и кайнозойская;

2) наиболее широко распространены по площади россыпные проявления кайнозойской и докембрийской алмазоносных формаций, которые известны на всех древних платформах. Россыпные месторождения, относящиеся к формациям мезозойского возраста, более развиты на платформах гондванского ряда, в меньшей мере — на платформах Лавразии. В верхнепалеозойской формации наблюдается обратное;

3) алмазоносные формации докембрийского возраста тяготеют к древнейшим платформенным структурам земной коры, образующим в настоящее время щиты или древние массивы. Алмазоносные формации фанерозоя размещаются на склонах древних массивов и щитов (кайнозойская), в краевых частях крупных внутриплатформенных синеклиз (верхнепалеозойская, мезозойская и кайнозойская), в зонах сочленения синеклиз и прогибов с антеклизмами (мезозойская и кайнозойская).

Отмечена эволюция относительного значения различных генетических типов отложений, включающих россыпи или россыпные проявления алмазов. Так, в докембрийской группе алмазоносных формаций главное место принадлежит россыпным проявлениям прибрежно-морского и дельтового, а также ледникового генезиса, в меньшей мере россыпям, связанным с отложениями предгорных аллювиальных равнин. Россыпные проявления верхнепалеозойской формации приурочены к тиллитам и континентальным отложениям пролювиального и аллювиального генезиса. Россыпи мезозойской алмазоносной формации в пределах платформ гондванского ряда связаны исключительно с континентальными фациями в основном аллювиального генезиса. В северном ряду платформ, кроме континентальных, известны и прибрежно-морские типы россыпей. Общая особенность россыпей кайнозойской формации — их связь с отложениями континентального генезиса.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

Россыпные месторождения алмазов отличаются разнообразным строением, различным характером распределения алмазов и неодинаковой промышленной ценностью. Поэтому автор считает необходимым провести их детальную классификацию с целью выде-

ления наиболее перспективных в промышленном отношении типов (табл. 3). В основу классификации положена схема генетических типов рыхлых отложений, выделенных Е. В. Шандером (1966). Кроме того, использованы классификационные схемы алмазных россыпей И. С. Рожкова (1960), В. С. Трофимова (1967), Г. Х. Файнштейна (1962₂) и др.

В отличие от предыдущих классификаций автор выделяет новый генетический тип россыпей — россыпи подземных карстовых пещер. Он установлен при изучении кимберлитовой трубки Айхал (Харьков, Прокопчук, 1973). В этом районе в карстовых подземных полостях образуются россыпи с более высоким содержанием алмазов, чем в коренном месторождении. В составе некоторых известных генетических типов россыпей дополнительно выделены подтипы. Так, среди элювиального типа — элювиальный на кимберлитах и элювиальный на промежуточных коллекторах, отличающиеся характером алмазоносности, промышленной ценностью, строением и распределением алмазов. В составе аллювиальных россыпей выделены подтипы в зависимости от крупности водных потоков. Установлено, что в очень крупных реках промышленные россыпи не образуются вообще, в крупных — только в благоприятных условиях; наиболее оптимальные условия для формирования алмазных россыпей созданы в реках среднего размера, а мелкие реки благоприятны для формирования россыпей лишь при определенных геолого-тектонических обстановках.

Рассмотрим строение различных генетических типов россыпей, распределение в них алмазов, наиболее типичные месторождения и причины, которые привели к образованию россыпи той или иной промышленной значимости.

ЭЛЮВИАЛЬНЫЙ ТИП

Элювиальный генетический тип включает россыпи, образовавшиеся в процессе выветривания. В зависимости от первоисточников, на которых эти россыпи формируются, можно выделить два подтипа: элювиальный на кимберлитах и элювиальный на промежуточных коллекторах.

Элювиальные россыпи на кимберлитах

Элювиальные россыпи на кимберлитах пользуются широким развитием (табл. 4). Однако в зависимости от климатических условий они характеризуются различными масштабами и алмазоносностью. Степень алмазоносности зависит и от алмазоносности кимберлитов. Богатые элювиальные россыпи в условиях влажного тропического климата могут формироваться за счет богатых и бедных кимберлитовых тел. В условиях холодного арктического климата элювиальные россыпи образуются только на богатых коренных источниках.

Генетическая классификация алмазных россыпей

Генетические типы	Генетические подтипы	Морфологические типы	Общие запасы, млн. каратов (без СССР)	Процент от общих запасов алмазов зарубежных стран	Примеры месторождений
Элювиальный	Элювиальный на кимберлитах	Плащевидный	?		Россыпи трубок Премьер, Финч (ЮАР)
	Элювиальный на древних промежуточных коллекторах	Плащевидный	?		Россыпи Тортья (Берег Слоновой Кости)
Делювиальный	Собственно делювиальный	Шлейфовый	490	63,61	Россыпи трубок Де-Бирс (ЮАР), Бакванга (Заир)
	Солифлюкционный	Плащевидный			Россыпи Сибири
Пролувиальный		Плащевидный, шлейфовый	8	1,03	Россыпи «сухих рек» (ЮАР)
Аллювиальный	Очень крупных транзитных рек		—	—	Россыпи рек Гауга (Индия), Оранжевой и Конго (Африка)
	Крупных рек	Русловый, косовый	12	1,55	Россыпи площади Касаи (Заир)
	Рек средних размеров	Пойменный	99	12,85	Россыпи рек Касаи, Бонзы, Вааль (Африка)

Аллювиальный	Мелких рек и ручьев	Террасовый	65	8,43	Россыпи притоков Касаи (Заир)
Озерный		Линейный, линзовидный, веерообразный	15	1,94	Россыпи Африки
Морской	Прибрежно-морской	Веерообразный, линейный	45	5,84	Россыпи Намакваленда (ЮАР), Намибии
	Дельтовый	Веерообразный			Юрские россыпи Сибири
	Открытого шельфа	Линейный	30	3,89	Современные россыпи Южной Африки
Подземных карстовых пещер	Подземных пещер	Линзовидный	0,2	0,02	Россыпи Бакванги (Заир)
	Подземных водных потоков	Линейный	—	—	Россыпи-проявления Сибири, ЮАР
Ледниковый	Собственно ледниковый	Плащевидный	0,2	0,02	Тиллиты Двайка (Южная Африка), современные россыпи Сев. Америки
	Водно-ледниковый	Линейный	1,6	0,02	То же
Эоловый	Эоловой аккумуляции	Гнездовой, линзовидный	1,3	0,16	Кауказибталь (пустыня Намиб в Намибии)
	Эоловой дефляции	Гнездовой, линзовидный	2,3	0,29	То же

Данные о типичных элювиальных россыпях, образовавшихся

Платформы	Россыпь кимберлитовой трубки (размер трубки, м)	Запасы, млн. каратов	Среднее содержание алмазов, мг/м ²	Средняя мощность россыпи, м	Зоны россыпей (мощность, м)
Африкано-Аравийская	Премьер (880×500)	4,2	400	56	Голубая земля (45) Желтая земля (11)
	Робертс-Виктор (280×180 м)	3,3	150	95	Желтая земля (40) Голубая земля (55)
	Луомза (300×500)	0,3	40	20	Желтая земля (8) Голубая земля (12)
	Де-Бирс (330×210)	~0,15	120	50	Желтая земля (26) Голубая земля (600)
	Мабуки (370×290)	~0,02	30	50	Цементированная желтая земля (10), рыхлая желтая земля (20), синяя земля (20)
	Бульфонтейн	0,2	200	40	Желтая земля (22) Синяя земля (?)
Северо-Американская	Прерий	?	60	22	Желтая земля (9) Синяя земля (60)
Индостанская	Маджгаван (480×228)	2,6	50	60	Известковый туф (5) Желтая земля (27—45) Синяя земля (?)

на кимберлитовых трубках

Содержание алмазов по зонам, мг/м ³	Литологический состав отложений россыпи	Характер распределения алмазов в разрезе	Возраст	Содержание алмазов в коренном источнике	Климатические условия образования россыпи
160 600	Глина со щебенкой Глина	Гнездовое, неравномерное "	K ₂ -Q	0,51	Тропический
200 60	Глина Глина со щебенкой, щебенка	Гнездовое "	K ₂ -Q	0,1	"
50 40	Глина Глина со щебенкой	Неравномерное "	K ₂ -Q	0,024	"
180 600	Глина Глина со щебенкой	Гнездовое, неравномерное Неравномерное	K ₂ -Q	0,5	"
50 4 1	Сцементированная глина Рыхлая глина Глина со щебенкой	Неравномерное " "	K ₂ -Q	0,005	"
310 140	Глина Глина со щебенкой	Гнездовое Неравномерное	K ₂ -Q	0,7	"
32 20	Глина Глина со щебенкой	Неравномерное	K ₂ -Q	0,04	"
60—21	Известковый туф Глина	Неравномерное	?	0,21	Влажный, тропический

В строении элювиальных россыпей отмечается четкая вертикальная зональность. На неразрушенном кимберлите с постепенным переходом залегает горизонт так называемой синей земли. Он сложен синевато-черной глиной с редкой щебенкой выветрелых кимберлитов. Выше залегает горизонт желтой земли, представляющий собой конечную стадию окисления и гидратации кимберлита. Макроскопически это мягкая пористая и пятнистая порода желтовато-серого, желтовато-коричневого и реже красного цвета, пропитанная карбонатами магния и железа. Мощность зон различная и зависит от климата и продолжительности процессов выветривания. Обычно в условиях тропического климата мощность горизонта желтой глины 15—20 м, синей 10—60 м. В условиях арктического климата горизонт желтой глины отсутствует, горизонт голубой земли маломощный (до 2 м).

Степень алмазоносности и характер распределения алмазов в элювиальных россыпях, сформировавшихся в условиях тропического и арктического климата, различны, поэтому приводим описание двух наиболее характерных типов элювиальных россыпей, образовавшихся на кимберлитах.

Элювиальные россыпи, сформировавшиеся в условиях теплого влажного климата, широко известны в Южной Африке. Мощность желтой земли на трубке Премьер — 12 м (рис. 4), на трубке Робертс-Виктор — 38 м. Содержание алмазов выше, чем в коренном кимберлите, что происходит за счет уменьшения объема в результате выщелачивания легко растворимых компонентов кимберлита. Так, в трубках Кимберлей и Де-Бирс (ЮАР) содержание алмазов в желтой земле было около 3 каратов/м³, через четыре года эксплуатации рудника оно снизилось до 2,66 карата/м³, через 10 лет до 1,4 карата/м³, еще позднее до 0,67 карата/м³ (при отработке невыветрелых кимберлитов).

Элювиальные россыпи, сформировавшиеся в условиях арктического климата, обладают специфическими чертами, связанными со слабым химическим выветриванием и наличием многолетней мерзлоты. Они характеризуются небольшими мощностями (0,1—4 м) и приурочены только к деятельному слою многолетней мерзлоты. Эти россыпи формируются в пределах контуров кимберлитовых тел. Их морфология, состав и алмазоносность зависят от кимберлитовых тел. Размеры россыпей в плане ограничиваются контуром коренного источника, и, естественно, чем больше кимберлитовое тело, тем большую площадь занимает элювиальная россыпь. Мощность последней в значительной степени зависит от состава выполняющих трубку кимберлитовых пород, рельефа и других условий. Над слабоустойчивыми кимберлитовыми туфами и туфобрекчиями мощность элювия до 4 м. Здесь элювиальные россыпи, в отличие от россыпей, образовавшихся в условиях теплого влажного климата, представлены дресвяно-щебнисто-глинистым материалом. С глубиной дресва, щебенка, мелкие обломки кимберлита переходят в крупнообломочный глыбовый элювий. Существенно уменьшается количество глинистой фракции. Лыдность россыпей

достигает 20—80%. Алмазоносность элювиальных россыпей зависит от алмазоносности коренного источника. Содержание алмазов составляет 75—65% их содержания в коренных месторождениях.

Примером может служить элювиальная россыпь одной из трубок Сибири (см. рис. 4). Элювий кимберлитов сложен сверху древесно-щебнистым обломочным материалом, сцементированным глинистыми продуктами выветривания. Вниз по разрезу он сменяется щебнисто-глинистым и щебнисто-глыбовым материалом, сцементированным дресвой и льдом. Мощность элювия от 2 до 4—6 м. В центральной части она меньше, а в приконтактовой — больше. Льдистость отложений 30—40%. Средние содержания алмазов в элювии составляют 95% от содержаний в кимберлите. Распределение их в элювиальном слое в основном равномерное. Наибольшие концентрации алмазов отмечаются в верхней части россыпи. Встречаются также гнезда с резко повышенными содержаниями, приуроченные к участкам развития глинистого элювия верхней части россыпи.

Элювиальные россыпи на древних промежуточных коллекторах

Этот подтип развит в районах теплого и влажного климата. Промышленные месторождения известны на территории Африканской платформы, где они образовались за счет выветривания протерозойских алмазоносных конгломератов серии Тортья (Берег Слоновой Кости) и конгломератов мелового возраста серий Луанда и Кванго (Заир), в пределах Южно-Американской платформы на позднекембрийских конгломератах серии Лаврас и в Индостанском — на протерозойских конгломератах Виндийской серии (табл. 5). В общих запасах алмазов из россыпей этот подтип

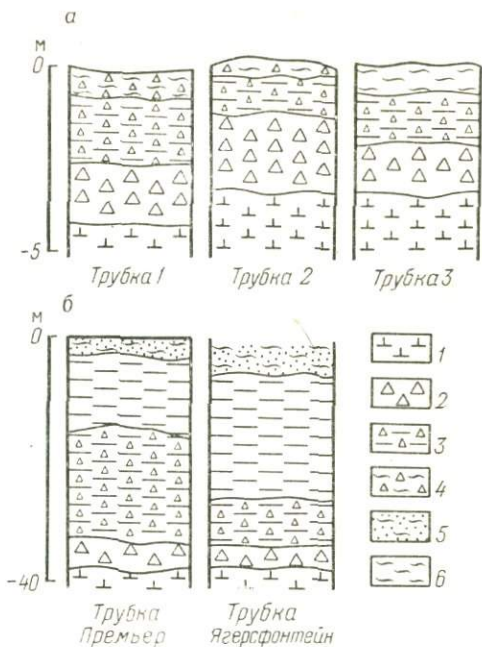


Рис. 4. Типовые разрезы элювиальных россыпей алмазов, образовавшихся на кимберлитах.

а — элювиальные россыпи, сформированные в условиях арктического климата; б — элювиальные россыпи, сформированные в условиях тропического климата
 1 — плотные кимберлиты; 2 — глыбы и щебенка кимберлитов; 3 — дрова кимберлитов с глиной; 4 — суглинок с редкой щебенкой кимберлитов; 5 — известковистые суглинки; 6 — суглинки

Данные о наиболее типичных элювиальных россыпях, образовавшихся

Платформа	Месторождение	Первоисточник россыпи		Мощность элювиальной россыпи, м
		Возраст, литология	Среднее содержание алмазов, карат/м ³	
Африкано-Аравийская	Тортья (Берег Слоновой Кости)	Протерозойские конгломераты Тортья	0,1	2—4
	Чимубе (Заир)	Меловые конгломераты Луида	0,27—0,30	20—30
	Лумембо (Заир)	Меловые конгломераты серии Кванго	0,2	23—35
	Лихтенбург (ЮАР)	Отложение «сухих рек» (Q)	1,1	2
Южно-Американская	Сьерра-дас-Лаврас (Бразилия)	Протерозойские конгломераты	0,2	3—4
	Жекитиньонья (Бразилия)	То же	0,1—0,2	0,5—0,6
	Гран-Могол (Бразилия)	„ „	0,1—0,2	5—15
	Агуа Суги (Бразилия)	„ „	0,1—0,3	16
Индостанская	Итва (Индия)	Протерозойские конгломераты Рева	0,15	2
	Шахидан (Индия)	Протерозойские конгломераты	0,2	0,4
	Каймур (Индия)	То же	0,2	0,6
	Карнуль (Индия)	„ „	0,5	0,1—0,6
	Раджамундра (Индия)	„ „	0,2	0,2—0,5

Примечание. Всего проанализировано 46 россыпей; из них 43% — месторождения более 1 млн. каратов.

на древних промежуточных коллекторах

Разрез россыпи	Среднее содержание алмазов, карат/м ³	Запасы алмазов, млн. карат	Геоморфологическая позиция	Возраст	Климатические условия образования россыпи
Глина с галькой кварцита, глина с обломками конгломерата	0,31	1,5	Плоский водораздел	Q	Тропический, влажный
Глина с песком и редкой галькой, песок, глина с обломками конгломератов	0,5—1	3	Пологий склон	Q	То же
Глина известковистая с песком и галькой устойчивых пород	0,6—0,8	2	Плоский водораздел	K ₂ —Q	Влажный, тропический
Элювиальная глина, галечник	2,3	0,1	Выпуклая поверхность склона	Q ₁	Аридный, тропический
Глина, песок с галькой	0,4—1	0,2	Пологий склон	Q	Влажный, тропический
Песчаная глина с галькой	До 1	0,1		Q	Влажный, тропический
Выветрелые конгломераты	1	?	Пологий склон	Q	То же
Красная глина (1 м), глинистая порода, выветрелый конгломерат	0,6—1,1	2,5	То же	Q	Влажный, тропический
Сцементированный конгломерат, глина, плотный конгломерат	0,3—0,4	0,1	Склон	Q	Тропический, влажный
Рыхлые конгломераты	0,9	0,8	Водораздел	Q	То же
Рыхлый алмазоносный конгломерат «Какур»	0,8—0,9	0,1	Склон	Q	„ „
Рыхлые конгломераты	0,40	0,1	„	Q	„ „
Глины с редкой галькой	0,45	0,1	Поверхность водораздела	Q	„ „

с запасами до 0,2 млн. каратов, 53% — с запасами 0,2—1 млн. каратов и 4% — с запасами

занимает незначительное место. За все время эксплуатации из них было извлечено около 3 млн. каратов алмазов, а их ориентировочные запасы не превышают 2 млн. каратов (см. табл. 5).

Строение описываемых россыпей однотипно. В вертикальном разрезе выделяются две, иногда три зоны. На коренных плотных конгломератах лежит слой щебенчато-глинистого материала мощностью 1—6 м. Выше он постепенно переходит в песчано-глинистый горизонт. Часто верхний слой латеритизирован или сцементирован известковым материалом. Содержание алмазов в россыпи почти всегда выше, чем в первоисточниках (от 0,31 карата/м³ в россыпях Берега Слоновой Кости до 2,3 карата/м³ в Лихтенбурге, ЮАР). Наблюдается увеличение содержания алмазов с высоты вверх по разрезу, а также гнездовые концентрации, приуроченные к участкам наибольшей дезинтеграции. Степень алмазоносности россыпей рассматриваемого подтипа в 2—6 раз выше, чем первоисточников, за счет которых они формировались. Основные факторы россыпеобразования — тип первоисточника, степень его алмазоносности и климат, а также геоморфологическая позиция месторождения. Наиболее крупные месторождения образуются на плоских водораздельных поверхностях, лишенных растительности.

ДЕЛЮВИАЛЬНЫЙ ТИП

Этот тип алмазных россыпей встречается часто (63,6% запасов и 50% от мировой добычи). Известно более сотни эксплуатирующихся делювиальных россыпей. Для них наиболее характерны мелкие месторождения с запасами 0,01—0,3 млн. каратов алмазов; реже встречаются россыпи с запасами 1 млн. каратов и более. Известно одно месторождение (Бакванга в Заире) с запасами около 400 млн. каратов. Его образование происходило в особо благоприятных геологических условиях — в результате размыва группы кимберлитовых тел при интенсивном выветривании в тропических условиях и аккумуляции алмазоносного материала в глубоких карстовых воронках.

Делювиальные россыпи могут формироваться за счет размыва коренных месторождений (кимберлитовых трубок и даек) и разрушения промежуточных коллекторов.

Делювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва кимберлитовых тел

Делювиальные россыпи этого типа характеризуются обычно небольшими размерами (табл. 6). Их длина 0,5—1,5—2 км; ширина 250—300 м, а мощность в зависимости от рельефа склона и климатических условий может быть самой разнообразной — от 1,3 до 33 м, в среднем 3—5 м. Среднее содержание алмазов промышленных россыпей измеряется 0,3—9 карата/м³.

Данные о типичных делювиальных россыпях, образовавшихся за счет размыва кимберлитов

Платформа	Коренное месторождение, его тип, размеры и среднее содержание алмазов, карат/м ³	Делювиальная россыпь							Примечание	
		название	длина, м	ширина, м	мощность, м	литология	среднее содержание, карат/м ³	запас, млн. каратов		климат
Африкано-Аравийская	Дайки кимберлитов, мощностью 0,1 м; 0,5—3,65	Бунудинская площадь (Гвинея)	0,8	200	1,3	Сцементированная глина	0,5—1,28	0,02	Влажный, тропический	Накопление делювия проходило в карстовых воронках глубиной до 90 м
	Кимберлитовые трубки района Бакванга, 200×300 м; 0,2	Баквангская площадь (Заир)	3	до 300	33	Глина со щебенкой кимберлитов	8—9	400	Тот же	
	Кимберлитовая трубка Мабукки, 270×290 м; 0,005	Россыпь трубки Мабукки (Ганзания)	1	250	10,7	Глинистый галечник	0,2	0,2	„ „	
	Кимберлитовая трубка Виссера, 225×60 м, алмазонаосность слабая	Россыпь трубки Виссера (ЮАР)	0,8	?	4,2	Глинистый песок	0,26	0,01	„ „	

Примечание. Проанализировано 119 россыпей: 91% с запасами до 0,2 млн. каратов, 8% с запасами 0,2—0,5 млн. каратов, 0,1% с запасами 0,5—5 млн. каратов и 0,5% более 5 млн. каратов.

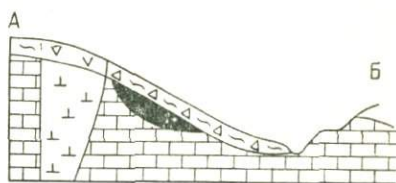
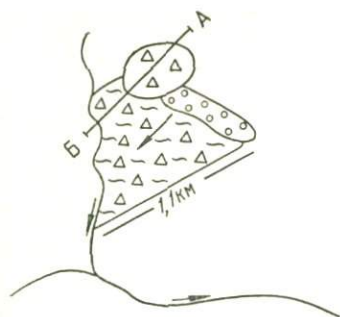


Рис. 5. Делювиальная россыпь, образовавшаяся за счет размыва кимберлитовой трубки.

1 — известняки; 2 — кимберлиты; 3 — элювий кимберлитов; 4 — аллювиальная россыпь; 5 — делювиальная россыпь; 6 — обогащенные алмазами слои; 7 — направление сноса алмазоносного материала

Особенности делювиальных россыпей определяются типом первоисточника, его формой и степенью алмазоносности, уклоном склона и литологией слагающих его пород. Если россыпь образуется за счет размыва одной трубки, она имеет форму усеченного конуса (рис. 5). Примером может служить делювиальная россыпь трубки Финч (ЮАР). Россыпь четвертичного возраста формировалась в условиях жаркого тропического климата. Она представляет собой неправильной формы усеченный конус, расположенный на пологом ($4-5^\circ$) склоне, сложенном глинистыми известняками. Алмазоносный делювий сложен глинистыми и песчано-суглинистыми образованиями с примесью щебенки и глыб вмещающих пород. Обломки кимберлита в нем встречаются редко. Вследствие слабой сопротивляемости кимберлита к выветриванию он превращается в гравийно-песчаные и мелкозернистые фракции еще в элювиальной россыпи. Делювиальная россыпь вблизи трубки как бы опоясывает ее сплошным полукольцом, а далее вниз по склону прослеживается отдельными языками. Длина россыпи 350 м, ширина 200—300 м и мощность алмазоносного пласта 2—3 м. Алмазы в теле россыпи расположены в виде струй и гнезд. Струй приурочены к центральным частям делей, а обогащенные алмазами гнезда — к понижениям рельефа склона. Содержание алмазов в россыпи ниже, чем в коренном источнике. При среднем содержании алмазов $0,52$ карата/ м^3 в трубке Финч в делювиальной россыпи оно едва достигает $0,2$ карата/ м^3 . Подобное строение имеют и другие делювиальные россыпи, образующиеся за счет размыва отдельных кимберлитовых тел. Все они характеризуются небольшими запасами ($0,1-0,5$ млн. каратов).

Промышленные месторождения образуются в результате размыва богатых кимберлитовых тел, а в условиях тропического климата кимберлитовые трубки средней алмазоносности могут фор-

мировать богатые делювиальные россыпи. За счет размыва группы близко расположенных на одном склоне кимберлитовых тел могут возникать россыпи более крупных размеров. Но и они по запасам редко превышают 1 млн. каратов. Такие россыпи были широко развиты в Южной Африке. Форма их разнообразная, но чаще всего конусы соседних россыпей смыкаются, образуя плачевидные пласты. Примером могут служить уже выработанные россыпи группы трубок месторождения Премьер.

Особое место занимают делювиальные россыпи территории Бакванга (Заир), развитые в районе с карстующимися породами. Здесь за счет размыва группы кимберлитовых тел (средняя алмазонасность 0,2 карата/м³), расположенных на склоне длиной до 3 км, сформировалась очень крупная по запасам (более 400 млн. каратов) россыпь. Образование ее стало возможным, так как ниже кимберлитовых тел по склону алмазонасный материал накапливался в карстовых воронках различной формы и глубины (до 80 м). При отсутствии карста россыпь была бы небольшой. Строение россыпи следующее (рис. 6):

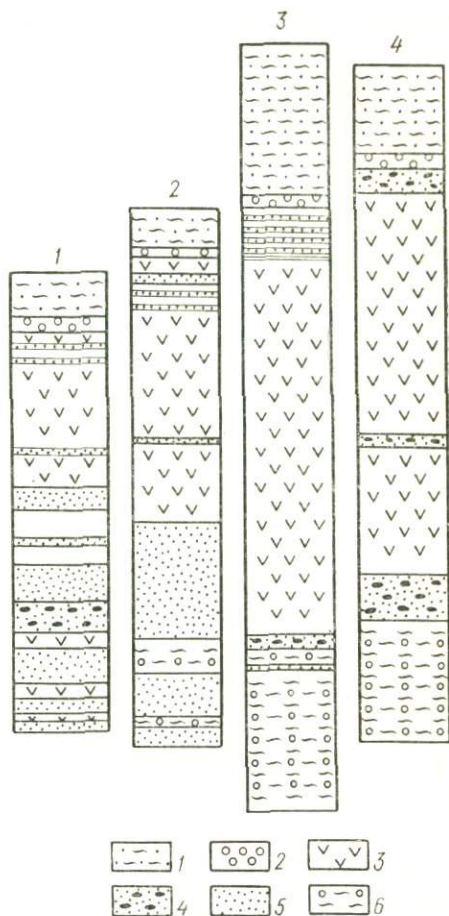


Рис. 6. Разрезы делювиальных россыпей района Бакванга. По Трофимову (1967).

1 — бурый песчанистый суглинок; 2 — галечник; 3 — продуктивные слои делювиальной россыпи; 4 — алмазные пески; 5 — пески и галечники; 6 — глины с обломками коренных пород

сверху залегают бурые песчанистые и ожелезненные суглинки мощностью до 30 м (неалмазонасный делювий). Они подстилаются галечниками мощностью 3 м, с галькой и валунами, несущими следы золотой обработки. Ниже, в карстовых воронках, лежат вторичные кимберлитовые брекчии, мощность которых зависит от глубины карстовой воронки и колеблется в пределах 20—80 м. (Трофимов, 1967). Вторичные кимберлитовые брекчии занимают зону шириной 100—300 м и длиной 3 км. Состав делювиальных россыпей: 40% песчано-глинистого материала с

угловатыми и округлыми зернами кварца, обломками каолинизированного полевого шпата и зернами ильменита, гематита, граната и других минералов и 60% обломков рыхлого песчаника серии Карру, доломитов, песчаников и других местных пород. Распределение обломочного материала в толще довольно равномерное. Сохранилось много обломков кимберлитов. На глубине 25—30 м от поверхности россыпь сцементирована кальцитом. Часто в разрезе отмечаются линзы песка, пропластки бурых углей и желваки каолина. Содержание алмазов в россыпи 8—9 каратов/м³.

За счет отдельной кимберлитовой дайки может образоваться промышленная россыпь небольшого масштаба. Примером могут служить россыпи Лесной Гвиней (В. Д. Скульский, 1971 г.). Так, на склоне р. Бононгкор, уклон которого около 4°, расположена россыпь с запасами около 2 тыс. каратов, при средних содержаниях около 1 каратов/м³. Промышленные россыпи образуются только в тех случаях, если дайки и жилы залегают вдоль склона. Форма почти всегда трапециевидальная с очень неровной фестончатой нижней частью, обусловленной микрорельефом склона. Распределение алмазов в россыпи неравномерное. Наибольшие содержания приурочены к центральным частям делей. Часто промышленные струи и гнезда чередуются с непромышленными.

За счет группы даек и жил, расположенных вдоль одного склона, могут формироваться небольшие по масштабам промышленные россыпи алмазов. Запасы этих месторождений никогда не превышают 0,5 млн. каратов, а россыпи могут образоваться только в результате размыва тел с высокими содержаниями алмазов. Не было случаев, чтобы промышленная россыпь образовалась за счет кимберлитовых даек средней алмазоносности, а тем более бедных.

Делювиальные россыпи.

образовавшиеся за счет размыва промежуточных коллекторов

Промежуточные коллекторы, несмотря на большое разнообразие форм, подразделяются на две группы: площадного и линейного развития. Промежуточные коллекторы линейного развития при формировании делювиальных россыпей играют такую же роль, как и кимберлитовые дайки и жилы. Поэтому остановимся на россыпях, сформировавшихся за счет промежуточных коллекторов площадного типа.

Делювиальные россыпи, образовавшиеся в результате размыва промежуточных коллекторов, известны на всех древних платформах. Среди них насчитывается более сотни промышленных месторождений (табл. 7). Они представлены небольшими по масштабам россыпями. Наиболее крупное месторождение этого типа (за три года эксплуатации извлечено 321 тыс. каратов алмазов) известно в районе Лихтенбурга (Трофимов, 1967). Здесь делювиальная россыпь образовалась в результате размыва древних (докембрийских и меловых) алмазоносных отложений. Алмазоносный делювий аккумуляровался в карстовых воронках глубиной 45 м. Строевые россыпи сложное, что указывает на формирование ее в не-

Данные о наиболее типичных делювиальных россыпях, образовавшихся
за счет размыва промежуточных коллекторов

Платформа	Первоисточник, его тип, среднее содержание алмазов, карат/м ²	Делювиальная россыпь								Примечание	
		название	длина, км	ширина, м	мощность, м	литология	среднее содержание, карат/м ²	запасы, млн. каратов	склон		климат
Африкано-Аравийская	Отложения „сухих рек“; 0,5—2	Рунгте-Лаагте (ЮАР)	1,6	220	10	Песчаные галечники	2	0,3	Пологий, 4—5°	Тропический, гумидный	Накопление материала в карстовых воронках
	Отложения древних террас; 0,1—0,5	Лихтенбург (Родезия)	1,3	150	3	Глинистые галечники	1—4	Около 5	Уклон 2°	Аридный, тропический	То же
	Тот же; 0,1—0,2	Кизумби (Танзания)	0,9	200	2	Песчаные галечники	0,26	0,01	Уклон 3°	Аридный, тропический	
	Протерозойские конгломераты; 0,25	Бурити Граиде	0,6	200	5	Суглинок, галечник	0,4	0,01	Пологий, 6—7°	Гумидный	

Примечание. Проанализировано 126 россыпей: 67% — с запасами 0,01—0,1 млн. каратов, 32% — с запасами 0,1—0,2 млн. каратов, и только 1% — один и более каратов.

сколько этапов. Очень четко выделяются два алмазоносных горизонта. Распределение алмазов линейное, их концентрации достигают нескольких десятков каратов на кубический метр, при содержании в коренных месторождениях не более 1 карата (Трофимов, 1967).

Несколько отличается карстовая воронка Ильмасдал, заполнение которой шло параллельно с увеличением глубины. По составу материала, степени алмазоносности и другим признакам выделяется ряд алмазоносных слоев. Распределение алмазов гнездовоструйчатое. Россыпь образовалась за счет смыва дождевыми водами продуктов разрушения пролювиальных россыпей так называемых сухих рек.

В условиях арктического климата делювиальные россыпи, образующиеся в результате промежуточных коллекторов, характеризуются специфическими чертами. Наиболее типичная россыпь приведена на рис. 7. Здесь горными работами вскрыты две карстовые воронки диаметром 30—40 м и глубиной 6—8 м. Воронки образовались в доломитах. Полный разрез россыпи следующий:

	Мощность
1. Торф бурого цвета с дрсевой доломитов	0,03 м
2. Илы темно-серые. Их льдистость составляет 50—60% и выражена бесчисленными прожилками мощностью 1 см. Содержание обломочного материала в илах составляет 4—5%	0,4 ..
3. Горизонт хаотического чередования линз, гнезд, прослоев льда, плотного серого льдистого ила и крупных глыб доломитов	1,7 ..
4. Щебенчато-глинистый материал с примесью экзотической гальки. Грубообломочного материала около 50%. Для слоя характерна линзовидная, выклинивающая слоистость	5,1 ..
5. Выветрелые и закарстованные доломиты анабарской свиты среднего кембрия.	

Алмазы встречены в слоях 3 и 4.

Алмазы в россыпи распределяются неравномерно. Наибольшие их содержания отмечены на окраинах карстовых воронок, в центральных частях алмазов меньше. Делювиальная россыпь в два-три раза богаче коренного месторождения. По типу россыпь близка к россыпи Бакванги (Заир). Однако арктический климат сказывается отрицательно на формировании делювиальных россыпей.

В арктических районах, кроме собственно делювиальных россыпей, установлены солифлюкционные алмазоносные отложения. Промышленных месторождений среди них не выявлено, но изучение их особенностей представляет научный интерес.

Автор проводил специальные исследования солифлюкционных форм рельефа и соответствующих отложений. Здесь развиты солифлюкционные террасы, имеющие в плане параболические контуры. Длина наиболее крупных 10—30 м, ширина 10—12 м. Уступы некоторых террас сложены с поверхности обломочным материалом, высота их 6—10 м и уклон 15—20°. Иногда на склонах встречаются ступенчатые солифлюкционные террасы (2—5 ступеней), высота уступов которых 2—3 м. Разрозненные солифлюкци-

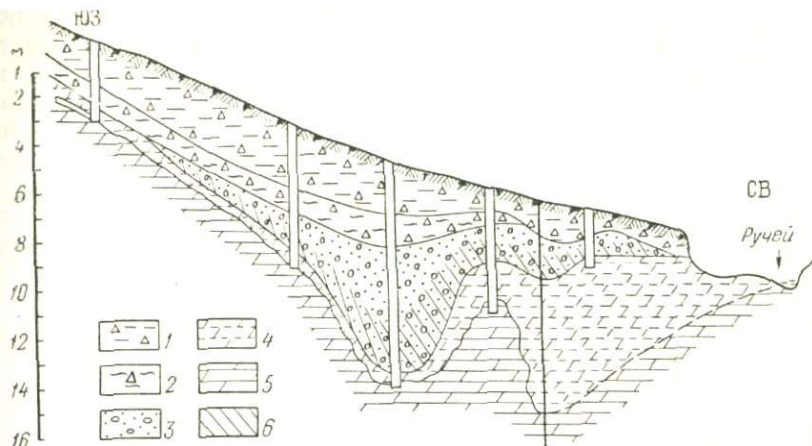


Рис. 7. Характерный разрез делювиальной россыпи алмазов в арктических районах.

1 — суглинки с дресвой доломитов; 2 — делювиальные глины; 3 — делювиальные россыпи алмазов; 4 — кора выветривания; 5 — доломиты; 6 — повышенные содержания алмазов в россыпях

онные террасы чаще всего встречаются на склонах с уклоном 2—5°, а гирлянды солифлюкционных террас — на склонах 5—10°.

Строение и состав отложений, слагающих эти формы, однотипны. Примером может служить один из разрезов солифлюкционных террас:

	Мощность
1. Почвенно-растительный слой	0,2 м
2. Суглинок зеленовато-серый, горизонтально-слоистый, легкий	0,4 „
3. Торф	0,2 „
4. Суглинок желтовато-серый с редкими обломками доломитов	0,3 „
5. Глина желтовато-серая, вязкая	0,3 „
6. Щебенка и дресва доломитов	0,3 „
7. Растительно-торфяной слой	0,1 „
8. Глина с редкой щебенкой доломитов	0,2 „
9. Доломит	

Отложения характеризуются сложной слоистостью, возникшей в результате смещения материала, вымораживания грубообломочных фракций и почвообразовательных процессов. Отмечены увеличение мощности отдельных слоев вниз по склону и некоторая дифференциация материала по крупности. Крупнообломочный и щебнистый материал в основной массе концентрируются у бровки солифлюкционных террас, приурочиваясь к близповерхностным частям. Такие же закономерности отмечены и в концентрации алмазов: наибольшие содержания их отмечены у бровок террас. На одном и том же склоне при одинаковом источнике питания концентрации алмазов не одинаковы. Наибольшие отмечаются в отложениях солифлюкционных террас, расположенных отдельно, меньшие — где террасы образуют гирлянды. Это можно объяснить тем,

что расположенная отдельно терраса продолжительное время обогащается алмазами из первоисточника, в то время как в районах развития гирлянд только верхние террасы питаются алмазами непосредственно из коренного месторождения. Установлено, что в бровках солифлюкционных террас содержания алмазов выше, чем в первоисточниках, в 2—3 раза. В других частях террас содержание беднее, чем в первоисточниках.

Солифлюкционные образования оказывают благоприятное влияние на обогащенность аллювиальных россыпей. Они транспортируют большую массу алмазосного материала со склонов, которая затем перерабатывается водным потоком.

ПРОЛЮВИАЛЬНЫЙ ТИП

Пролювиальный тип россыпей характеризуется широким развитием во всех климатических поясах. В аридных областях он представлен конусами выноса отложений сухих рек, в гумидных — отложениями временных водотоков. Наибольшим развитием пролювиальные россыпи пользуются в условиях аридного климата, характеризующегося резко выраженными сухим и дождливым периодами. Осадки здесь выпадают в виде крупных ливней, а потоки отличаются полноводностью и скоростью. Наводнения, возникшие под влиянием этих ливней, прекращаются так же быстро, как и начинаются. В результате на склонах возвышенностей и у их подножий возникают мощные конусы выноса. Соединяясь между собой, подобные пролювиальные образования формируют типичные потоки. В таких потоках наносы скорее катятся, чем текут (Трофимов, 1967). В соответствии с особенностями образования сухих рек сколько-нибудь заметного обогащения алмазами не происходит. Исключение составляют россыпи Касаи—Лунда (Заир), где отложения сухих рек приурочены к верхним членам серии Кванго верхнего мела, развитым в приподнятой южной, юго-восточной и восточной частях алмазной площади.

Примером может служить разрез россыпи (рис. 8), расположенной в районе Бегенфельса.

	Мощность
1. Глинистые пески	0—0,2 м
2. Глинистые пески с галькой сланцев и гранитов	0,2—4 „
3. Глинистые галечники со щебенкой	4—5,2 „
4. Пески красноватого цвета	5,2—6 „
5. Галечники с крупными валунами кварцита	6—9 „
6. Плотик, сложенный сланцами и кварцитами	—

Алмазосны пласты 3 и 5, что указывает на существование двух периодов поступления материала. Распределение алмазов в пределах алмазосных пластов неравномерно. Большие содержания алмазов отмечены на участках, сложенных крупнообломочным материалом с примесью глины. Масштабы россыпей значительны. Запасы алмазов превышают 5 млн. каратов при средних содержаниях 0,3—1,2 карата/м³.

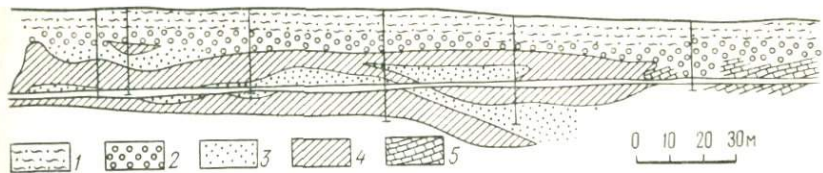


Рис. 8. Разрез пролювиальной россыпи в районе Бегенфельса. По Трофимову (1967).

1 — бурые песчанистые суглинки; 2 — поверхностные суглинки; 3 — линзы песка и песчаника, 4 — пролювиальная россыпь; 5 — коренные доломиты и доломитизированные известняки

В гумидном климате пролювиальные россыпи представлены конусами выноса мелких рек и логов. Они известны почти повсеместно, но россыпи с повышенными содержаниями алмазов встречаются в районе развития богатых коренных и россыпных месторождений. Содержание алмазов в пролювиальных россыпях выше, чем в делювиальных, что объясняется выносом временными водотоками мелкозернистого материала. Примером может служить одна из россыпей Сибири. Россыпь залегает в тальвеге лога, форма ее корытообразная, ширина 60—80 м, длина 1,5 км. Мощность алмазоносных отложений 0,2—6,1 м. Верхняя часть россыпи сложена илесто-глинистым материалом, а нижняя, залегающая на плотике, — гравийно-галечно-щебнистым. Граница между этими отложениями в средних частях тальвега резкая, у бортов выражена нечетко. Илестый материал концентрируется преимущественно в осевой части тальвега. Близ бортов он обычно перекрывается глинистыми отложениями. Ширина полос илестых отложений 20—60 м, в среднем 40 м. Мощность слоя илов 0,5—2,2 м. Иногда в илах наблюдается примесь глинистого материала в виде небольших прослоев. Илы содержат незначительную примесь грубообломочного материала. Песок содержится в незначительном количестве и встречается лишь в виде тонких прослоев среди глин. Гравийно-галечно-щебнистый материал в поперечном разрезе имеет близкую к линзообразной форму со слабой выпуклостью в осевой части тальвега. В основании разреза залегает глина с обломками известняков плотика. Средний гранулометрический состав отложений россыпи следующий: класс 200 мм — 0,1%; класс 200+100 мм — 3%; класс 100+25 мм — 6,72%; класс 25+8 мм — 12,56%; класс 8+2 мм — 12,87%; класс 2+0,5 мм — 19,47%; класс 0,5 мм — 45,28%. Таким образом, отмечаются низкое содержание грубообломочного материала и большая глинистость. Распределение алмазов в россыпи неравномерное. Обычно повышенные содержания алмазов наблюдаются при уменьшении мощности продуктивных горизонтов. Содержание алмазов в несколько раз выше, чем в делювиальной россыпи. Распределение алмазов в плане струйчатое. Струи с большими содержаниями приурочены к участкам, сложенным крупнообломочным материалом. Такая же закономерность отмечается

и в вертикальном распределении алмазов. Повышения содержаний в приплотиковой части россыпи не наблюдается.

Анализ фактического материала по пролювиальным россыпям гумидных областей позволяет сделать следующие выводы:

1) пролювиальные россыпи имеют небольшие размеры и образуются только за счет богатых первоисточников; 2) промышленные содержания алмазов отмечаются от первоисточника на расстоянии не более 1—1,5 км; 3) наблюдается струйчатость в распределении алмазов, причем большие содержания алмазов приурочены к более грубозернистым осадкам.

АЛЛЮВИАЛЬНЫЙ ТИП

Аллювиальные россыпи на древних платформах являются наиболее распространенным типом алмазоносных месторождений и служат основным источником добычи (табл. 8). Среди них выделяются косовые, русловые, пойменные и террасовые россыпи. Общая закономерность указанных россыпей — их приуроченность только к грубозернистым осадкам-галечникам, гравелитам. Алмазоносность песчанистого и глинистого аллювия убогая. Следует отметить, что незначительные по масштабам россыпи образуются в результате размыва кимберлитовых тел, а протяженные — за счет промежуточных коллекторов. Эта закономерность прослежена на всех древних платформах.

В зависимости от климатических, геолого-структурных, геоморфологических и других условий строение и алмазоносность аллювиальных россыпей различны. Остановимся на описании двух типов русловых россыпей, так как пойменные и террасовые образовались в таких же условиях, но в дальнейшем были приподняты или опущены.

Аллювиальная россыпь, образовавшаяся за счет размыва одной кимберлитовой трубки, характеризуется небольшой длиной (1—2 км). Ширина ее и степень алмазоносности зависят от крупности и алмазоносности кимберлитовой трубки, величины и мощности водного потока. На формирование россыпей этого типа большое влияние оказывают гидродинамические условия водных потоков. Алмазы концентрируются на участках рек со сравнительно быстрым течением и резким падением скоростей — на перекатах и в краевых частях плёсов. В аллювии крупных рек, в долины которых выносятся большое количество пустого обломочного материала, алмазоносные россыпи быстро разубоживаются. Даже около богатых трубок на расстояниях 2—4 км содержания алмазов в аллювии рек уменьшаются более чем в 10 раз по сравнению с участками, примыкающими непосредственно к трубкам. Средняя масса алмазов, как правило, больше, что объясняется выносом за пределы россыпи мелких алмазов. В непосредственной близости от коренных источников эта разница незначительная. В аллювии алмазы распространены по всей мощности. Однако в нижней приплотико-

вой части разреза их содержание обычно возрастает в связи с естественным обогащением при неоднократной переработке аллювия рекой и присутствием глинистой постели. Повышенные концентрации алмазов приурочены к более грубообломочным осадкам русловой фации. В плане распределение алмазов струйчатое. Ширина струй и их длина зависят от мощности потока и ширины русла. Обычно она колеблется в пределах 10—30 м, при длине 0,1—1 км.

Примером аллювиальной россыпи этого типа может служить россыпь, образовавшаяся в результате размыва одной трубки. На левом берегу в 3,5 км выше устья расположена трубка, восточный контакт которой непосредственно примыкает к руслу ручья. Долина ручья в среднем и в верхнем течении V-образная. В нижнем течении ручей протекает по высокой пойме. Ширина русла ручья 10—40 м. Протяженность промышленной россыпи 3,2 км, ширина (включая и низкую пойму) 40—400 м. В нижнем течении ручья россыпь расчленена на струи шириной 50—100 м и выклинивается в пределах поймы. Аллювиальные отложения представлены валуно-галечным и суглинисто-глинистым материалом. Их мощность 1,8—3,6 м, вниз по течению увеличивается. Гранулометрический состав аллювия: класс +100 м — 1,5%; класс —100+50 мм — 6,3%; класс —50+16 мм — 16,9%; класс —16+0,5 мм — 48,6%; класс —0,5 мм — 26,7%. Содержание алмазов ниже содержания в коренном источнике на 30%. По мере удаления от последнего содержание алмазов заметно уменьшается и в приустьевой части ручья промышленная россыпь выклинивается.

Россыпи, образовавшиеся за счет размыва промежуточных коллекторов, отличаются от россыпей, первоисточниками которых являются кимберлиты. Масштаб аллювиальной россыпи зависит от размеров промежуточного коллектора и его формы. Общая закономерность этого типа россыпей — их значительная протяженность. Промышленные россыпи такого типа известны на Африканской платформе (бассейн р. Конго и др.), на Индостанской платформе, на Бразильской платформе (россыпи бассейна р. Байя и др.). В строении и характере распределения алмазов этих россыпей много общего. Отличительные особенности связаны с различными климатическими особенностями, литологией и геолого-структурным положением, а также мощностями водных потоков.

Примером может служить детально изученная россыпь р. Вааль, расположенная на территории ЮАР (рис. 9). Россыпь представлена комплексом разновозрастных аллювиальных отложений, развитых в долине реки. Алмазоносность прослежена от устья реки до ее истоков на протяжении 80 км. Долина р. Вааль заложена в плотных породах архея и протерозоя. Относительная глубина ее вреза изменяется от 110—130 м в приустьевой части до 50—60 м в среднем течении и 10—15 м в истоках. Ширина долины на различных участках изменяется от 150 до 700 м, а в местах впадения наиболее крупных притоков достигает 1300—1500 м. Средний уклон продольного профиля руслового ложа 0,001. Нижний участок долины протяженностью 40 км характеризуется узким и плоским

Данные о некоторых наиболее типичных аллювиальных россыпях

Платформа	Название россыпи	Аллювиальная					
		длина, км	ширина, м	мощность продуктивного слоя, м	среднее содержание алмазов, карат/м ³	запасы алмазов, млн. каратов	тип реки
Африкано-Аравийская	р. Вааль (ЮАР)	80	20—110	0,2—2,1	0,5—1,7	80	III
	р. Оранжевая (ЮАР)	250	100—300	0,3—4	0,01—0,3	50	II
	р. Ренме (правый приток р. Вааль, ЮАР)	4	40	0,2—1,5	1—20	1,7	IV
	р. Вет (левый берег р. Вааль, ЮАР)	45	120—150	23	0,02—0,2	5	III
	Гонг-Гонг (ЮАР)	3	15—40	2—42	0,2—300	2,5	IV
	Де-Бирс (ЮАР)	1,1	20—40	1—2,5	0,9—1,2	0,8	IV
	р. Рьет (приток р. Вааль, ЮАР)	70	до 200	1—4	0,1—0,6	1	III
	р. Касан (Заир)	100	60—300	До 3	1—8	100	III
	р. Кубанго (Заир)	100	до 80	0,6—3	0,5—1	25	III
р. Бушимайя (Заир)	60	30—180	0,5—2	0,5—3	100	III	

древних платформ

россыпь		Первоисточник			Примечание
климат	тип	размер	среднее содержание алмазов, карат/м ³	местоположение в рельефе	
Тропический	I и V	Площадное развитие	0,2—0,8	Водоразделы, склоны	
"	I, II, V, VI	То же	0,1—0,5	То же	Россыпи в настоящее время не разрабатываются
"	I, V	" "	0,01—2,3	Склоны	Россыпи ближнего сноса
"	V	" "	0,1—0,2	Водоразделы, склоны	
"	I и V	Фрагментарное развитие	0,2—1	Склоны	Накопление алмазов в карстовых воронках
"	I	Размывается верховьями ручья	0,5	Пологий склон	
"	II		0,25	Склон	
"	V	Площадное развитие	0,2—1,8	Водоразделы, склоны, террасы	
"	V	То же	0,2	Водоразделы, склоны, террасы	
"	II, V	" "	0,5—8		

Платформа	Название россыпи	Аллювиальная					
		длина, км	ширина, м	мощность продуктивного слоя, м	среднее содержание алмазов, карат/м ²	запасы, млн. каратов	тип реки
Южно-Американская	р. Богаем (Бразилия)	72	100	0,2—3	0,6	3	III
	р. Тибажы (Бразилия)	50	60—100	1—2	0,3—0,4	6	II
	р. Карони (Венесуэла)	35	30—150	0,2—4,5	0,2—2,3	12	III
	р. Куюни (Гвиана)	15	30—50	0,3—1	0,2—1	3	IV
	р. Курупунг (Венесуэла)	18	30—60	0,5	0,3	0,6	IV
	р. Сегенанг (Венесуэла)	5,5	20	1,5	0,5	0,4	IV

днищем, крутыми террасированными склонами, местами с отвесными обрывами коренных пород. Поперечный профиль долины V-образный, в приустьевой части каньонообразный. В долине развиты алмазоносные образования трех надпойменных террас, поймы двух уровней и русла. Россыпь образовалась за счет размыва промежуточных коллекторов докембрийского, мелового и неоген-четвертичного возраста, развитых по всей площади и характеризующихся низкой алмазоносностью. Наиболее детально изучена русловая россыпь. Русло реки представляет собой чередование относительно широких (20—50 м) плёсов глубиной 1,0—2,0 м и протяженностью 100—1200 м с перекатами шириной 10—15 м и длиной 200—300 м. Отложения русла сложены песчано-галечно-щебнистым материалом; они скрыты под водой и лишь иногда в межень обнажаются на перекатах. Средняя мощность галечников

россыль	Первоисточник				Примечание
	климат	тип	размер	среднее содержание алмазов, мг/м ³	
Тропический	V	Площадное развитие	0,1—0,2	Водоразделы, склоны	Первоисточник россыпей — древние докембрийские конгломераты
"	V	"	0,1—0,3	То же	Первоисточник — пермские конгломераты
"	V	"	0,1—0,3	" "	Первоисточник — докембрийские конгломераты
"	V	"	0,1—0,3	"	То же
"	V	"	0,1—0,2	Склоны	" "
"	V	"	0,1—0,3	"	" "

в целом по руслу составляет 1,2 м. Изменяется она на отдельных небольших по протяженности участках в сравнительно небольших интервалах. Максимальные мощности аллювия (5,0—5,5 м) наблюдаются в приустьевом отрезке долины и в пределах карстовых депрессий.

В составе аллювия преобладает фракция обломков крупнее 16 мм (33,4%). Значительна по содержанию самая мелкая фракция (—0,5 мм), составляющая 30,5% общего объема. Остальная часть аллювия представлена обломками размером —16+0,5 мм. Грубообломочный материал состоит из гранитов (80—85%) и сланцев. В подчиненном количестве встречаются гальки и гравий (кварца, халцедона, кварцито-песчаников, роговиков, яшм). Мелкозернистый материал представлен кварц-полевошпатовым песком:

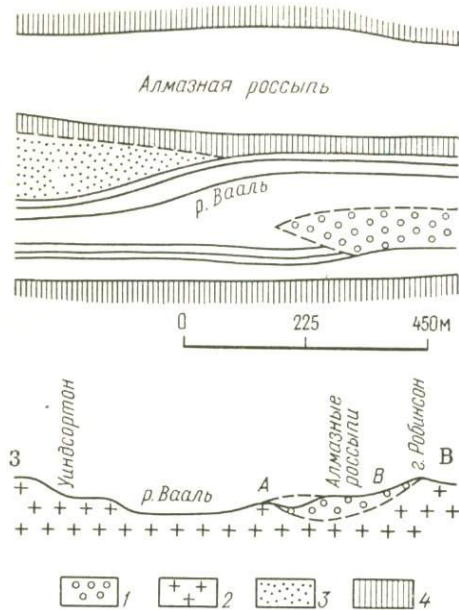


Рис. 9. Алмазная россыпь р. Вааль в ЮАР (Трофимов, 1967).

1 — алмазоносный галечник; 2 — коренное ложе р. Вааль; 3 — песчаные косы; 4 — коренные берега долины р. Вааль

Второй участок (длина 23 км) включает долину реки на отрезке 19—42 км выше устья. Он характеризуется значительным расширением долины, уменьшением глубины ее вреза, наличием всех уровней террас, резким уменьшением мощности аллювия и максимальной алмазоносностью русла и поймы. Склоны долины выположены и покрыты делювиальными осыпями. Русло реки сужено и изобилует перекатами. В русловом аллювии повсеместно наблюдаются валуны размером до 0,2—2 м. На отдельных отрезках небольшой протяженности количество валунов изменяется от 10 до 49%, а в некоторых случаях на перекатах до 75%. Повышенное содержание валунного материала обусловлено поступлением в русло обломков пород из делювия. Мощность аллювия зависит от величины уклона продольного профиля. Степень изменения мощностей галечников в продольном профиле русловой россыпи характеризуется коэффициентом вариации 57,5.

В поперечном профиле россыпи галечники малой мощности приурочены к пристрежневому участку русла. Степень изменения средних содержаний алмазов в продольном профиле русла, низкой и высокой поймы выражается коэффициентами вариации, соответственно 82; 92,2 и 86,7%. Распределение алмазов по содержа-

Промышленное содержание алмазов установлено на отрезке долины протяженностью 60 км (19—80 км выше устья). Выделяются пять различных участков россыпи. Первый (длина 20 км) включает приустьевую часть реки. Здесь развиты крупные мандры длиной до 3 км, глубокий эрозийный врез (110—130 м), по сравнению с водораздельным пространством, узкое днище и крутые склоны, местами с отвесными обрывами коренных пород. На этом отрезке распространены аллювиальные отложения трех надпойменных террас, двух уровней поймы и русла. Для этого отрезка долины характерны наибольшие мощности аллювия. Алмазоносность высоких террасовых уровней сравнительно бедная. Более обогащены алмазами русло и низкая пойма.

ниям зависит от мощности продуктивного слоя россыпи и особенностей морфологического строения различных участков долины. Наибольшие содержания алмазов приурочены к участкам отmelей плавных излучин. Для отmelей, приуроченных к крутым излучинам, более характерны умеренные содержания, а для отmelей на прямолинейных участках реки — пониженные.

В поперечном профиле россыпи дифференциация алмазов по содержаниям выражена отчетливо. Обогащенные алмазами струи в большинстве случаев совпадают со стрежневыми частями потоков. Струйчатость в распределении алмазов подчеркивается полосами галечников с различными содержаниями. Например, полоса русловых галечников с содержаниями алмазов 5—10 каратов/м³ на протяжении 3 км полностью совпадает со стрежнем реки, повторяя все изменения в направлении последнего.

В вертикальном разрезе россыпи распределение алмазов неравномерное. Наибольшие их содержания в галечниках малой мощности, а с увеличением мощности содержание их значительно понижается. Средняя масса алмазов увеличивается на отрезках россыпи с более крутым уклоном профиля и снижается в местах его выполаживания. Крупные алмазы чаще всего концентрируются на отmelях, расположенных у крутых излучин, и приурочены к стрежневым ее частям.

Третий участок россыпи (протяженность 15 км) включает отрезок долины в 42—63 км выше устья. Ширина долины в среднем 0,5 км, относительная глубина вреза 85 м. Широко развита пойма. Первая и вторая террасы встречаются только в одном месте. Поперечный профиль долины корытообразный, склоны выположенные. Рассматриваемый отрезок долины отличается малой мощностью руслового аллювия. На отдельных участках на поверхность русла выходят коренные породы. Алмазоносность аллювия различных эрозионных уровней неодинакова. Промышленные содержания установлены повсеместно в русле и низкой пойме. Алмазоносность более высоких уровней низкая.

Четвертый участок (протяженность 10 км) включает отрезок реки в 70—80 км выше устья. Здесь долина сужается, мощность аллювия увеличивается. Продольный профиль долины выположенный, глубина вреза уменьшается до 55—60 м. Поперечный профиль — корытообразный, склон выположен. В пределах долины развиты отложения русла, поймы, первой и второй надпойменных террас. Мощность аллювия, включая продуктивные галечники, довольно выдержана. Количество продуктивных галечников поймы составляет 23—58%, на террасах 35—76%. Алмазоносность в целом на этом участке россыпи беднее, чем на других.

Пятый участок (протяженность 20 км) расположен в истоках (80—100 км от устья) и характеризуется однообразным строением долины, резким сужением ее, ограниченным площадным развитием аллювия и значительным увеличением его мощности. Ширина долины в среднем 200 м, поперечный профиль ее корытообразный, склоны сильно выположены, глубина вреза не более 15—20 м.

В долине развит комплекс погребенных аллювиальных отложений, по своему гипсометрическому положению сопоставляемый с уровнем высокой поймы. Русло реки блуждает по четковидному днищу долины. На нижнем отрезке участка установлены современные грубообломочные отложения, отсутствующие на верхнем отрезке. Среднее содержание алмазов по участку невысокое. Максимальные значения не превышают 2 карата/м³ и отмечены лишь на отдельных участках.

Сравнивая отдельные участки россыпи, можно сделать вывод, что общие закономерности, связанные с формированием россыпи за счет площадного развития промежуточных коллекторов, нарушаются морфологией долины, уклонами руслового ложа, гидродинамикой водного потока.

На основании анализа фактического материала по аллювиальным россыпям возможно выделить четыре типа рек, отличающихся особенностями условий формирования россыпей.

Тип I — очень крупные транзитные реки, для которых характерны большие расходы водотоков (более 1000 м³/с). К ним можно отнести крупные реки Сибирской платформы (рис. 10), реки Конго и Оранжевую на Африканской платформе. Долины этих рек широкие, аллювиальные отложения большой мощности (10—50 м). Привнос материала (в том числе алмазоносного) боковыми протоками не оказывает существенного влияния на состав транзитного аллювия. Поэтому здесь не может образоваться богатых россыпей. Поисковые работы, проведенные в бассейне этих рек, подтвердили это.

Тип II — реки с расходами водотоков от 300 до 1000 м³/с (рис. 11). Длина указанных рек более 300—500 км, ширина русел 70—200 м, мощность руслового аллювия от 1 до 6—10 м. Мощный водный поток обеспечивает перенос грубообломочного материала на большие расстояния (Прокопчук, Скосырев, 1974). Влияние боковых потоков сказывается на небольших расстояниях (3—5 км), а затем происходит нивелировка состава за счет транзитного материала. Богатые алмазоносные россыпи в таких реках могут образоваться только за счет обогащения аллювия тяжелой фракцией и выносом мелких составляющих на участках с энергичными эрозионными процессами в областях, испытывающих поднятия. Следует еще раз подчеркнуть, что в реках такого типа россыпи могут образовываться только за счет промежуточных коллекторов, имеющих большое площадное развитие.

К типу III относятся водотоки длиной 30—150 км (рис. 12). Ширина их русел в межень 10—50 м. Скорости течения в межень составляют 0,4—1 м/с на плесах и 1,7—2 м/с — на перекатах. Средний уклон профиля не превышает 0,001. Расходы водотоков составляют в среднем 5—20 м³/с. Грубообломочный материал в них переносится на незначительное расстояние. Это прослежено автором на многочисленных реках. (Прокопчук, Скосырев, 1974). Там основная масса галек долеритов концентрируется на расстоянии 5—8 км от источников размыва, а в 15—20 км встречаются

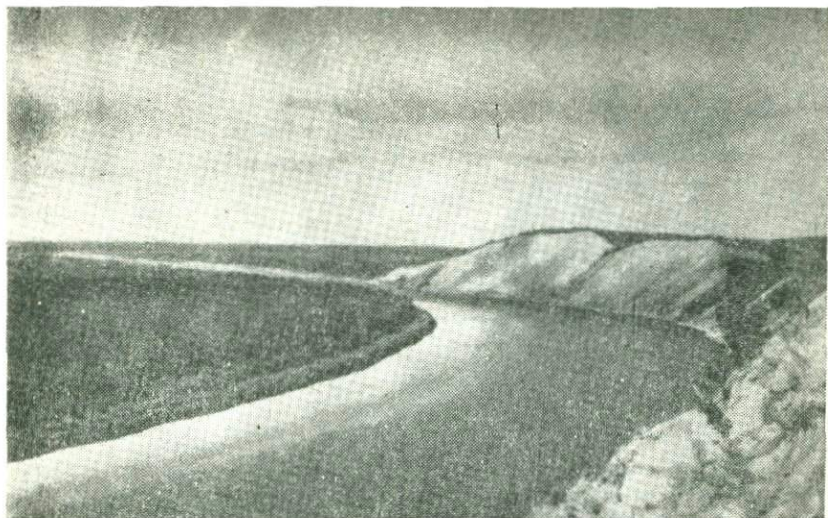


Рис. 10. Характерный вид рек I типа

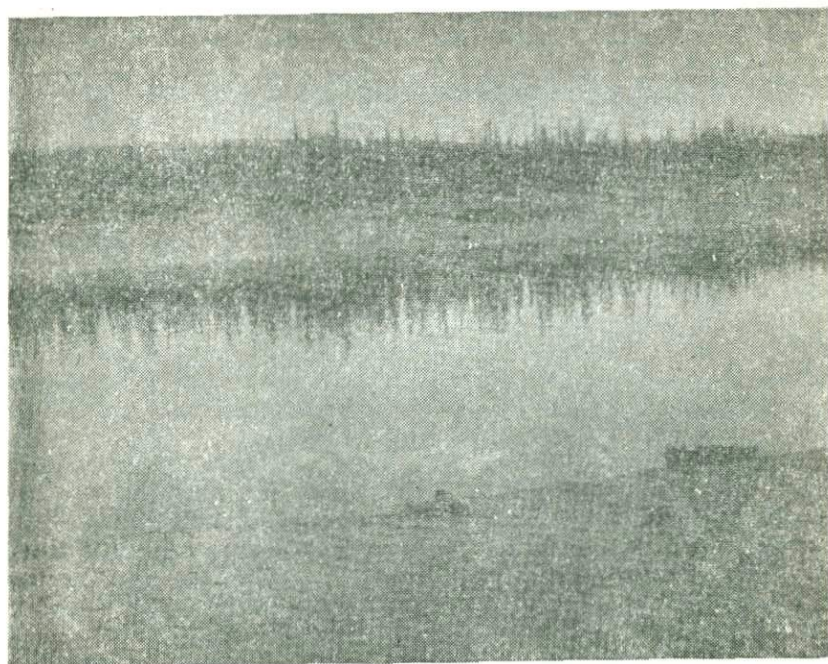


Рис. 11. Характерный вид рек II типа

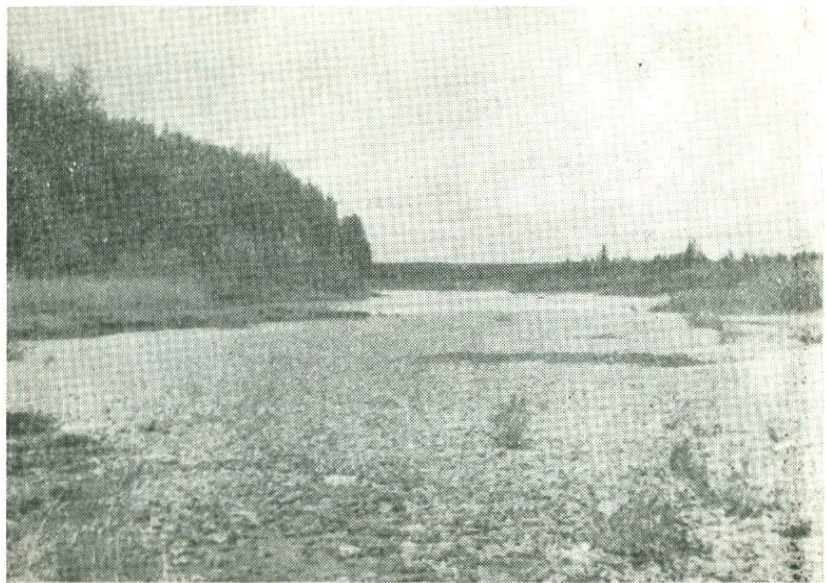


Рис. 12. Характерный вид рек III типа в полях развития плотных пород.

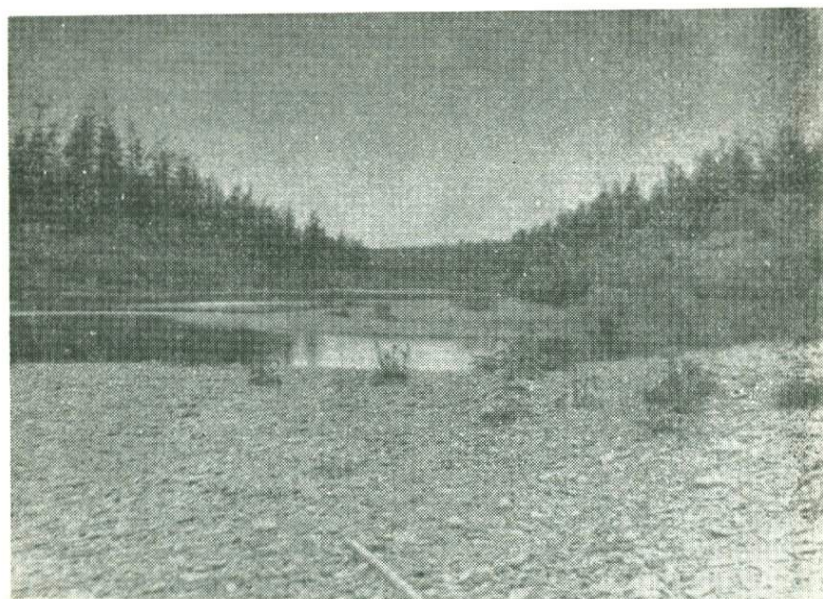


Рис. 13. Характерный вид рек IV типа в полях развития плотных пород.

лишь единичные гальки этих пород. Боковые притоки рек подобного типа влияют на состав аллювия главной реки и ее алмазонасность. Кроме того, на содержание алмазов большое влияние оказывает и морфология долины. Так, на плесах, перекатах, прямолинейных и криволинейных участках реки содержания алмазов разные. Поэтому для образования богатых россыпей в долинах этого типа нужно, чтобы алмазы поступали из большинства ее притоков.

Тип IV — мелкие реки, длина которых не превышает 20—30 км. Для них характерны небольшие водотоки. В зависимости от геологического строения местности можно выделить два подтипа рек: реки, текущие в полях развития плотных пород, и реки, заложенные в рыхлых отложениях.

Для рек, текущих в полях развития плотных пород, характерны V-образный профиль долины, ступенчатый продольный профиль русла, щебенчато-галечный аллювий (рис. 13). Русла рек этого типа состоят из ряда глубоких уловов (котловин), соединенных узкими протоками. В сухое время подземный водоток в протоках проходит под аллювием. К низовьям эти реки и ручьи становятся шире, сток в них нормализуется. Судя по результатам многочисленного опробования, на участках, где размываются алмазонасыщенные отложения, основная масса алмазов концентрируется в уловах, в которых более энергично происходит обработка, сортировка материала и вынос песчано-глинистых частиц. Отмечено, что наибольшие концентрации алмазов приурочены к центральной части улова. На участках, где уловы отсутствуют, алмазы в основном сосредотачиваются в пристрежневой части потока, а ближе к берегам идет разубоживание за счет поступающей со склонов пустой породы. Отмечено, что концентрация алмазов возрастает вниз по течению рек. Это можно объяснить, во-первых, тем, что в этом направлении увеличиваются водные потоки и соответственно возрастают интенсивность и продолжительность времени переработки аллювия. Во-вторых, в том же направлении происходит уменьшение уклона, что способствует осаждению алмазов, привносимых с верховьев. В-третьих, общее расширение долины в низовьях ведет к удалению от коренных берегов, что уменьшает поступление неалмазонасного материала с бортов долины в русло. Повышенные концентрации алмазов в таких реках отмечаются в приустьевых частях, а также в непосредственной близости от размываемых алмазонасыщенных отложений. В последнем случае длина обогащенного участка не бывает больше 2—5 км и зависит от длины полосы размыва алмазонасыщенных отложений и степени их алмазонасности. Установлено, что русла рек этого типа при благоприятных условиях обогащены алмазами в 2—10 раз больше, чем первоисточники.

Верховья рек, заложенных в рыхлых отложениях (рис. 14), представляют собой едва выраженные водотоки, не имеющие четкого русла. Склоны долин очень пологие и постепенно переходят в плоское днище. Весной после таяния снега или летом после дождей водотоки блуждают по поросшей растительностью долине и

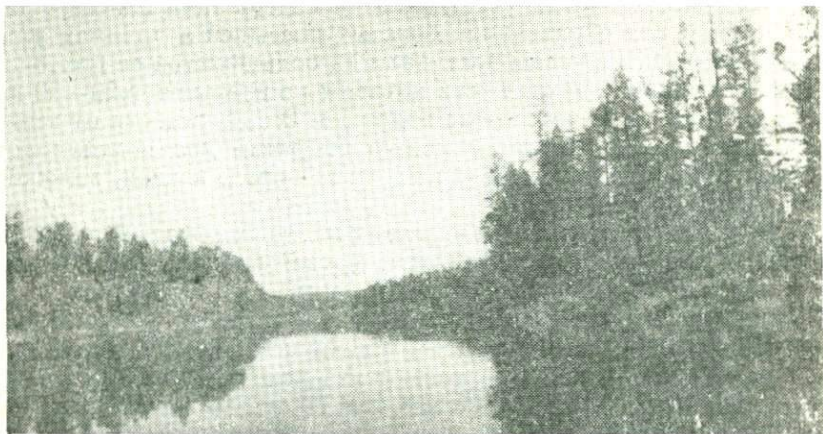


Рис. 14. Характерный вид рек IV типа в полях развития рыхлых пород

очень слабо эродированы. В среднем течении эти реки состоят из чередующихся озеровидных расширений и узких протоков. Диаметр первых 2—6 м, ширина вторых 0,5—1 м. В протоках аллювий представлен галечниками. Именно на этих участках возникают повышенные концентрации алмазов. Строение аллювия в озеровидных расширениях сложное. Установлено, что в строении аллювия отмечается следующая последовательность накоплений. На плотике, представленном здесь плотными песчаниками, лежит слой галечника мощностью 0,2 м, выше идет слой песка (5 см), затем опять галечник, опять песок и т. д. При мощности аллювия всего в 1,2 м отмечено 11 галечниковых и 12 песчаных слоев. Цикличность в осадконакоплении объясняется периодическим привносом галечного и песчаного материала. Галечники привносились в эпохи, характеризующиеся очень большими паводками. С привносом грубообломочного материала связано и обогащение алмазами. В нижнем течении реки этого подтипа сохраняют четковидное строение русел, однако ширина и длина протоков постепенно возрастают, а в строении озеровидных расширений не наблюдается цикличности. В протоках появляются перекаты, сложенные галечниками, а озеровидные расширения переходят в вытянутые плесы, сложенные песчаным материалом. Алмазы в основном приурочены к перекатам. Собранный материал по русловым россыпям свидетельствует о наличии двух зон, в которых обогащенность алмазами возрастает. В первой содержится алмазов в 5—10 раз больше, чем в размываемых слоях; приурочена она к зоне размыва алмазоносных конгломератов, ширина ее 10—15 км (рис. 15). Вторая зона

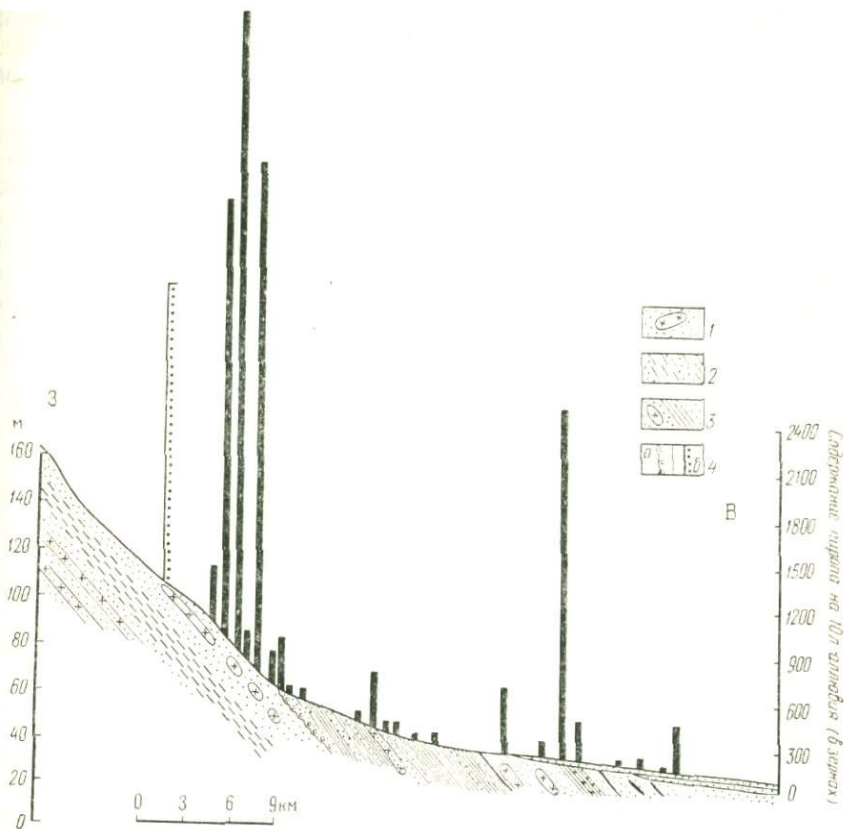


Рис. 15. Характер обогащения аллювия рек IV типа в полях развития рыхлых пород.

1 — песчаные толщи; 2 — глинисто-песчанистые толщи; 3 — песчаные толщи с прослоями глины и песчаников; 4 — алмазоносные конгломераты: а — в русле; б — на водоразделе.

связана с резким перегибом продольного профиля рек при переходе их в большую долину. Длина ее 5—10 км, а обогащенность алмазами в 2—5 раз больше, чем в источнике. И в первой, и во второй зонах алмазы приурочены к отрезкам рек, сложенных галечниковым материалом, т. е. к перекатам.

Аллювиальные россыпи всех типов рассмотренных рек характеризуются общими закономерностями распределения алмазов (Прокопчук, 1969; Леонов и др., 1966; Алмазные россыпи..., 1967). Остановимся на основных положениях.

Распределение алмазов в руслах рек платформенных областей

Характер распределения алмазов в аллювии, что очень важно в теоретическом и в практическом отношении, еще недостаточно изучен. Некоторые данные по этому вопросу приводятся в работах

И. С. Рожкова (1960), А. Г. Дьякова (1961), Б. И. Прокопчука (1964, 1967), Н. В. Разумихина (1959), М. И. Плотниковой и др. (1967), Б. И. Прокопчука и Г. Ф. Дорганова (1970). За рубежом исследования в этом направлении не проводились.

Автор совместно с Г. Ф. Доргановым (Прокопчук, Дорганов, 1970) провел специальные работы по русловым россыпям Сибирской платформы. Для исследований выбраны участки трех рек разного размера, с одинаковой литологией плотика и примерно одинаковым гранулометрическим составом аллювия. Россыпь реки 1 заложена в поле развития карбонатных пород. Скорость водотока 1—1,5 м/с, расходы 5—20 м³/с. Россыпь реки 2 также заложена в карбонатных породах. Глубина реки в межень на плесах 1—4 м, на перекатах 0,2—1 м, скорость течения 0,2 м/с на плесах и 0,6—0,7 м/с на перекатах. Форма долины ящикообразная. Россыпь реки 3 более крупная по размерам. Долина ее также ящикообразная с террасовидными склонами. Плесы встречаются реже, чем перекаты. Глубина их 1—4 м, а перекатов 0,3—0,8 м. Скорость течения на плесах 0,7—0,8 м/с, на перекатах 2,5—3 м/с. Средний продольный уклон русла 1,3 м/км.

Проанализированы закономерности изменения мощностей аллювия, распределение алмазов в его толще, установлена зависимость между ними.

Мощности аллювия и их распределение в руслах

Мощности аллювия на описываемых трех реках разные. Для выявления закономерности их изменения построена схема мощностей аллювия по данным горных выработок, пройденных на всю мощность, учтены отдельные поисковые выработки, а также проведен анализ аэрофотоснимков по методу В. Н. Орлянкина (1962).

Анализируя мощности 80-километрового участка реки 1, установлено, что наименьшие мощности приурочены к верхней части долины, причем распределение ее по руслу довольно равномерно. Аллювий выстилает русло маломощным (0,5 м) слоем. Кос и крупных насыпных форм в русле почти не встречается. Струйчатость аллювия подчеркивается лишь разным гранулометрическим составом. В центральной пристрежневой части потока концентрируется валунно-щебенчато-галечный материал, в прибрежных зонах — галечный. На верхнем участке увеличение мощностей до 1 м происходит на выпуклых частях крутых излучин. Причем мощности повышаются за счет насыпных аккумулятивных форм.

Второй участок реки характеризуется частым изменением мощностей аллювия. Наименьшие мощности (0,5 м) приурочены к центральным частям русел на прямолинейных участках. Мощности в 1 м концентрируются в прибрежных частях русел, более крутые — в выпуклых частях излучин. Здесь намечается резкая смена мощностей по продольному профилю реки, что связано с

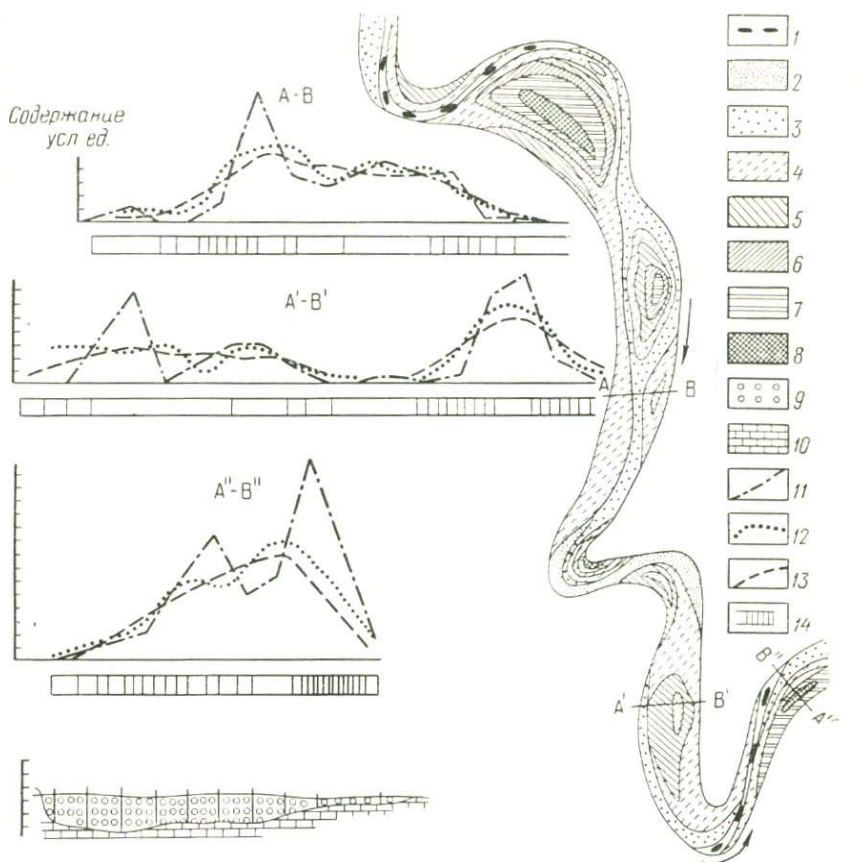


Рис. 16. Схема распределения мощностей аллювия и содержаний алмазов на различных участках русловых россыпей.

1 — участки русла без аллювия; 2—8 — мощности галечников (в м): 2 — до 0,5, 3 — 0,5—1, 4 — 1—2, 5 — 2—3, 6 — 3—4, 7 — 4—5, 8 — больше 5; 9—10 — разрез руслового аллювия; 9 — галечник, 10 — породы плотика; 11—13 — график изменения содержаний алмазов (в усл. ед.): 11 — фактическое, 12 — при первом сглаживании, 13 — при втором сглаживании; 14 — ширина полос, соответствующих различному содержанию алмазов в русловых галечниках

частым чередованием плесов и перекатов. На плесах мощности аллювия меньше, на перекатах значительно больше.

Третий приустьевой участок характеризуется очень равномерным распределением мощностей. Здесь участков с 0,5 м мощностью аллювия нет. Мощности в 1 м встречаются по всему руслу, а 2 м и более приурочены к приборежным полосам и выпуклым частям излучин. Чаше всего встречаются галечниковые косы.

На реке 2 распределение мощностей аллювия изучалось на более протяженном участке (рис. 16). На прямолинейных участках русла мощности аллювия небольшие (0,5—1 м) и выдержанные. В пределах излучин наблюдается частое чередование мощ-

ностей, причем на перекатах отмечены повышенные мощности, а в центральных частях плесовых лощин пониженные. Наибольшие мощности (более 5 м) отмечены в начальных и конечных частях крупных излучинах, где образуются высокие прибрежные галечниковые косы.

На реке 3 изучены два участка. Они разъединяются участком, на котором детальные работы не производились. Строение участков также различное. Верхний расположен в поле развития карбонатных пород палеозоя, характеризуется очень крутыми врезанными меандрами и полным отсутствием прямолинейных участков. Он отличается сравнительно малыми мощностями (0,5—1 м), которые занимают 20—40 м пристрежневой зоны потоков. В излучинах рек мощности увеличиваются от русла в сторону берега от 1 до 5 м, и в результате образуются крупные галечниковые косы.

Нижний участок, где установлены блуждающие меандры, характеризуется повышенными (1—6 м) мощностями. Кроме повышения мощностей, в излучинах возникают аккумулятивные острова. Наименьшие мощности характерны и для пристрежневых зон потоков. Струйчатость в распределении грубообломочного материала очень четко выражена. Более грубообломочный материал приурочен к струям аллювия малой мощности. Но и в пределах этих струй материал еще более дробно разделяется по гранулометрическому составу.

Анализируя мощности перечисленных трех рек, можно сделать вывод, что они зависят от величины рек и формы русел. На мелких реках (типа 1) форма русла почти не влияет на мощности и рисунок распределения мощностей. Здесь основная роль принадлежит характеру продольного профиля и силе водного потока. Так, равномерность в распределении мощностей аллювия в верхнем отрезке реки зависит от водного потока, который не разделяется на струи с разными скоростями и течет как бы единым потоком с одинаковой силой. В средней части увеличение крутизны продольного профиля вызывает неравномерное движение водных струй и их эрозионно-аккумулятивная роль неодинакова. В результате на плёсах и на перекатах наблюдается чередование участков с различной мощностью продольного и поперечного профилей россыпи. В нижнем течении реки во время паводков материал равномерно распределяется по всему руслу, и в зоне подпруживания (15—20 км) образуется аллювий одинаковой мощности.

На более крупных реках (2 и 3 типа) распределение и мощности аллювия зависят в основном от формы русла. В пределах прямолинейных отрезков аллювий маломощный и струи его прямолинейны. Наименьшие мощности приурочены к пристрежневым зонам водных потоков. Мощности увеличиваются от центральных частей русел к их берегам.

На участках с врезанными меандрами (верхний отрезок рек 3 и 2) наименьшие мощности приурочены к центральным частям

плёсовых лощин. Мощности увеличиваются к берегу, а наибольшие отмечаются в прибрежных полосах, где образуются прибрежные косы разной формы и размера. На участках с блуждающими меандрами (нижний участок реки 3) наибольшие мощности отмечены в центральных частях русел, где образуются намывные острова с мощностью аллювия 3—5 м. Наименьшие мощности отмечены в пределах верхних побочной перекатов и в центральных частях плёсовых и лощин, а также на вогнутых частях излучин. Они соответствуют наибольшим скоростям течений. При наличии в потоках нескольких стрежней, наименьшие мощности также образуют несколько полос.

Распределение алмазов в аллювии различной мощности

Между мощностями аллювия и содержанием алмазов установлена определенная связь.

Основная масса алмазов сосредоточена в слоях небольшой мощности. К ним приурочены и находки наиболее крупных алмазов. Оценка жесткости связей производилась определением коррелятивной зависимости, математическая сущность и свойства которых описаны во всех прикладных курсах математической статистики и в специальных геологических статьях (Романовский, 1974; Мягков, Баталов, 1967; и др.). Результаты исследований приведены в табл. 9, 10, 11.

На основании полученных данных можно сделать выводы об очень четких отрицательных связях между мощностями и содержаниями алмазов, т. е. меньшим мощностям соответствуют большие содержания. Нужно отметить, что коэффициенты корреляции для всех трех изученных рек имеют близкие значения (от $-0,33$ до $-0,59$).

В реках северо-востока Сибирской платформы наиболее обогащены аллювиальные отложения мощностью не более 1—1,5 м. В мелких реках мощность аллювия еще меньше. Иначе говоря, обогащен алмазами только тот слой аллювия, который ежегодно активируется, а это зависит от расходов водных потоков и их скоростей.

Распределение алмазов в слоях разной мощности

В отношении закономерности распределения алмазов в плане и по вертикальному разрезу в слоях аллювия разной мощности существуют противоречивые мнения. Одни исследователи считают, что распределение алмазов струйчатое, другие — гнездовое, третьи — гнездово-струйчатое. По вопросу о распределении алмазов в вертикальном разрезе существуют два мнения: 1) алмазы равномерно распределяются по всей толще аллювия и 2) алмазы концентрируются в приплотиковой части.

Автор в результате анализа материалов детального опробования пришел к выводу, что аллювиальные россыпи платформ характеризуются струйчатым строением. Причем выделяются макроструи (см. рис. 16; рис. 17), соответствующие струям материала

Данные о природных связях между содержаниями алмазов (усл. ед.)

у	0,0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0	4,0—4,5	4,5—5,0	5,0—5,5	5,5—6,0	6,0—6,5	6,5—7,0	7,0—7,5	7,5—8,0
0,0—1,0	6	3	11	3	2	1	4			1		1		1		
1,0—2,0		1	6	3	1											
2,0—3,0	2		4	1		1										
3,0—4,0	1	1	3	4												
4,0—5,0	1	2	5	1												
5,0—6,0		1	1													
6,0—7,0		2	2													
7,0—8,0	1			1												
8,0—9,0		2	1													
9,0—10,0	1															
10,0—11,0																
11,0—12,0	1			1												
12,0—13,0																
13,0—14,0																
14,0—15,0	1															
15,0—16,0		1														
16,0—17,0	1	2														
17,0—18,0																
18,0—19,0		1														
K	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
$n_k K$	15	16	33	14	3	2	4			1	1	1		1	1	
$n_k K$	-120	-112	-198	-70	-12	6	-8			1	2	3		5	6	
$n_k K^2$	960	784	1188	350	48	18	16			1	4	9		25	26	
	-48	-24	-88	-24	-16	-8	-32			-8		-8		-8	-8	
	-12	-7	-42	-21	-7	-6										
$n_{lk} K$	-5	-5	-24	-6												
	-4	-8	-15	-20												
	-1	-3	-20	-4												
	1	-4	-3	-1												
	3	7	-4	-3												
	6	16														
	8	10														
$\sum n_{lk} l$	-52	-18	-196	-73	-23	14	-32			-8		-8		-8	-8	
$K \sum n_{lk} l$	416	126	1176	365	92	42	64			-8		-24		-40	-48	-64

различной мощности, и микроструи в их пределах. Строение макроструи более сложное и зависит от гранулометрического состава отложений, от поступлений новой порции алмазоносного материала из боковых притоков, от изменения литологии плотика, гидродинамических условий и др.

Макроструи в русловых россыпях реки 1 в трех участках различны. Так, в нижнем течении ширина их 6—34 м, и они протяженные. Струи с большим содержанием у́же, чем со средним. Для среднего участка реки характерны узкие и прерывистые струи (4—10 м). Некоторые из них имеют очень высокие содержания алмазов. Алмазы встречаются на участках от центральных частей плёсовых лощин и до верхних побочной перекатов. Обогащенные струи приурочиваются к аллювию наименьшей мощности в пристрежневых зонах потоков. В этих же зонах концентрируются наиболее крупные алмазы.

В реках 2 и 3 струйчатость также четко выражена, но она другого типа. На прямолинейных участках русла струи протяженные и выдержанные. Наибольшие содержания алмазов приурочены к верхним побочным перекатов и центральных частям плёсовых лощин. Большое влияние на распространение алмазов оказывают естественные преграды (острова, отмели, пороги). Обычно перед островами происходят накопления алмазов, превышающие в 5—10 раз средние их содержания на прямолинейных участках русел, лишенных преград. Струи суженных участков русла, как правило, богаче алмазами, чем расширенные.

На участках с излучинами макроструи непротяженные и узкие (8—10 м), здесь может образоваться несколько струй одинаковой обогащенности. Обычно они ориентированы параллельно стрежню реки.

В вертикальном разрезе аллювия разной мощности отмечена следующая закономерность: алмазы в аллювии малой мощности (до 0,5—1 м) распределены равномерно по всему разрезу; в аллювии большей мощности наиболее обогащены приплотиковая и самая верхняя (до 0,5 м) части. Это подтверждается данными статистического анализа, проведенного на основании обработки 138 проб из 63 выработок (табл. 12).

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Установлено и подтверждено методом математической статистики, что в русловых россыпях древних платформ содержания алмазов обратно пропорциональны мощностям аллювия.

2. Распределение алмазов в рассматриваемых россыпях струйчатое, причем выделяется макро- и микроструйчатость. Макроструйчатость соответствует в основном слоям аллювия разной мощности, микроструйчатость связана с гидродинамикой водного потока.

3. Струйчатость наиболее выдержана на прямолинейных участках русла и в руслах малых рек.

4. В вертикальном разрезе аллювия малой мощности (до 0,5 м) алмазы распределяются равномерно. В аллювии большей мощно-

Данные о природной связи между содержаниями и

y	0,00—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	3,5—4,0	4,0—4,5	4,5—5,0	5,0—5,5	5,5—6,0	6,0—6,5
0,00—0,25	2	29	33	36	38	31	22,0	18,0	9,00	8,00	5,0	4,0	1
0,25—0,50	3	7	11	14	2	6	5	1	2	1	1		
0,50—0,75		6	4	3	3	4	1			1			
0,75—1,00		3	4	1	1	1				1			
1,00—1,25		2	1	1	1	1	1						
1,25—1,50	1	3	5		2					1			
1,50—1,75		1	1		1								
1,75—2,00	1			1					1				
2,00—2,25			1										
2,25—2,50													
2,50—2,75													
2,75—3,00													
3,00—3,25		1	1										
K	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
n_k	7	52	61	55	48	44	29	19	12	12	6	4	1
$n_k K$	-35	-208	-181	-110	-48		29	38	36	48	30		
$n_k K^2$	175	832	543	220	48		29	72	108	192	150		
	-12	-174	-198	-216	-228	-186	-132	-108	-54	-48	-30	-24	-6
	-15	-35	-55	-70	-10	-30	-25	-5	-10	-5	25		
	-1	-24	-16	-12	-12	-16	-4		1	-4			
n_{lk}	1	-9	-12	-3	-3	-3	-2			-3			
		-4	-2	1	-2	-2				-1			
		-3	-5		-2	-1							
		6	2										
			6										
$\sum_l n_{lk}$	-27	-243	-280	-300	-257	-238	-163	-113	-63	-61	-35	-24	-6
$K \sum_l n_{lk}$	135	972	840	600	257		163	226	189	244	175	144	42

сти наиболее обогащены приплотиковая и самая верхняя части россыпей.

5. Наиболее крупные алмазы приурочиваются к пристрежневым зонам потоков в местах наименьших мощностей аллювия.

Распределение алмазов на косах различной формы

В руслах рек платформенных областей широко развиты косые образования. Форма и размеры их разнообразны. Автор (Прокочук, 1967) выделил четыре типа кос, различающихся по форме и распределению алмазов (рис. 18).

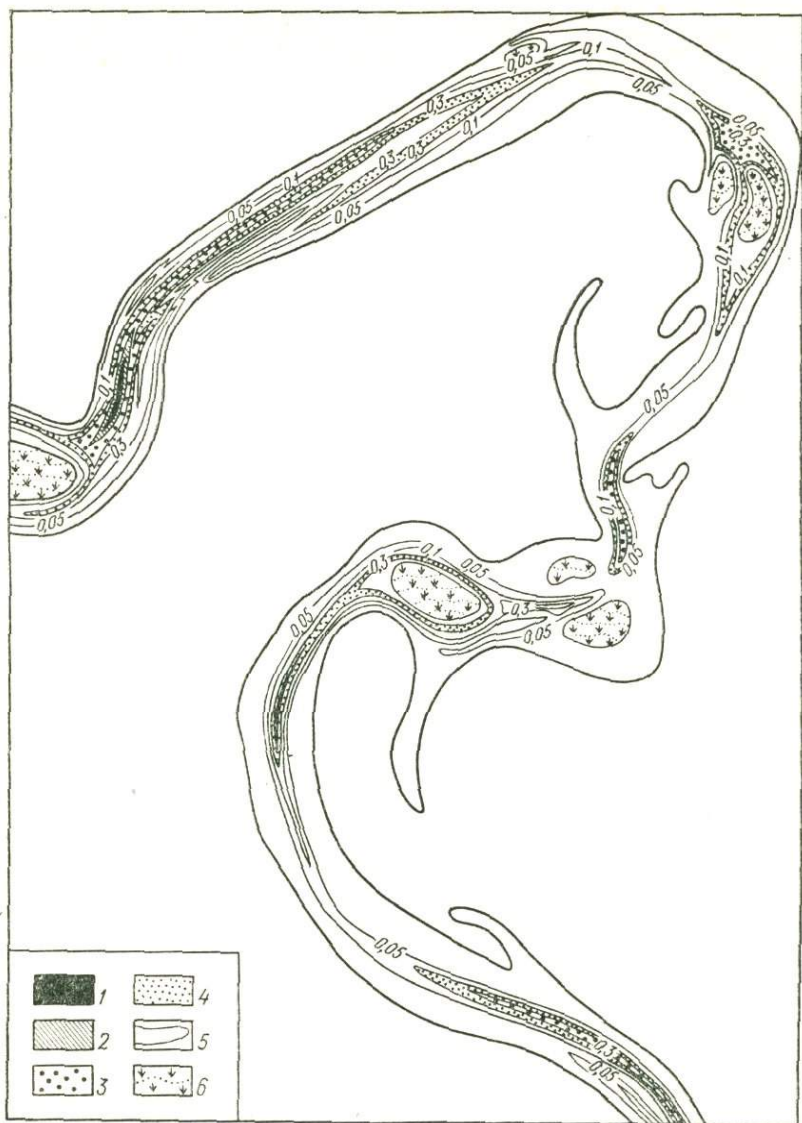


Рис. 17. Характер струйчатости в распределении алмазов в русловых россыпях. 1 — участки максимальных концентраций (более 10 усл. ед.); 2—5 — участки с содержаниями (в усл. ед.): 2 — 5—10, 3 — 1—5, 4 — 0,2—1, 5 — менее 0,2; 6 — острова

скопления грубообломочного материала в 10—20 раз больше, чем в средней, и в 50—100 раз больше, чем в хвостовой части. Наиболее обогащенная часть кос первого типа составляет 25—30% их площади, со средним содержанием алмазов и пиропа — 30—40% и наименее обогащенная — около 30%. Опробованием подтвержде-

Распределение алмазов в аллювии различной мощности

Опробованные мощности, м	Содержание алмазов, усл. ед.	Река 1		Река 2		Река 3	
		количество выработок	содержание, %	количество выработок	содержание, %	количество выработок	содержание, %
До 0,5	До 10	6	6,5	8	7,7	5	1,4
	10—20	2	2,2	1	0,9	2	0,6
	20—30 Больше 30	7	7,5				
1	До 10	3	3,3	24	23,1	45	12,9
	10—20	1	1,1			6	1,7
	До 30 Больше 30	14 9	15,1 12	36	34,7	106 1	30,3 0,3
2	20—30	5	5,3			1	0,3
	Больше 30	19	20,4			1	0,3
3	До 10	3	3,2	2,5	24	86	4,6
	10—20	1	1,1			6	1,7
	20—30 Больше 30	1	1,1				
4	До 10	4	4,3	9	8,7	47	13,4
	10—20					1	0,3
	20—30 Больше 30						
5	До 10	1	1,1	1	0,9	22	6,2
	10—20					2	0,6
	20—30 Больше 30						
6	До 10	1	1,1			10	28
	10—20						
	20—30 Больше 30						
7	До 10	1	1,1			1	0,3
	10—20						
	20—30 Больше 30						
8	До 10	1	1,1				
	10—20						
	20—30 Больше 30						
Более 8	До 10	2	2,2				
	10—20						
	20—30 Больше 30						

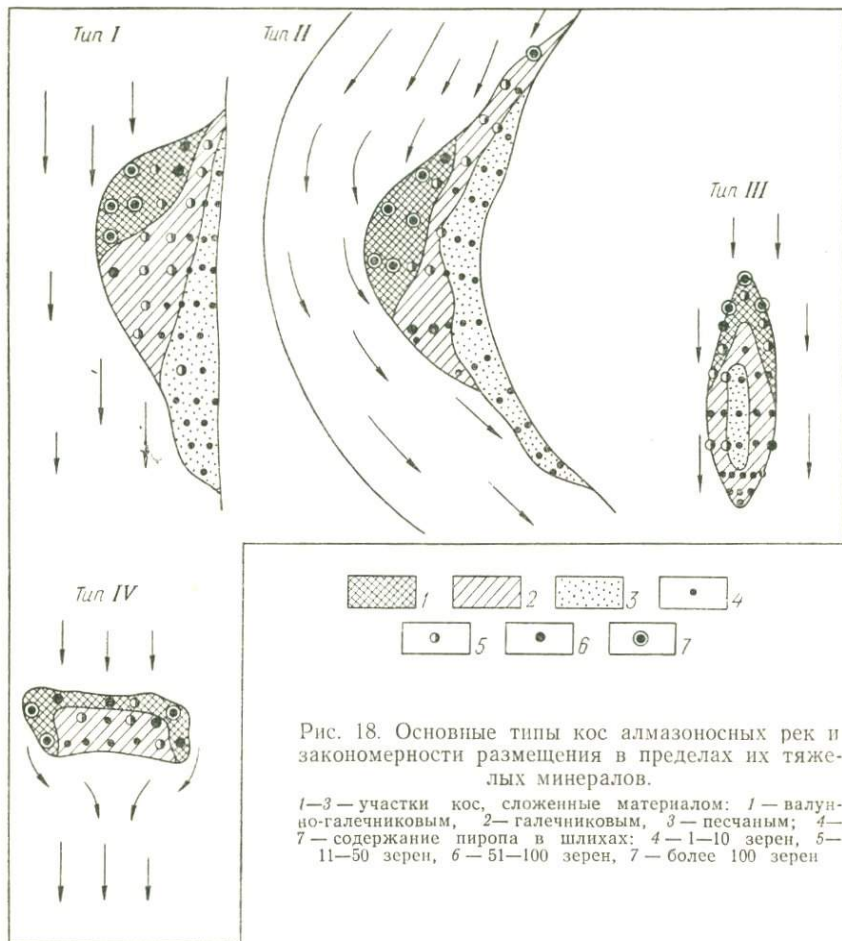


Рис. 18. Основные типы кос алмазосных рек и закономерности размещения в пределах их тяжелых минералов.

1-3 — участки кос, сложенные материалом: 1 — валуно-галечниковым, 2 — галечниковым, 3 — песчаным; 4-7 — содержание пироба в шлихах: 4 — 1-10 зерен, 5 — 11-50 зерен, 6 — 51-100 зерен, 7 — более 100 зерен

но, что такая же закономерность, установленная для поверхностной части косы, сохраняется и на глубине.

Ко II типу принадлежат прибрежные серповидные косы, располагающиеся на выпуклых берегах излучин (см. рис. 18). Протяженность их различна — от 10 до нескольких сотен метров, иногда до 2-3 км. Высота и ширина постепенно увеличиваются к средней части. Обычная ширина кос 50-100 м, высота до 4 м. Гранулометрический состав материала на отдельных отрезках различен. Наиболее крупный материал сконцентрирован в средней части косы, где содержание фракции более 8 мм достигает 50-60%, в головной части его не более 20-30%, а в хвостовой до 10-20%. Уменьшение крупности материала происходит также по направлению к берегу.

Содержание алмаза и пироба тесно связано с распределением обломочного материала на косе. В средней, наиболее выпуклой

части косы установлены повышенные содержания алмазов и пирропа. Однако их в 4—5 раз меньше, чем в наиболее обогащенных участках кос первого типа. Головные и хвостовые участки этих кос вообще бедны алмазами и пирропом.

Косы III типа — островные. Длина их 10—50 м, реже больше, ширина 0,5—30 км. Сложены они галечниками и песками. Наибольшие содержания алмазов и пирропа приурочены к участкам, сложенным крупнообломочным материалом. Площадь максимального обогащения составляет 8—10% от общей площади косы. Наибольшие площади занимают участки средней обогащенности (40—60% общей площади косы). Наименее обогащены высокие центральные части островных кос, сложенные песками.

Косы IV типа встречаются значительно реже трех первых. Они представляют собой русловую отмель высотой 0,3—1,5 м, заливаемую водой даже при незначительных паводках, и обычно вытянуты поперек русла. Сложены косы грубообломочным материалом. Фракции меньше 4 мм составляют не более 10—20%. Обогащенная часть косы занимает около 50% площади, остальная часть характеризуется значительно меньшими содержаниями алмазов, но более богатыми, чем содержания алмазов в хвостовых частях кос двух первых типов.

ОЗЕРНЫЙ ТИП

Озерные россыпи алмазов пользуются ограниченным развитием. Россыпь этого типа известна в Сибири. Возраст ее рэт-лейасовый. Россыпь детально изучена В. Т. Бересневым, Г. Х. Файнштейном, М. М. Одинцовой, М. П. Метелкиной, Л. М. Зарецким, А. В. Родионовым, З. В. Осиповой, М. И. Плотниковой, Г. М. Михалевым, Э. А. Шамшиной, А. Д. Харьковым, Е. И. Борисом, А. В. Зинчуком и др. По генезису россыпь сложная — пролювиально-озерная. Алмазоносные отложения выполняют широкие и пологие депрессии, которые служили озерными ваннами. Вблизи одной кимберлитовой трубки, за счет которой образовалась россыпь, известно несколько депрессий. Мощность озерных отложений меняется от 1 м на бортах депрессии до 35—40 м в центральной ее части.

Начальный этап формирования россыпи связан с образованием депрессии и размывом коры выветривания. Формирование депрессии сопровождалось накоплением делювиальных, в меньшей степени пролювиальных отложений по пологим бортам ее, а также склонам впадин и выступов внутри депрессии. Таким образом, нижняя алмазоносная залежь россыпи формировалась за счет делювиальных, в меньшей степени пролювиальных отложений. Далее депрессия заполнилась водой и стала мелководным озером. Чередование эпох усиления эрозии и ее затухания объясняется ритмичностью осадконакопления. Выделяются ритмы, характеризующиеся привносом грубообломочного и глинистого материала. Со-

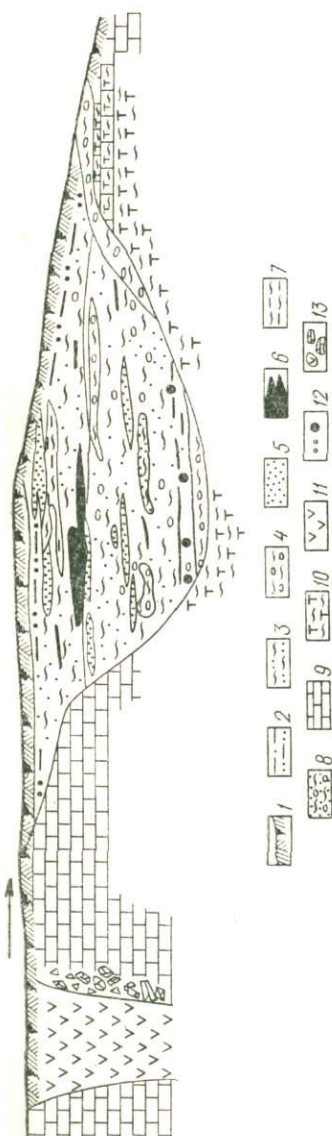


Рис. 19. Характер распределения алмазов в озерной россыпи.

1 — почвенный слой; 2 — суглинки; 3 — песчаные глины; 4 — песчаные глины с рассеянной галькой; 5 — пески; 6 — линзы и пропластки бурого угля; 7 — углистая глина; 8 — галечно-гравийные алмазоносные песчаные глины; 9 — карбонатные породы плитника; 10 — кора выветривания; 11 — кимберлитовая трубка (стрелкой показано направление сноса кимберлитового материала в озерную россыпь); 12 — конкреции пирита; 13 — обломки пород

став и характер отложений свидетельствуют о том, что процесс накопления этих осадков происходил в результате деятельности временных водотоков, отлагающих обломочный материал в замкнутом пресноводном застойном бассейне с непостоянным водным режимом. За период существования бассейна среда неоднократно менялась от нейтральной и слабовосстановительной до резко восстановительной, что обусловлено колебаниями уровня водоема, вызванными притоком свежих вод. Временные потоки обладали небольшой энергией и имели довольно широкую область питания. Максимальные концентрации алмазов и мощности продуктивного слоя приурочены к западной части озерной депрессии, располагающейся в непосредственной близости от трубки. В восточном и северо-восточном направлениях концентрация алмазов и мощность продуктивного слоя уменьшаются в 8—10 раз при увеличении мощности грубокластических отложений ритма. На рис. 19 видно, что алмазоносный материал в озерную котловину поступал на большой площади. Четко наблюдается влияние отдельных временных водотоков (Рожков и др., 1963).

Таким образом, для формирования озерных россыпей необходимы близость коренного источника, наличие мощных кор выветри-

вания и большой сети временных водотоков, которые поставляют алмазы в озерные котловины. При других условиях крупные россыпи образоваться не могут.

МОРСКОЙ ТИП

Среди морских россыпей выделяются прибрежно-морские, дельтовые и россыпи шельфа.

Прибрежно-морские россыпи алмазов представляют собой одну из важнейших в промышленном отношении групп россыпных месторождений. К их числу принадлежат уникальные по богатству алмазоносные россыпи Атлантического побережья Африки, из которых начиная с 1908 г. добыто более 30 млн. каратов высокосортных алмазов при среднем содержании 0,5—2, а на отдельных участках до 100—300 каратов/м³. Алмазы этих россыпей отличаются исключительно высоким качеством, на долю ювелирных разностей приходится до 90—95%. Средняя масса алмазов 0,5—2 карата, наиболее крупные достигали 180—246 каратов, что связано с сортировкой алмазов в прибрежно-морской зоне. По количеству ювелирных камней, поставляемых на мировой рынок, Намибия занимает одно из ведущих мест, обеспечивая примерно 20% их общей добычи. Основные объекты эксплуатации — прибрежно-морские россыпи древних морских террас, а также открытые недавно морские россыпи ближнего шельфа (Трофимов, 1967).

Среди россыпей прибрежно-морского типа выделяются два подтипа — прибрежно-морские и дельтовые (Прокопчук и др., 1964).

Прибрежно-морские россыпи алмазов установлены среди отложений плинсбахского, келловейского и нижневолжского ярусов юры. Строение их однотипно, они приурочены к базальным трансгрессивным конгломератам, характеризуются сравнительно небольшой мощностью продуктивного слоя и двучленным строением. Формировались россыпи после эпох корообразования, наиболее длительной из которых была доюрская.

Нижнеюрской трансгрессии здесь предшествовал длительный период континентального развития, который закончился образованием мощной коры выветривания в условиях теплого и влажного климата. Это способствовало интенсивной дезинтеграции пород, в том числе кимберлитов, и высвобождению из них алмазов. В конце триаса и начале юры интенсивные тектонические подвижки на Сибирской платформе привели к поднятию территории, что вызвало усиление процессов эрозии и денудации. Кимберлитовые трубки были разрушены на значительную глубину (200—300 м), а алмазоносный материал снесен в прибрежно-морские зоны нижнеюрского моря (Прокопчук, 1966₁).

Базальные слои плинсбахских отложений, к которым приурочены алмазы, представлены конгломератами мощностью от 0,1—0,6 до 1,2 м. Это типичные прибрежно-морские пляжевые образования, в одних случаях состоящие из валунно-галечного материала

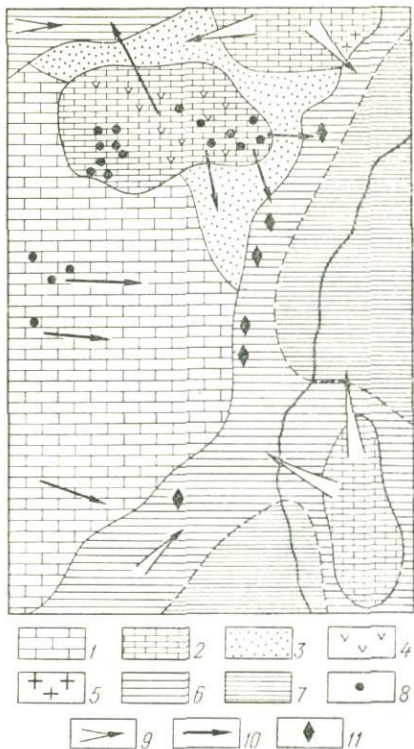


Рис. 20. Схема палеогеографической обстановки в плинсбахском веке.

1 — равнина, сложенная карбонатными отложениями; 2 — повышенные участки равнины; 3 — низкие равнины; 4 — участки распространения траппов; 5 — выходы кристаллических пород фундамента; 6 — неустойчивая часть морского бассейна; 7 — морской бассейн; 8 — районы распространения кимберлитовых трубок; 9 — общее направление сноса; 10 — направление сноса кимберлитового материала; 11 — участки аккумуляции кимберлитового материала

бирской платформы установлено, что снос алмазоносного материала происходил с юга и юго-запада (рис. 20). Южное направление сноса подтверждается большим количеством галек долеритов, развитых на севере района, юго-западное — гальками кристаллических пород. Влияние местных поднятий как источников сноса подтверждено и выходом тяжелой фракции, содержание которой резко повышается в близлежащих породах и достигает 2—3, а иногда 10%.

Присутствие большого количества валунно-галечного материала в базальных горизонтах свидетельствует о расчлененности рельефа берегов и значительной транспортирующей силе гидросе-

ла, в других из галечников и песчано-галечникового с постепенными переходами. Нижние (0,2—0,3 м) части продуктивного горизонта обычно сложены мелкообломочным материалом, верхние — более крупнообломочным. В составе гальки и гравия отмечаются известняки, долериты и базальты, песчаники, алевролиты, разноцветные кремни и кварц, в подчиненном количестве нефелиновые сиениты и порфиры. Форма более крупных обломков угловатая, мелких — округлая или уплощенно-изометрическая.

Для минерального состава тяжелой фракции характерна эпидот-ильменитовая ассоциация, в значительных количествах присутствуют гранат (до 15%), циркон (до 5%), магнетит и др. Минералы-спутники алмаза представлены неокатанными зернами пирропа, пикроильменита и хромдиопсида, размер которых значительно крупнее зерен других шлиховых минералов. Наибольшие концентрации их приурочены к местам повышенных содержаний ильменита и галек кристаллических сланцев и долеритов. В этих же участках базальных слоев найдены алмазы.

В результате анализа материала прибрежно-морских конгломератов восточной части Си-

ти, выносившей в море большое количество обломочного материала и продукты размыва кимберлитов. Последнее подтверждается распространением в базальных горизонтах минералов-спутников алмаза, размеры и свежий облик которых позволяют предполагать существование близко расположенных коренных источников. Хорошая сохранность осадков прибрежной зоны плинсбахского бассейна и сравнительно узкая полоса их развития указывают на относительно стабильность береговой линии моря — благоприятный фактор для формирования россыпей алмазов.

В пределах западного борта Приверхоанского прогиба базальный алмазоносный горизонт отложений плинсбаха залегает на эродированной поверхности пермских отложений. Он характеризуется невыдержанной мощностью, меняющейся даже на протяжении 0,2—1,2 м. Строение продуктивного горизонта двучленное. Нижняя часть представлена грубозернистым песчаником с небольшим (10—15%) количеством гальки, верхняя содержит до 60—70% галечного материала. С запада на восток вкрест простирания слоев отмечается быстрая смена фаций; линзы и прослои галечного материала замещаются гравийно-песчаным и песчаным. Галька обычно хорошо окатана, округлой и уплощенной формы, размер ее 2—4 см. Встречаются единичные плохо окатанные валуны местных пород. Петрографический состав гальки однообразен. Преобладают кремни и песчаники, переотложенные из пермских образований, реже встречаются кварц, халцедон, кварцевые порфиры, долериты, а также битуминозные известняки и доломиты кембрия и верхнего протерозоя.

Тяжелая фракция шлихов отличается высокой концентрацией ильменита (до 73%), низким содержанием граната (9,1%) и эпидота, отмечаются циркон, магнетит, дистен и др. Шлиховым опробованием установлено повсеместное присутствие пиронльменита и единичные зерна пироба. Относительно крупные размеры (0,7—2,2 мм) и слабая измененность этих минералов свидетельствуют о непродолжительной их транспортировке.

По совокупности данных о составе базальных алмазоносных образований плинсбаха описываемой территории можно предположить, что снос обломочного материала происходил с запада, из центральной части района.

Благоприятные условия для образования прибрежно-морских россыпей алмазов существовали также в келловее. Однако в более позднее время они были размывы и сохранились лишь в небольших западинах доверхнеюрского рельефа.

Следующая крупная эпоха россыпеобразования юрского периода соответствует времени нижневолжской трансгрессии (Прокопчук, Сусов, 1960). На юге территории строение базального горизонта двучленное (рис. 21). В основании горизонта (0,2—0,3 м) залегают плотные пески с хорошо окатанной галькой и гравием (20—25%). Верхний слой представлен крупногалечными конгломератами, в которых галька размером 3—5 см и отдельные валуны до 6—10 см в диаметре слагают 70—80% объема породы.

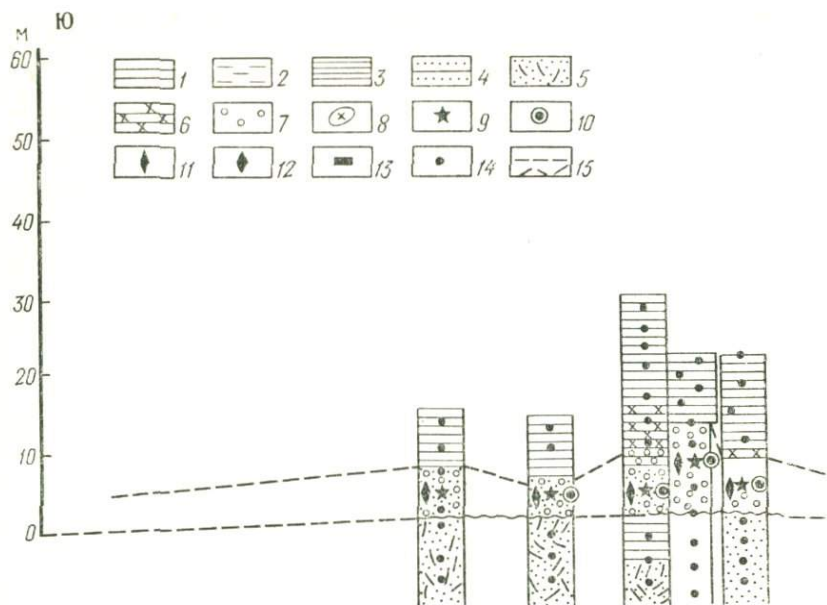
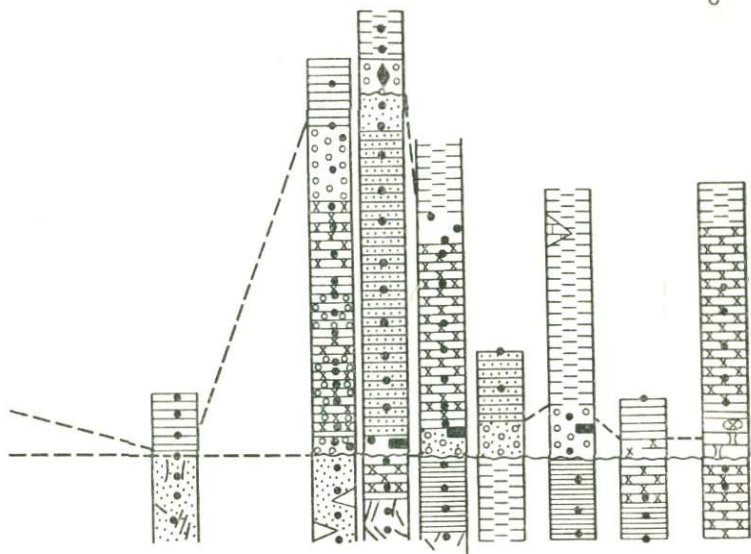


Рис. 21. Разрезы прибрежно-морской россыпи различных участков.

1 — известняки; 2 — рыхлые алевролиты; 3 — плотные алевролиты; 4 — алевритистые песчаники; 5 — косослоистые пески; 6 — песчаники; 7 — конгломераты; 8 — стяжения фосфоритов; 9 — места находок алмазов; 10 — места находок хромдиоксида; 11—12 — места находок пироба: 11 — более 500 зерен на шлик, 12 — 500—50 зерен на шлик; 13 — места мелкого объема опробования; 14 — места взятия шлихов; 15 — алмазоносные слои прибрежно-морского генезиса

Для отложений характерны фосфатный цемент и обильная примесь глауконита, т. е. они относятся к осадкам шельфа. К северу количество гальки в песчаниках и ее размеры постепенно уменьшаются. В этом направлении меняется и состав обломочного материала. На юге в нем преобладают местные средне- и нижнеюрские песчаники (70—80%), встречаются кварц и кремни, севернее проявляются гальки битуминозных известняков и сланцев кембрия, заметно увеличивается количество устойчивых пород. Для минерального состава тяжелой фракции нижневолжских слоев характерна циркон-гранат-ильменитовая ассоциация. С юга на север содержание ильменита в тяжелой фракции снижается, а граната, пироксенов, эпидота и амфиболов возрастает. Из минералов-спутников алмаза в базальном горизонте установлены крупные зерна пикроильменита (0,6—4,3 мм), пиробы (по 5,5 мм) местами с реликтами келифитовой оболочки, хромшпинелиды, хромдиоксид, редкие зерна оливина. Содержание пироба закономерно уменьшается с юга на север, причем на юге более широко распространены пиробы лилового цвета, а на севере — оранжевые сильно трещиноватые разности. Средняя масса зерен минералов-спутников также уменьшается к северу.

Перечисленные данные свидетельствуют о том, что основная масса алмазоносного материала поступала в нижневолжский мор-



ской бассейн с юга описываемой территории, где, очевидно, располагалась дельта древней реки. Далее на север алмазы разносились прибрежно-морскими течениями и содержание их в базальных слоях заметно разубоживалось (Плотникова и др., 1967; Прокпочук, 1966_{1, 2}).

По минеральному составу спутников алмаза и особенностям алмазов нижневолжские прибрежно-морские слои существенно отличаются от описанных выше более древних алмазоносных отложений юры, что может свидетельствовать о появлении со времени их образования новых источников.

Россыпи алмазов дельтового типа изучены на платформенном склоне северной ветви одного из прогибов. Они развиты в 130—140-метровой толще терригенных отложений плинсбаха. Строение россыпей сложное (рис. 22). Продуктивные горизонты, представленные галечниками и конгломератами, слагают быстро выклинивающиеся прослои и линзы мощностью от 0,1—0,3 до 1,5 м, протяженностью до десятков метров. Грубообломочные образования разобцены толщами неалмазоносных алевролитов и песков. Обычно на 10 м вертикального разреза дельтовых отложений приходится от 2 до 5 галечниковых линз. В основании последних всегда содержится большое количество слабоокатанных обломков и валунов размером до 0,3 м в поперечнике. В средних частях преобладают галька размером 3—5 см и гравий, верхние сложены преимущественно песчано-гравийным материалом с небольшой примесью гальки. По простиранию отдельных линз размеры и состав обломочного материала более или менее постоянны. В целом на описываемой территории количество обломочного материала и

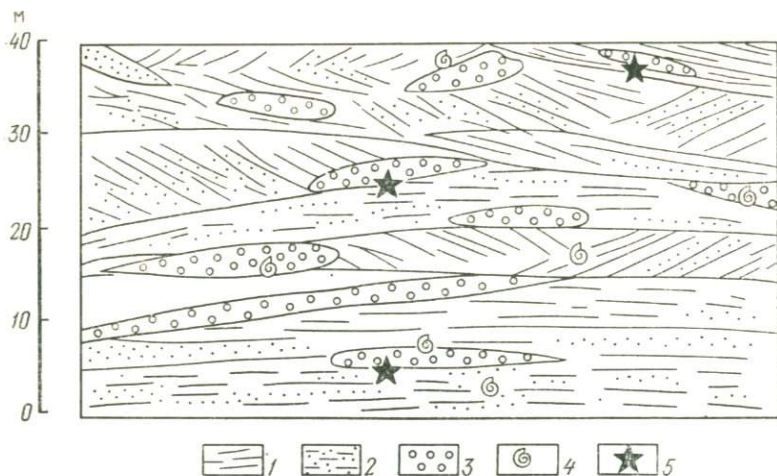


Рис. 22. Характерный разрез дельтовой россыпи алмазов.

1 — аргиллиты и алевролиты; 2 — песчано-глинистый материал; 3 — галечно-гравийный материал; 4 — находки морской фауны; 5 — находки алмазов

степень его сортированности уменьшаются по направлению с севера на юг. Меняется и петрографический состав гальки. На севере это в основном пермские песчаники, кремни, кварцит, халцедон и черные битуминозные известняки и сланцы кембрия. Южнее в нижних частях разреза появляются нижнеюрские известняки, обломки окремнелой древесины, а в более высоких горизонтах — галька старых кембрийских известняков, песчаников, долеритов и углистых сланцев. На самом юге в составе галечника резко преобладают кремни и юрские песчаники.

Тяжелая фракция шлихов на 30—80% представлена ильменитом и гранатом. С севера на юг увеличивается количество ильменита (от 12 до 45%), магнетита (от 0,8—4 до 6—33%), циркона (от 0,9—3 до 6,5%); уменьшается содержание граната, эпидота и пироксена. Во всех шлихах из грубообломочных горизонтов дельтовых отложений содержится пироп, количество которого увеличивается с севера на юг, причем на севере фракция подавляющей части зерен пироба — более 1 мм. Алмазы, встреченные во внутрiformационных галечниках описываемого разреза, представлены ромбододекаэдрами, реже октаэдрами. В основном это осколки без следов механического износа.

Формирование дельтовых отложений и сопутствующих им россыпей на разных участках описываемой территории было неодновременным. На севере галечники развиты по всему разрезу плинсбаха, южнее — в верхней его половине, а еще южнее — лишь в верхах толщи нижнеюрских отложений. Это связано с тем, что в северной части на крутом склоне поднятия береговая линия была стабильной на протяжении плинсбахского времени и принос материала происходил с начала трансгрессии. Южнее в первой половине плинсбаха существовали очень пологие и мелководные шель-

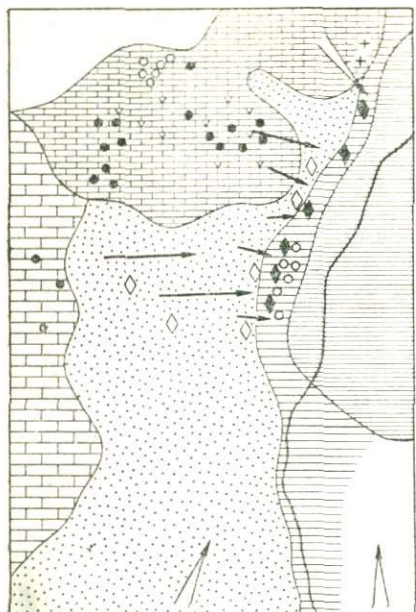
фовые зоны. Даже незначительные повышения уровня моря вызывали здесь смещение береговой линии, а неустойчивое ее положение не благоприятствовало отложению грубообломочных пород и алмазов. Лишь в середине плинсбахского времени береговая линия стала стабильной, и влекомый рекой грубообломочный материал откладывался в дельте в виде линз и выклинивающихся прослоев. На юге устойчивая береговая линия фиксируется лишь в конце плинсбахского времени и, соответственно, только в верхах разреза появляются алмазоносные галечники и конгломераты.

Таким образом, благоприятные условия для формирования дельтовых россыпей существовали лишь на локальных участках. Здесь на протяжении плинсбахского времени в неглубоком море в виде острова выступало поднятие, с которого реки поставляли алмазоносный материал и откладывали его в дельтах. Судя по составу, источниками питания описываемых россыпей могли быть еще не обнаруженные кимберлитовые тела (Леонов и др., 1966).

Анализируя палеогеографические условия образования прибрежно-морских алмазоносных отложений юрского возраста на северо-востоке Сибирской платформы, можно прийти к выводу, что россыпи алмазов могли формироваться лишь в прибрежных зонах с постоянной береговой линией, где области сноса алмазоносного материала были достаточно приподнятыми (100—200 м) и хорошо расчлененными. При этом поднятию должен был предшествовать период пенепленизации и корообразования, в результате которого большие массы алмазов высвобождались из вмещающих пород. Дальнейшее развитие этой части платформы характеризовалось крупными колебательными движениями, вследствие которых морские трансгрессии сменялись периодами отступления моря, что вызывало денудацию и размыв продуктов коры выветривания. Периоды трансгрессий повсеместно выражены фацией галечников, гравия и песков, залегающих в основании морских отложений (Прокопчук, 1970).

Состав грубообломочного материала алмазоносных горизонтов ниже- и верхнеюрских прибрежно-морских отложений свидетельствует о тесной связи их с породами ближайшего окружения — образованиями трапповой формации триаса, осадочными карбонатными и терригенными породами верхнего протерозоя, кембрия и первыми, а также эпидотсодержащими щелочными породами (рис. 23). В позднеюрское время большая масса обломочного материала поступала также из подстилающих отложений средней и нижней юры.

В результате исследования закономерностей распределения минералов-спутников алмаза и самих алмазов возможно четко выделять места привноса алмазоносного материала с континента и определять направление переноса алмазов береговыми течениями. Крупные размеры зерен минералов-спутников, сохранность реликтов их первичной поверхности, присутствие таких неустойчивых минералов, как хромдиоксид и оливин, свидетельствуют о том что источники питания юрских прибрежно-морских россыпей рас-



полагались на небольшом удалении от береговой линии. Это подтверждается и формой алмазов, среди которых преобладают ромбододекаэдры (часто округлые), характерные для кимберлитовых трубок соседних районов. Следует подчеркнуть, что близкое к побережью расположение источников алмаза — одно из необходимых условий для возникновения существенных прибрежно-морских россыпей в гумидном климате.

Для того чтобы наглядно продемонстрировать роль конкретных факторов тектонического, климатического и других в формировании алмазных россыпей прибрежно-морского генезиса, сравним их со всемирно известными россыпями западного побережья Южной Африки.

Россыпи расположены вдоль Атлантического побережья Южной Африки и в структурном отношении приурочены к краевой части Южно-Африканского докембрийского щита. Они сформировались в кайнозойскую эпоху, для которой на данной территории были характерны аридный климат и устойчивая тенденция к подъему, что оказало существенное влияние на особенности их строения. Образованию прибрежно-морских россыпей предшествовала эпоха пенепленизации и корообразования, начавшаяся еще в меловое время.

Прибрежно-морские россыпи прослеживаются на многие сотни километров от мыса Доброй Надежды до границы с Анголой. Большинство их приурочено к отложениям морских террас третичного и нижнечетвертичного возраста, образующих ясно выраженные уступы вдоль побережья. По условиям образования они представляют собой отложения пляжей и береговых валов, поднятые в результате последующих тектонических движений на разную

Рис. 23. Схема палеогеографической обстановки в нижневолжский век.

- 1 — равнина, сложенная карбонатными породами;
- 2 — повышенные участки равнины;
- 3 — низкие равнины, низменности, закрытые песчано-галечниковыми и глинистыми отложениями юрского возраста, частично песчаными отложениями перми;
- 4 — участки распространения трапов;
- 5 — выходы кристаллических пород фундамента;
- 6 — неустойчивая прибрежная зона морского бассейна, пляжи;
- 7 — морской бассейн;
- 8—9 — районы распространения кимберлитовых трубок;
- 8 — доюрских, 9 — верхнеюрских;
- 10 — общее направление сноса;
- 11 — направление сноса кимберлитового материала;
- 12 — районы аккумуляции кимберлитового материала;
- 13 — районы размыва кимберлитового материала

высоту (от 5 до 150 м). Террасы имеют форму длинных и узких полос грубого галечника или конгломерата, перекрытых песчаным покровом эолового происхождения различной толщины и располагающихся на расстоянии до 10 км от берега. Протяженность их вдоль побережья более 800 км, общая ширина к северу от устья р. Оранжевой до 20 км, а к югу 4,5—6 км (Трофимов, 1967).

Промышленные концентрации алмазов фиксируются в базальных слоях грубообломочного материала мощностью 0,2—1,5 м, иногда перекрытых менее алмазосными галечно-гравийными образованиями. Подстилают их метаморфические сланцы докембрийского возраста или песчано-гравийные отложения более древней террасы. Ширина россыпей первого типа небольшая (3—30 м) и содержание алмазов повышенное; алмазы локализуются в основном у внутреннего края волноприбойной террасы. Впадины и трещины в коренной породе служат для них естественными ловушками. Россыпи второго типа значительно шире (50—300 м) и содержание алмазов более однородное.

Особенно богатые террасовые россыпи (ныне уже практически выработанные) располагались непосредственно к северу и югу от устья р. Оранжевой. К ним относится знаменитая Устричная линия залива Александра (южнее р. Оранжевой), представляющая собой изрезанную волнами морскую террасу высотой 22—23 м. Основная масса алмазов здесь была заключена в слое крупного галечника, местами сцементированного известью в плотный конгломерат и перекрытого неалмазосными песками. Полоса продуктивных отложений шириной в несколько метров (3—15 м) залегает непосредственно на докембрийских филлитах, поверхность которых круто поднимается в сторону материка. Слой мощностью 0,2—0,9 м содержал алмазов до 300 каратов/м³.

Поверхность гальки и валунов сильно стертая с большим количеством следов от ударов. Форма их сфероидальная или эллипсоидная, крупные валуны сложены кварцитом, более мелкий материал состоит из разноцветных яшм, кварцита, кремнистых сланцев, красных порфиринов, кварца, амфиболитов, реже гранита, пегматита, мандельштейнов и агата. Источник обломочного материала, по мнению многих исследователей (Beetz, 1930; Stutzer, 1935; и др.), — продукты выветривания конгломератов Двайка (система Карру), принесенных из Западного Грикваленда (Центральная часть Юга Африканского континента).

В тяжелой фракции шлиха отмечают самородное золото и медь, лимонит, гематит, магнетит, ильменит, рутил, лейкоксен, корунд, шпинель, гранат, ставролит и др. Парагенетические спутники (пироп, пикроильменит, хромдиопсид), обычно сопровождающие алмазы в кимберлитах, здесь отсутствуют. Это характерная особенность всех прибрежно-морских россыпей алмазов Африки.

подавляющее большинство алмазов описываемых месторождений относится к ювелирным сортам и отличается крупными размерами. Среди кристаллографических форм преобладают округлые ромбододекаэдры, встречаются октаэдры и октаэдрониды (харак-

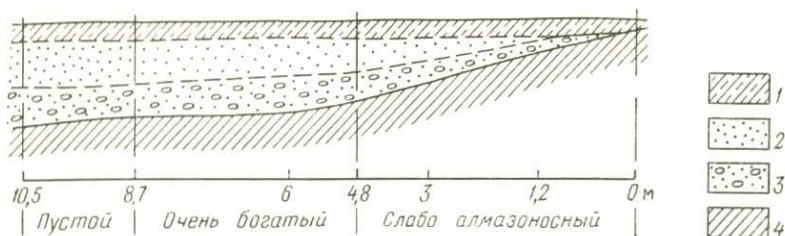


Рис. 24. Характер обогащенности алмазоносных слоев прибрежно-морских россыпей.

1 — ил; 2 — песок; 3 — валуно-галечный материал; 4 — коренные породы

терные для крупных камней устричной линии), а также кубы, борт отсутствует. Цвет алмазов различен; известны бесцветные, голубовато-белые (типа «серебряного плаща»), зеленые разных оттенков, красноватые, лимонно-желтые, коричневые и черные (с кристаллографической огранкой), алмазы с зональной и пятнистой окраской. На многих алмазах обнаружены следы интенсивного механического износа (штрихи и серповидные трещины на поверхностях граней), обычно возникающие при ударах. Встречаются совершенно окатанные матовые камни шаровидной формы.

Рассмотрим морские алмазные россыпи Африки, открытые в начале 60-х годов на участках ближнего шельфа около устьев крупных рек. Алмазы содержатся в гравийно-галечных отложениях мощностью от нескольких до десятков метров. Между устьем р. Оранжевой и бухтой Людериц они образуют две полосы, параллельные берегу: одну непосредственно за зоной прилива на глубине до 30 м, вторую — дальше от берега на глубине 60—90 м. По последним данным (Н. Nel, 1968 г.), алмазоносные галечники заполняют узкие каналы и углубления в дне океана, приуроченные к зонам трещиноватости докембрийских конгломератов (рис. 24). Содержание алмазов в них колеблется от 0,4 до 3,6 карата/м³. Средняя масса составляет около 0,5 карата. Большинство добываемых алмазов относится к ювелирным сортам, но в отличие от алмазов прибрежно-морских россыпей на них не обнаружено следов механического износа. Алмазы отдельных участков побережья, а иногда и разных террас отличаются друг от друга. Это свидетельствует о различных их источниках.

Что же служило источником алмазов в россыпях Атлантического побережья Африки? Известно, что кимберлитовые трубки, распространенные на побережье, их не содержат. Согласно наиболее распространенной теории, алмазы поставляются из коренных месторождений центральной части Южной Африки и принесены к побережью Атлантического океана р. Оранжевой и другими реками, текущими к северу и югу от нее. Действительно, среди алмазов устричной линии встречаются камни, идентичные алмазам из трубок Дютюйтспен, Вессельтон, Кимберли (Stutzer, 1935). Однако многие из них заметно отличаются от алмазов Южно-Афри-

канских трубок и, по мнению некоторых экспертов и гранильщиков камней, близки бразильским (Williams, 1932 г.). Нам кажется вполне вероятным, что одним из источников алмазов прибрежно-морских россыпей могли служить древние докембрийские конгломераты, для которых характерно высокое содержание ювелирных сортов, преобладание округлых алмазов ромбододекаэдрического габитуса, пигментированных кристаллов. Об этом свидетельствует и полное отсутствие парагенетических спутников алмаза, что свойственно месторождениям докембрийского возраста (Докембрийские... , 1976).

Кроме того, исключительное богатство прибрежно-морских россыпей алмазами обусловлено совокупностью ряда факторов, подробно рассмотренных в работах В. Битца (Beetz, 1930), Вильямса (Williams, 1932 г.), В. С. Трофимова (1967) и др.

Указанные россыпи формировались в условиях аридного климата за счет обломочного материала, приносимого к берегу океана так называемыми сухими реками типа Оранжевой, Буйволовоy и др., которые функционировали иногда раз в несколько лет. В период сильных ливней эти реки превращались в мощные грязевые потоки и могли переносить без заметной обработки огромные массы грубообломочного и тяжелого материала на многие сотни километров. Поступавший на побережье материал нагромождался близ устьев рек в виде крупных валов и попадал в сферу действия прибоя, приливно-отливных волн и береговых течений. Сильный прибой, вызванный характерными для этой области штормовыми ветрами, обусловил необычайно интенсивные процессы истирания и перемалывания обломков. Постоянные движения морских волн приводили к сортировке их по величине и плотности. Мелкий и легкий материал уносился отливными волнами в море, а тяжелые компоненты, в том числе алмазы, оседали за крупными валунами и во впадинах плотика. Этим в значительной степени объясняется высокая концентрация алмазов в валунно-галечных образованиях древних пляжей и высокий процент среди них камней весом более 1 карата. Наконец, береговые течения, вызванные господствующими здесь южными ветрами, разнесли алмазы вдоль побережья на большие расстояния.

Неоднократные поднятия прибрежной зоны Южной Африки в течение кайнозоя способствовали омоложению эрозионной деятельности и поступлению новых порций алмазоносного материала, который в результате длительной обработки морскими волнами превращался в промышленные россыпи.

Итак, россыпные месторождения алмазов прибрежно-морского генезиса могут возникать в самых различных условиях. Особенности их строения и богатство алмазами в каждом конкретном случае определяются спецификой тектонического развития территории, климатическими условиями в период россыпеобразования, а также типом первичных источников алмаза. Кроме того, прибрежно-морские россыпи алмазов характеризуются рядом общих и типичных признаков: небольшая ширина (в основном первые десят-

ки метров) при значительной протяженности (до нескольких сот километров), резкая смена фаций пород и их состава вкрест простираения отложений, приуроченность алмазов к наиболее грубообломочным образованиям базальных горизонтов, неравномерностью в распределении алмазов по простираению и вкрест простираения алмазоносных слоев.

РОССЫПИ ПОДЗЕМНЫХ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР

Эта группа россыпей выделена автором после обнаружения в районе одной из трубок россыпи, образовавшейся в подземных озерах карстового происхождения (Харьков, Прокопчук, 1973). Могут также существовать россыпи подземных потоков.

При обработке трубки среди кимберлитов встречены линзы слоистых пород неясного генезиса (рис. 25). Один из этих участков (1) расположен в северо-восточной части, второй (2) — в центральной части, у юго-восточного контакта с вмещающими породами.

Оба участка вскрыты в карьере и поэтому детально обследованы. На участке 1 имеется линза длиной около 40 м и мощностью 10—12 м; в приконтактной части трубки мощность линзы до 2—4 м, затем она прослеживается во вмещающих породах (см. рис. 25). На участке 2 слоистые породы мощностью 12—15 м заполняют мульдообразное понижение длиной около 60 м, которое, по-видимому, является реликтом эродированной более крупной линзы. Большая часть этого мульдообразного понижения расположена в пределах кимберлитовой трубки, меньшая — во вмещающих породах.

Характерная особенность пород, слагающих указанные участки трубки, — четко выраженная слоистость (рис. 26): на участке 1 отмечено чередование довольно мощных (0,5—3 м) слоев, в соста-

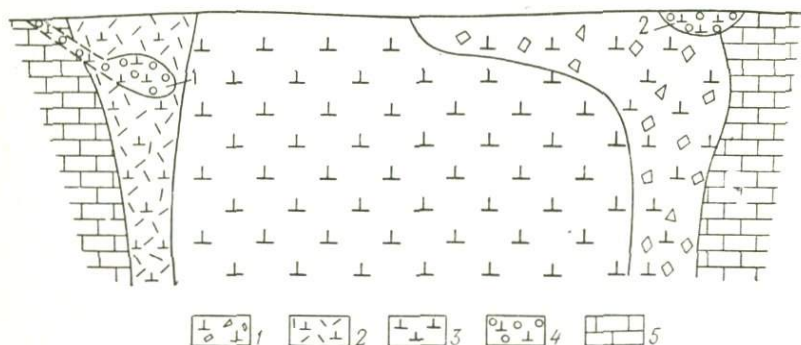


Рис. 25. Заполнение карстовых пещер и образование подземноводных алмазоносных россыпей.

1—3 — этапы внедрения кимберлитовых брекчий: 1 — первый, 2 — второй, 3 — третий; 4 — осадочные, слоистые алмазоносные породы; 5 — осадочные породы нижнего палеозоя. Цифрами на рисунке обозначены номера участков развития подземноводных алмазоносных россыпей

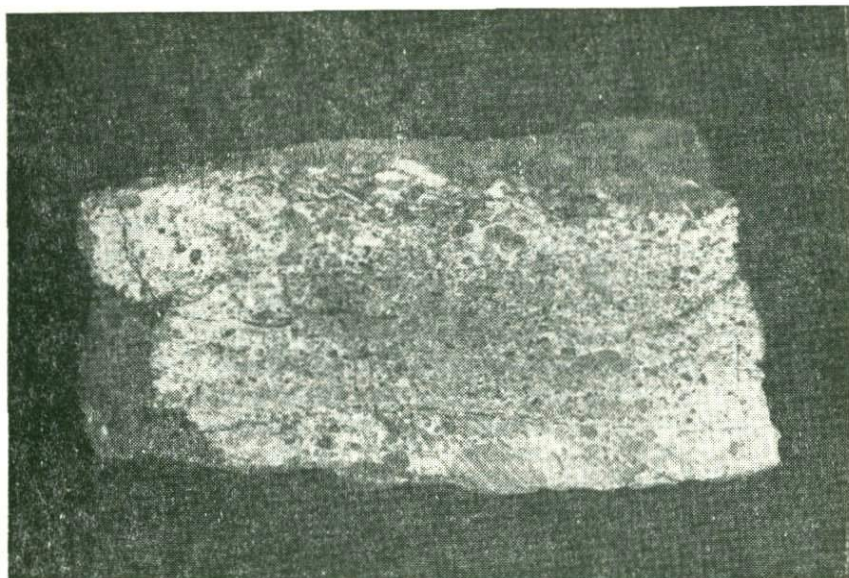


Рис. 26. Характер горизонтальной слоистости подземноводных россыпей алмазов (ум. в 2 раза)

ве которых присутствуют мелкие и крупные обломки (10 см в поперечнике) на участке 2 чередование маломощных прослоев (0,5—0,2 см), в которых размеры обломков пород и минералов колеблются от 0,5—1 мм (тонкообломочные прослои) до 1—3 мм (мелкообломочные прослои). В слоистых породах участка 1 размеры обломочного материала увеличиваются по направлению к контакту кимберлитовой трубки с вмещающими породами.

Непосредственно у контакта с кимберлитовыми брекчиями находятся относительно плотные слоистые мелкообломочные породы серого и желтовато-серого цвета. Они состоят из псевдоморфоз кальцита и серпентина по оливину, изометричной, неправильной и овальной форм, нередко с округленными углами, что свидетельствует о механической обработке материала в процессе переноса. Количество псевдоморфоз по оливину составляет 30—40%, размер их 0,5—3 мм.

Совместно с псевдоморфозами присутствуют обломки мелкозернистых глинистых известняков и хлоритовых сланцев. Встречаются окатанные обломки вмещающих кимберлитовых брекчий. Обломочный материал цементируется мелкочешуйчатым серпентином и агрегатным кальцитом. По направлению к контакту кимберлитовой трубки с вмещающими породами мелкообломочные слоистые образования сменяются менее плотно сцементированными разностями, напоминающими по внешнему виду песчаники. Это породы

желтовато-бурого цвета, состоящие из округлых эллипсоидальных обломков глинистых известняков, псевдоморфоз кальцита и серпентина по оливинолу и чешуек флогопита. Размер обломков 0,5—3—4 мм, причем обломки крупнее 2 мм встречаются редко.

Следующая разновидность пород этого участка — гравелитоподобные разности, на 80% состоящие из округлых, овальных, редко угловатых обломков крипто- и мелкокристаллических и глинистых известняков. Обломки кимберлитовых брекчий встречаются редко. Цемент гравелитоподобных пород — кальцит и мелкочешуйчатая серпентинитовая масса. Контакт между песчаниковыми и гравелитоподобными разностями четкий. Далее гравелитоподобные породы постепенно сменяются рыхлыми образованиями, напоминающими слабо сцементированную мелкообломочную брекчию с обломками глинистых и мелкозернистых известняков. Форма большинства обломков неправильная с явно выраженными следами механической обработки. Изредка встречаются окатанные обломки кимберлитовых брекчий, по составу и строению аналогичные кимберлитовым породам, вмещающим слоистые образования, как это установлено макроскопическими исследованиями и данными химического анализа.

Несмотря на повышенное содержание обломков осадочных пород, которые, казалось бы, должны существенно снизить количество минералов тяжелой фракции на единицу объема породы, в описываемых слоистых образованиях этого не наблюдается: содержание пироба и хромшпинели в них почти такое же, а в некоторых разновидностях даже выше, чем во вмещающих кимберлитовых брекчиях. В результате изучения протолок установлено, что в слоистых породах кристаллы алмаза встречаются чаще, чем во вмещающих кимберлитовых брекчиях. Это было подтверждено и при отработке месторождения.

В табл. 13 приведены химические анализы слоистых пород участка 1 и средний состав кимберлитовых брекчий трех тел кимберлитовой трубки. Слоистые породы по химическому составу более близки к вмещающим кимберлитовым брекчиям северо-восточного тела — главного источника обломочного материала. Низкие концентрации K_2O в слоистых породах могут свидетельствовать о выносе флогопита при перемыве и переотложении исходного кимберлитового материала.

На участке 2 слоистость выдерживается на протяжении 30 м, причем мощность слоев в основном постоянна. Однако на отдельных участках слои мелкообломочного строения постепенно переходят в мелкообломочные. Слоистость пород обусловлена чередованием различных по размеру обломков, представленных микрозернистыми и глинистыми известняками округлой, овальной реже неправильной формы. Обломочный материал характеризуется ясно выраженной ориентировкой удлиненных компонентов. Рассматриваемые образования в основном состоят из обломков осадочных пород, а также из обломков измененной кимберлитовой брекчии.

В слоистых породах встречаются обломки с ее реликтами, изредка — обрывки келифитовой оболочки без пироба. В протолочных пробах фиксируются мелкие кристаллы хромшпинели и рутила ($0,15 \times 0,08$ мм), кристаллы апатита и флогопита. Приведенные данные дают основание предположить, что слоистые толщи, участвующие в строении трубки, представляют собой осадочные образования, отлагавшиеся в карстовых пещерах.

Образование камер и полостей, в которых они накапливались, связано с развитием карстов в сильно карбонатизированных кимберлитовых брекчиях. Карстообразование в кимберлитовой трубке развито довольно широко, что установлено при отработке ее верхних горизонтов. Наибольшее количество карстовых воронок и полостей приурочено к приконтактовым частям трубки. Встречаются карстовые формы и в ее центральных частях, примером может служить участок 1. Размеры карстовых пустот самые разнообразные: от 3—5 до 60 м длиной и 2—15 м высотой.

Источник материала рассматриваемых слоистых пород — кимберлитовые брекчии трубки и вмещающие карбонатные толщи. Материал в карстовые полости привносился различными водными потоками, о чем свидетельствует не одинаковая литология участков 1 и 2: на первом потоки, очевидно, были более мощными, на втором водоем был стоячим или слабо проточным (озера), что привело к формированию тонкослоистых осадков.

Минералы тяжелой фракции и алмазы могли накапливаться в слоистых породах в том случае, если в процессе разрушения и перемыва алмазоносных пород выносились взвешенные глинистые частицы и минералы легкой фракции. В результате, несмотря на то, что среди материала появлялись обломки карбонатных пород, общее содержание минералов тяжелой фракции и алмазов увеличивается. Поэтому необходимо выявлять участки слоистых пород осадочного происхождения среди кимберлитов, так как при добыче это позволит планировать больший выход алмазов.

Следует отметить, что раньше происхождение описанных слоистых пород трактовалось по-другому. Г. В. Зольников и О. С. Егоров (1970) считали, что появление полосчатых структур на рассматриваемых участках связано с течением расплава в жерле трубки при ее выполнении, а В. М. Маслов предполагал, что механизм образования слоистых пород практически не отличается от способа формирования грубообломочных кимберлитовых брекчий с беспорядочно ориентированной текстурой. Как показали исследования автора, генезис слоистых пород кимберлитовой трубки осадочный.

Указанный тип россыпей, по-видимому, развит более широко. Однако до сих пор на них не обращали должного внимания. Подобные россыпи могут быть удалены на значительное расстояние от кимберлитовых трубок, поэтому при отработке трубок необходимо внимательно обследовать приконтактовые зоны, в которых могут быть выявлены россыпи описанного типа.

Номер образца	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO
АХ-122/69	Плотная микрообломочная слоистая	27,05	0,34	1,99	0,14	1,79	1,26	0,04	0,07
АХ-5А 109/69	Песчаноподобная слоистая	7,34	0,35	2,13	0,145	1,93	0,65	0,04	0,05
АХ-5/2 2	То же	15,00	0,31	2,33	0,092	2,03	1,00	0,04	0,052
	Слоистые кимберлиты (по Г. В. Зольникову и О. С. Егорову, 1970 г.)	19,88	0,39	2,41	—	3,34	0,27	—	—
3	То же	18,72	0,24	1,66	—	3,17	0,26	Не опре	
4	" "	15,34	0,23	1,40	—	2,45	0,31	—	—
5	" "	16,73	0,24	1,47	—	2,63	0,31	—	—
	Средний состав слоистых пород (семь табличных анализов и два анализа по В. М. Маслову)	17,91	0,36	1,97	0,14	2,91	0,56	0,04	0,05
	Состав кимберлитовых брекчий северо-восточного тела (20 анализов)	14,93	0,38	2,23	0,084	2,81	0,99	0,12	0,048
	Состав кимберлитовых брекчий юго-западного тела (13 анализов)	22,93	0,32	3,35	0,07	3,43	0,98	0,06	0,05
	Состав кимберлитовых брекчий центрального тела (27 анализов)	25,94	0,38	2,09	0,16	3,45	1,12	0,07	0,094
	Состав жильных кимберлитов (4 анализа)	11,06	0,65	1,16	0,23	3,83	0,46	0,08	0,075
АХ-5В	Обломки кимберлитовой брекчии в переотложенных слоистых породах	9,06	0,36	2,30	0,10	2,66	1,80	0,11	0,052
АХ-5В (11)	То же	9,88	0,37	2,84	0,25	2,34	0,50	0,06	0,052

подземноводных россыпей

	СоО	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S _{общ.}	CO ₂	H ₂ O	П.п.п.	Сумма
0,008	24,39	17,99	0,29	0,14	0,38	Следы	15,51	0,87	7,31	99,568	
0,0033	8,17	40,19	0,45	0,22	0,50	"	35,64	6,88	1,12	99,8083	
0,0051	12,42	31,81	0,41	0,21	0,47	Не обн.	28,83	1,62	3,08	99,808	
—	17,77	27,14	0,27	0,08	0,58	Не опр.	20,97	—	6,21	99,31	
делен	20,19	25,29	0,24	0,03	0,34	—	23,81	—	5,56	99,61	
—	18,11	28,49	0,24	0,03	0,34	—	27,03	—	5,53	99,61	
—	18,96	26,59	0,18	0,08	0,38	—	26,52	—	5,81	99,50	
0,005	17,23	27,68	0,30	0,11	0,45	0,098	24,18	1,26	5,40	100,653	
0,005	16,66	26,59	1,08	0,19	0,68	0,19	27,42	1,84	3,24	99,487	
0,007	17,39	21,60	0,68	0,23	0,31	0,49	20,21	1,82	6,11	99,97	
0,019	25,07	16,93	0,34	0,33	0,53	0,089	14,40	1,52	7,34	99,87	
0,008	7,88	37,76	0,34	0,27	0,65	0,04	27,91	1,47	4,71	99,64	
0,0044	16,36	28,41	0,57	0,51	0,77	0,07	33,84	1,08	1,58	99,62	
0,0051	7,36	39,28	0,63	0,27	0,84	Не обн.	32,50	1,36	1,64	100,177	

Промышленные алмазные россыпи ледникового генезиса известны в Бразилии (Трофимов, 1967), а ледниковые алмазоносные отложения встречаются во многих районах платформенных областей (в США — алмазоносная плейстоценовая морена в штатах Висконсин, Мичиган, Индиана, Огайо; и других районах). Алмазоносные ледниковые отложения зарубежных стран описаны недостаточно детально. Основное внимание при их изучении уделялось степени алмазоносности, поэтому очень трудно судить о генезисе и источниках, за счет которых они образовались, дальности переноса алмазов ледниками и характере распределения в них алмазов.

Наиболее древние алмазоносные ледниковые отложения — позднедокембрийские конгломераты свиты Лаврас в Бразилии. Выделяются две формации ледниковых отложений: формация водноледниковых отложений Сопа, представленная только конгломератами, и формация Махабуас, сложенная тиллитами и песчано-конгломератовыми отложениями. Генезис отложений ледниковый, о чем свидетельствует их текстура. Гальки и валуны в конгломератах распределены беспорядочно, на поверхности большинства из них сохранились следы ледниковой обработки. Мощность алмазоносных слоев достигает 2 м, средняя масса алмазов 0,25—0,5 карата/м³. О содержании алмазов в россыпях и закономерностях их распределения данных нет. Однако, судя по масштабам ежегодной добычи (600—2500 каратов), россыпи невелики и содержание алмазов в них низкое.

В Южной Бразилии в шт. Парана расположены алмазоносные ледниковые отложения пермского возраста. В бассейне р. Тибажи они сложены валунами размером до 20 м и галькой кристаллических сланцев, гранитов, гранулитов, слюдяных сланцев, порфиоров, кварца и метаморфических пород, сцементированных кремнеземом коричневого цвета. Общая мощность алмазоносных отложений около 6 м. Залегают они отдельными пластами мощностью 0,5—0,8 м среди желтоватых и пепельных мелкозернистых песчаников пермского возраста. В Боливии в бассейне р. Туинчи отдельные находки алмаза также связаны с пермскими тиллитами.

Следовательно, россыпи ледниковой группы могут представлять промышленный интерес. Промышленные россыпи собственно ледникового генезиса могут формироваться за счет ледниковой абразии коренных источников и промежуточных коллекторов с высоким содержанием алмазов, так как постоянный привнос неалмазоносного материала обычно приводит к разубоживанию россыпей. Промышленная россыпь всегда тесно привязана к коренному источнику. Водно-ледниковые россыпи образуются за счет перемыва алмазоносных собственно ледниковых отложений. Поэтому даже при убогой алмазоносности последних при благоприятных условиях могут образоваться обогащенные россыпи.

Среди алмазных россыпей эолового типа можно выделить два генетических подтипа — эоловой аккумуляции и эоловой дефляции. Россыпи эоловой аккумуляции приурочены к окраинным частям котловин выдувания. Размеры их небольшие (запасы менее 10 тыс. каратов), содержание невысокое (0,2—0,3 карата/м³).

Россыпи эоловой дефляции, названные В. С. Трофимовым остаточными россыпями эолового происхождения, более крупные. Такие россыпи известны на Атлантическом побережье Намибии и Малого Намакваленда. Они приурочены к котловинам выдувания. Сильные ветры, дующие в определенном направлении, вызывают на поверхности коренных рыхлых алмазоносных пород, не покрытых растительностью, дефляционные ложбины различных размеров (длина некоторых достигает 10 км, ширина до 1,5 км, глубина до 100 м). Примером может служить ванна Кауказибталь (рис. 27). На дне котловины имеются мелкие гряды и выступы, сложенные устойчивыми породами. Под действием господствующих ветров и временных водотоков в эти котловины со склонов и ближайших возвышенностей поступает алмазоносный материал. В результате последующей эоловой деятельности и интенсивного физического выветривания материал подвергается дезинтеграции, мелкие и легкие частицы уносятся ветром, а более крупные частицы, минералы тяжелой фракции и алмазы скапливаются на днищах котловин. Мощность алмазоносных отложений 0,15—7,5 м. Алмазы

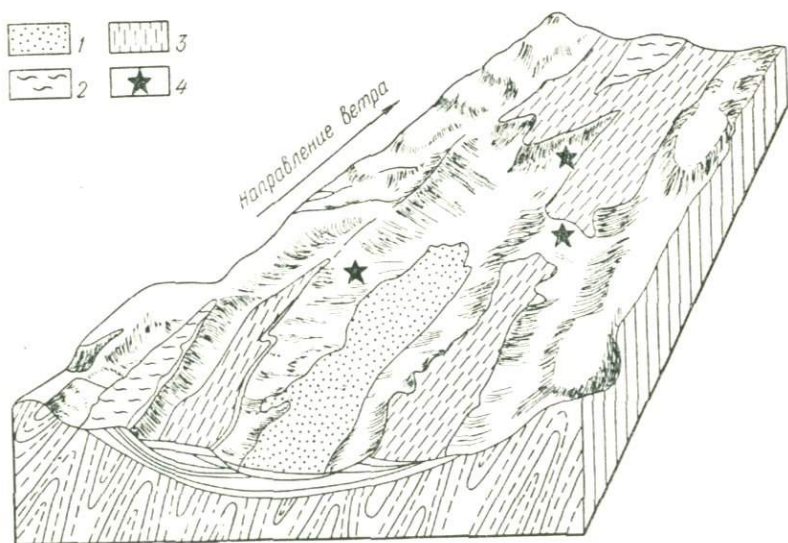


Рис. 27. Блок-диаграмма участка развития эоловых россыпей в Южной Африке («ванна» Кауказибталь). По О. Штутцеру (Stutzer, 1935).

1 — песчано-валунные отложения; 2 — суглинки с галькой и щебенкой; 3 — глины с галькой и щебенкой; 4 — места наибольших концентраций алмазов

концентрируются среди грубообломочного материала, поэтому не переносятся ветром. Содержание алмазов в эоловых отложениях иногда достигает 60 каратов. Отрабатываются россыпи с содержаниями 0,2 карата/м³.

Для формирования россыпей эоловой дефляции необходимы следующие условия: аридный климат, интенсивное физическое выветривание, ветры одного направления и достаточно большой силы, наличие промежуточных коллекторов алмаза площадного типа и отсутствие растительного покрова.

Следует отметить, что в природе часто встречаются сложные по генезису россыпные месторождения. Иногда очень трудно провести границу между близрасположенными россыпями различных генетических типов. Часто алмазная россыпь включает отложения нескольких генетических типов. Однако закономерности их формирования, размещения и промышленная ценность их в целом те же, что и в россыпях чистых генетических типов.

ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

Любая классификация, основанная на комплексе признаков, должна систематизировать совокупность тех или иных объектов, явлений, разделяя их на соответствующие таксономические группы. Соподчиненность применяемых таксонов дает возможность выделять главные наиболее важные для целей настоящей классификации признаки, устанавливает масштаб охвата тем или иным признаком круга классифицируемых объектов.

Промышленная классификация геологических объектов и, в частности, месторождений полезных ископаемых, имеет своей целью из многочисленных признаков месторождений выделить такие, которые способствовали бы их рациональной эксплуатации. Независимо от вида минерального сырья и генетических особенностей месторождения к таким признакам относятся запасы полезного компонента, его содержание, условия его локализации.

Алмазные россыпи отличаются большим разнообразием чисто количественных параметров (запасы, содержание, размеры) и генетических признаков (геоморфологическое положение, фациальный тип отложений, гранулометрический состав вмещающих пород и др.). Запасы россыпей в пределах платформ колеблются по отдельным россыпям от 20 до 400 000 тыс. каратов. Представление о масштабах алмазоносности россыпей за рубежом можно составить по следующим данным. В Анголе известны аллювиальные россыпи с общими запасами 160—300 тыс. каратов; в ЮАР в районе г. Бакен обнаружены аллювиальные россыпи с общими запасами в 600 тыс. каратов; в Гане по р. Бирим из отдельных россыпей предполагается добывать в год 1,8 млн. каратов алмазов; в Индии в районе Панна находятся аллювиальные россыпи с запасами 120 тыс. каратов. Наиболее крупные по запасам россыпи

бассейна р. Конго (Заир) оцениваются в 400 млн. каратов и т. д. (табл. 14).

Колеблется содержание алмазов в обрабатываемых россыпях. В аллювиальных россыпях Африки они составляют 0,12—2 карата/м³.

Самое низкое содержание алмазов отмечено в россыпях Гвинеи, где по р. Диани содержание алмазов в россыпях вниз по течению уменьшается от 0,72 до 0,12 карата/м³. Мощность алмазоносных галечников 0,3—2 м. Самые высокие содержания алмазов установлены в россыпях Ганы по р. Бирим—2 карата/м³. Мощность алмазоносных галечников составляет в этих россыпях 0,6—3 м. Основные алмазоносные россыпи Анголы расположены по притокам р. Касан (правого притока р. Конго). Мощность алмазоносных галечников 0,75 м, перекрывающих наносов 0,6—1,8 м. В 1971 г. среднее содержание алмазов составило в отработанных россыпях 0,58 карата/м³. На севере страны выявлены новые алмазоносные россыпи с содержанием 0,7, 1,74 и 2,28 карата/м³.

Аллювиальные россыпи в ЮАР сосредоточены в бассейне р. Вааль. Здесь разрабатываются русловые и террасовые россыпи, древние галечники сухих рек, а также галечники, заполняющие карстовые воронки. Мощность алмазоносных галечников в русловых россыпях 9—12 м, перекрывающих наносов 10—12 м. В эксплуатируемых россыпях содержание алмазов примерно 0,2 карата/м³, россыпи с содержанием ниже 0,1 карата/м³ обычно не разрабатываются.

Морские россыпи промышленного значения расположены на Атлантическом побережье Африки в устье р. Оранжевой. На базе этих россыпей основана добыча алмазов в Намибии и Намакваланде.

Таблица 14

Промышленные содержания и сортность алмазов некоторых россыпей зарубежных стран

Страны	Среднее содержание алмазов в обрабатываемых россыпях, карат/м ³	Содержание ювелирных алмазов в россыпях, %
Ангола	0,6	60
Берег Слоновой Кости	0,3	40
Гана	2	2—10
Гвинея	0,12—7,2	20
Заир	0,47—0,61	3,0—3,5
Сьерра-Леоне	0,8	37
Центральноафриканская Империя	0,4	66
ЮАР	0,2	40
Бразилия	0,5	34
Венесуэла	0,3	40
Индия	0,15	80

Содержание и размер алмазов в морских россыпях

Фашиально-генетический тип	Среднее содержание алмазов, карат/м ³	Средний размер алмазов, карат
Прибрежно-морские	0,26—0,32	0,88
Россыпи полосы приливов и отливов	0,3	0,5
Россыпи морского шельфа	1,26	0,42

ленде (ЮАР). Разрабатываются различные фашиально-генетические типы россыпей: прибрежно-морские, полосы приливов и отливов, морского шельфа. Каждый из этих типов характеризуется определенными содержаниями алмазов (табл. 15, по В. С. Трофимову).

Глубина залегания продуктивных пластов россыпей различна. В Африканских россыпях глубина залегания продуктивного горизонта от 0,6—1,8 м (притоки р. Касаи, Ангола) до 10—12 м (бассейн р. Вааль, ЮАР). В Индии (провинция Панна по рекам Чандра и Пукри) мощность наносов 1,2—1,8 м. В Бразилии (бассейн р. Жекитиньонья) алмазоносные галечники мощностью 2—5 м покрыты 14-метровой толщей наносов. Для многих рек Бразилии характерны алмазоносные котлы в пределах русел ниже водопадов. Глубина котлов 17—30 м (рис. 28).

Одна из важнейших черт промышленных характеристик алмазоносных россыпей — содержание ювелирных камней. В целом содержание ювелирных разностей в россыпях значительно выше, чем в коренных источниках. Однако величина этого параметра по россыпям значительно колеблется, что сказывается на промышленной значимости объектов. Колеблется содержание ювелирных алмазов и в россыпях платформенных территорий зарубежных стран. Наименьшее количество (2%) ювелирных алмазов

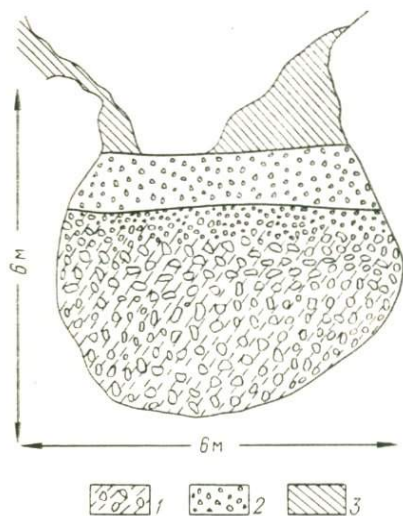


Рис. 28. Характер строения аллювиальных россыпей в так называемых котлах. Из этого котла, объем которого 50 м³, извлечено 2500 каратов алмазов. По М. Бардету (Bardet, 1973).

1 — песок с включением галечного материала слабоалмазоносный; 2 — гравий со средними содержаниями 160 каратов/м³; 3 — галечник с содержаниями 6 каратов/м³

содержится в россыпи р. Бирим (Гана), обогащены алмазами ювелирных сортов россыпи Анголы. Наиболее богаты ювелирными алмазами россыпи прибрежно-морского генезиса (до 80—90%).

Выделим следующие таксономические подразделения, находящиеся в последовательном ранговом подчинении (табл. 16): группы по величине запасов, подгруппы по содержаниям алмазов, классы по сортности. На основании диапазона колебаний значений соответствующих параметров выделены четыре группы по величине запасов: уникальные (очень крупные), крупные, средние (рядовые) и мелкие. Каждая группа подразделяется на три подгруппы по содержаниям алмазов: богатые, средние, бедные. Каждая подгруппа включает два класса, выделенные по сортности алмазов (по содержанию ювелирных камней): с высокосортными и низкосортными алмазами.

Таким образом, выделенные таксоны характеризуют алмазоносные россыпи по основным признакам: определяют их промышленную ценность, а также масштабы и способы отработки. Если каждому выделенному таксону дать индекс, то промышленный тип отдельной россыпи можно обозначить цифровым и буквенным символами, отражающими основные параметры последней. В таком случае классификационный символ крупной богатой россыпи с высокосортными алмазами будет: II. 1a.

Рассматривая с позиции данной классификации известные россыпные месторождения различных платформенных областей, можно сделать вывод, что основная часть месторождений (см. табл. 16) по величине запасов относится к III и IV группам (средние и мелкие месторождения), а по содержанию алмазов — к подгруппе средних. Богатые по содержанию россыпи известны в Заире и на севере ЮАР. По сортности алмазов большинство зарубежных месторождений относятся к классу высокосортных. Содержание последних там 66—95%. К классу низкосортных принадлежат россыпи рек Бирим (Гана), Касаи (Ангола).

Рассмотренная классификация учитывает основные параметры россыпей и представляет собой промышленную систематику в чистом виде. Естественно, что для оценки и прогнозирования новых россыпных объектов важно связать промышленные типы с генетическими, отражающими комплекс геологических условий образования россыпей. Для этого к собственно промышленной классификации присоединены подразделения, соответствующие определенным генетическим типам и подтипам россыпей (см. табл. 16). Таким образом, каждая единица промышленной классификации генетически привязана, а ее индекс дополнен словом, объясняющим генетическую принадлежность. Следовательно, индекс россыпи крупной, богатой, с высокосортными алмазами аллювиальной, крупной реки — II.1a аллювиальная, крупной реки.

Предложенная промышленная классификация алмазоносных россыпей более полно отвечает назначению, чем ранее существовавшие классификации россыпей алмазов, в сущности представляющие собой известные генетические типы объектов. Такие клас-

Промыленно-генетическая классификация алмазных россыпей

Группы по величине запасов	Подгруппы по содержанию (среднее содержание, караты/м ³)	Классы по сортности	Количество известных месторождений за рубежом	% от общего запаса алмазов в россыпях в зарубежных странах	Условия образования										Месторождения	
					элювиальные	делювиальные	пролювиальные	аллювиальные				озерные	прибрежно-морские	золотые		ледниковые
								очень крупных рек	крупных рек	рек средних размеров	мелких рек					
I. Уникальные (запасы более 25 млн. каратов)	1. Богатые (более 1)	а) с высокосортными алмазами (ювелирных более 20%)	2	4—43									+		Намакваленд (ЮАР), Намибия	
		б) с низкосортными алмазами (ювелирных менее 20%)	4			+			+						Реки Бакванга (Занр), Касаи (Ангола), Вааль (ЮАР)	
	2. Средние (0,2—1)	а) с высокосортными алмазами (ювелирных более 20%)	2											+		Прибрежно-морские россыпи Намакваленда (ЮАР)
		б) с низкосортными алмазами (ювелирных менее 20%)	8			+		+	+	+						Реки Касаи (Ангола), Буйволовая (ЮАР), Бирим (Гана)

3. Белые (0,2)	а) с высокосор- ными алмазами (ювелирных более 20%)	6	Россия: Браз- илин, р. Вааль (ЮАР), Ганга (Индия)	Россия: Браз- илин, р. Вааль (ЮАР), Ганга (Индия)	11. Купные (запасы от 10 до 25 млн. ка- ратов)	2. Средние (0,2-1)	а) с высокосор- ными алмазами (ювелирных более 20%)	5	Россия: прито- ков рек Оран- жевой, Вааль (ЮАР)	2-22	б) с низкосор- ными алмазами (ювелирных менее 20%)	4	Рекка Касаи (Ангота)	1. Боратые (более 1)	а) с высокосор- ными алмазами (ювелирных более 20%)	3	Рекка Бувиллова, Намаквалени (ЮАР)	б) с низкосор- ными алмазами (ювелирных менее 20%)	2	Иритоки р. Ка- сан (Ангота), Лу- куа (Занр)
	б) с низкосор- ными алмазами (ювелирных менее 20%)	12	Рекки Оранжевая (ЮАР), Ганг (Индия)	Иритоки р. Ка- сан (Ангота), Лу- куа (Занр)			а) с высокосор- ными алмазами (ювелирных более 20%)	3	Рекка Бувиллова, Намаквалени (ЮАР)		б) с низкосор- ными алмазами (ювелирных менее 20%)	2								

Группы по величине запасов	Подгруппы по содержанию (среднее содержание, караты/м ³)	Классы по сортности	Количество известных месторождений за рубежом	% от общего запаса алмазов в россыпях в зарубежных странах	Условия образования										Месторождения		
					элювиальные	делювиальные	пролювиальные	аллювиальные			озерные	прибрежно-морские	золотые	ледниковые			
								очень крупных рек	крупных рек	рек средних размеров						мелких рек	
	3. Бедные (менее 0,2)	а) с высокосортными алмазами (ювелирных более 20%)	1							+						Река Вааль (ЮАР)	
		б) с низкосортными алмазами (ювелирных менее 20%)	17							+		+				Притоки р. Касаи (Ангола)	
III. Средние (запасы от 1 до 10 млн. каратов)	1. Богатые (более 1)	а) с высокосортными алмазами (ювелирных более 20%)	13	26—19				+	+	+						Реки Субиниза, Буйволовая (ЮАР)	
		б) с низкосортными алмазами (ювелирных менее 20%)	29						+	+	+	+	+			Лулембо (Заир)	
	2. Средние (0,2—1)	а) с высокосортными алмазами (ювелирных более 20%)	3									+		+	+		Бонза (Гана)
		б) с низкосортными алмазами (ювелирных менее 20%)	46									+	+	+			Чумебо (Заир)

сификации дают определенные геологические характеристики россыпей, однако в большинстве случаев не отражают промышленного признака. Предложенная классификация объединяет необходимые для промышленного освоения, оценки и прогнозные признаки россыпей.

Анализируя россыпную алмазность древних платформ по предложенной геологической классификации, можно сделать следующие выводы:

1) основные промышленные типы алмазных месторождений — аллювиальный и прибрежно-морской. Лишь в исключительно благоприятных геологических условиях другие генетические типы могут образовать уникальные и крупные промышленные месторождения. Так, уникальные по запасам делювиальные россыпи Бакванги в Заире сформировались только благодаря наличию карста;

2) уникальные и крупные месторождения образуются только в определенной геолого-геоморфологической обстановке и не возникают при отсутствии хотя бы одного из основных факторов россыпеобразования;

3) можно прогнозировать россыпи определенного масштаба с определенной сортностью алмазов в различных генетических типах отложений. Так, например, уникальное по запасам, с высоким содержанием и высокосортными алмазами месторождение может быть найдено только среди прибрежно-морских отложений;

4) уникальные и крупные россыпные месторождения необходимо искать не попутно с коренными, а целенаправленно, так как именно в них заключены основные запасы алмазов.

ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ РОССЫПЕЙ

Основные факторы россыпеобразования — тип первоисточника, климатический, геолого-структурный, геоморфологический, литологический, гидродинамический и временной. Значение этих факторов при формировании россыпей не одинаково. Поэтому на большом фактическом материале проанализируем их роль и установим общие закономерности, которые можно было бы использовать при прогнозировании и поисках.

ТИП ПЕРВОИСТОЧНИКОВ РОССЫПЕЙ

Первоисточники россыпей — кимберлитовые тела и более древние россыпи различных генетических типов.

Кимберлитовые тела развиты только на древних платформах. Первоисточниками в пределах молодых платформ и складчатых областей являются древние россыпи, коренной источник которых до сих пор не установлен, или древние промежуточные коллекторы, алмазы которых привносились из территорий древних платформ в разное время.

На древних платформах мира известно более 950 кимберлитовых тел, почти половина их алмазоносны, а менее 10% содержат повышенные концентрации алмазов.

Среди кимберлитовых тел по форме залегания различают трубки, дайки, жилы и силлы (рис. 29). Морфология кимберлитовых тел довольно изменчива. Чаще всего это овальные в плане тела, иногда с извилистыми очертаниями. Встречаются трубки сложной в плане формы (рис. 30).

Размеры кимберлитовых трубок варьируют от первых метров в диаметре до одного километра и более. Площади крупнейших африканских трубок достигают 31—35,5 га (Премьер, Талала в ЮАР), а площадь самой большой известной трубки Мвадуи (Танзания) 162,3 га. Есть в Африке трубки с площадью выхода на древнюю поверхность 20—30 м², а диаметр некоторых трубок-малюток в Западной Африке 1 м. Средняя площадь трубок в современном срезе 0,1—2,5 га.

Кимберлитовые дайки и жилы расположены группами, а также встречаются в виде отдельных тел. Они характеризуются различной мощностью и протяженностью. Дайки и жилы могут быть прямолинейными или ветвящимися, выполнять трещины разрыва и скола. Падение тел преимущественно крутое, но изредка встречаются и наклонные жилы и дайки с углами падения 30—65°.

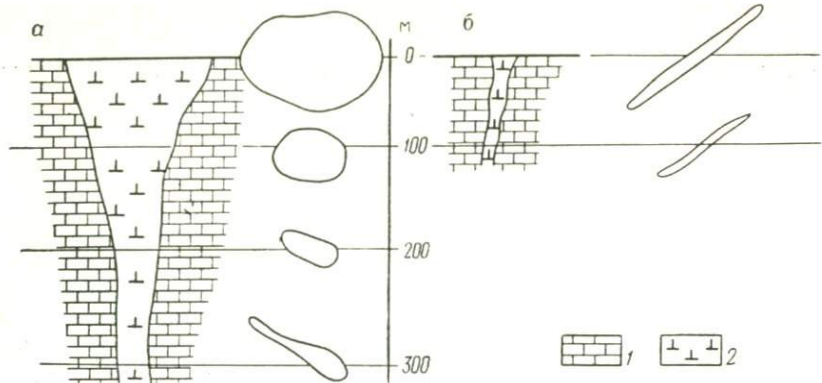


Рис. 29. Форма залегания кимберлитовых тел:
 а — кимберлитовые трубки, б — кимберлитовые дайки.
 1 — вмещающие породы; 2 — кимберлиты

Мощность даек и жил колеблется от первых сантиметров до 4—5 м и иногда резко изменяется на небольших отрезках. Ряд жил обнаруживает раздувы, достигающие 15—50 м в поперечнике при длине до 100 м (Владимиров и др., 1971). Нередко жилы сопровождаются апофизами. Среди даек выделяются две группы: сопряженные с трубками и самостоятельные (Трофимов, 1967). Среди самостоятельных жил выделяются три подгруппы: а) одиночные дайки и жилы длиной до нескольких километров; б) зоны параллельных и местами кулисообразных жил и даек, ширина которых 300—400 м, а протяженность 17—25 км (зоны Сефеду в Сьерра-Леоне, Фенарии в Гвинее, район Уинбурга в ЮАР); в) зоны ветвящихся кимберлитовых жил и даек обычно вертикального падения и мощностью от 1 см до 2,5 м. Примером группировок такого типа могут служить дайки и жилы Фенарийской площади в Гвинее, где маломощные субпараллельные тела приурочены к зоне дробления гранитов, шириной 300—400 м и протяженностью 25 км (В. Т. Козлов, 1966 г.). В отдельных случаях сетка жил и ответвляющихся от них апофиз образует штокверк с содержанием кимберлита в горной массе до 20%.

Среди даек и жил, связанных с кимберлитовыми трубками, различают возникающие по периферии трубок, радиальные мощностью до 10—50 см и постепенно вклинивающиеся по мере удаления от трубок; концентрические жилы по периферии трубок; кимберлитовые дайки, соединяющие близко расположенные трубки и жилы и жилообразные тела в теле кимберлитовых трубок.

Кимберлитовые силлы встречаются в ЮАР, Родезии, Танзании и Кении. Эти своеобразные кимберлитовые тела приурочены к пологопадающей отдельности или к контактам покровных залежей и нижележащих пород. Форма их довольно разнообразная, обусловленная характером вмещающих пород. Мощность тела постепенно уменьшается от центра к периферии. Нередко силл заканчивается серией пологопадающих прожилков. Подводящим каналом

иногда является кимберлитовая дайка, но в большинстве случаев подводные каналы не обнаружены. Наиболее крупные силлы достигают нескольких километров по длинной оси и более 1 км по короткой (силл Бенфонтейн в ЮАР). Встречаются тела, размеры которых по обеим осям не превышают 100 м (силл Салтпертспен). Чаще всего длинная ось силла составляет 300—450 м, короткая 180—250 м. Строение силлов простое. Кайма большинства силлов затвердевшая, породы по контактам частично окремнены и заполнены халцедоном и яшмой. Промышленные содержания алмазов установлены только в трубках, дайках и жилах.

Первоисточниками алмазных россыпей, кроме кимберлитов, могут быть более древние россыпи — промежуточные коллекторы. Их форма самая разнообразная и зависит от генетического типа древней россыпи, ее сохранности и положения в рельефе. В зависимости от условий залегания выделены два подтипа промежуточных коллекторов: площадной и линейный. Промежуточные коллекторы площадного типа при формировании россыпей расположены на открытых поверхностях, форма, конфигурация и размеры их разнообразные. Степень их алмазоносности различна. Так, например, первоисточник крупных аллювиальных россыпей бассейна р. Касаи — меловые конгломераты и третичные галечники, залегающие на водоразделах и склонах. Площади развития этих промежуточных коллекторов занимают сотни квадратных километров. Источники современных россыпей Бразилии — докембрийские конгломераты, которые на дневную поверхность выходят в виде площадей. Типичный пример промежуточных коллекторов линейного типа — выходы докембрийских конгломератов в виде маломощных (0,5—3 м) слоев на склонах в Гане и Венесуэле.

СТЕПЕНЬ АЛМАЗОНОСТИ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ

Алмазоносность кимберлитов и промежуточных коллекторов колеблется от долей каратов до 4 каратов/т в кимберлитах и от долей каратов до 6—10 каратов/т и более в промежуточных коллекторах. В последних иногда встречаются локально-обогащенные участки с очень высоким содержанием (сотни каратов на 1 м³).

Степень алмазоносности кимберлитовых тел зарубежных стран различна. Преобладают кимберлитовые трубки с низкими содер-

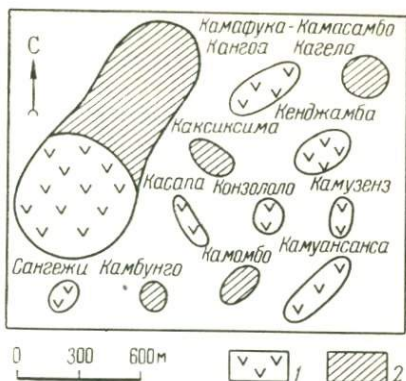


Рис. 30. Форма и размеры некоторых трубок в западной части кимберлитового поля Лунда (бассейн р. Чикапы, Заир).

1 — эруптивные брекчи кимберлитов; 2 — кимберлитовые туфобрекчи

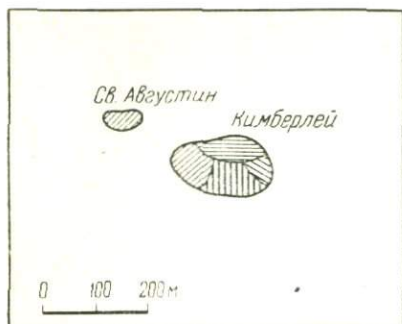


Рис. 31. Характер алмазоносности кимберлитовых тел. По В. А. Милашеву (1972).

1—4 — кимберлитовые брекчии с большим количеством борта (1), с остросреберными бесцветными октаэдрами (2), с большим количеством обломков кристаллов и желтоватых октаэдров, характеризующихся притуплением ребер и округлением граней (3), с непромышленными содержаниями алмазов, среди которых преобладают коричневые и дымчатые октаэдры и присутствует много двойников (4)

изменяется содержание алмазов в пределах одного кимберлитового тела, хотя и здесь встречаются участки, обогащенные и обедненные алмазами. Это объясняется следующим: обогащением алмазов в корках выветривания, наличием нескольких генераций кимберлитовых пород, отличающихся по первичному содержанию алмазов, неравномерностью распределения ксенолитов вмещающих пород. В корках выветривания концентрация алмазов значительно выше, чем в первичных кимберлитах. Зона обогащения 4—60 м и зависит от климатических условий. Максимальная — в условиях тропического климата. Различные генерации кимберлитовых пород отмечены в телах сложного строения. Содержание алмазов в них не одинаковые. Это установлено на трубках Кимберлей (ЮАР), Де-Бирс (ЮАР) и др. К примеру, западная часть трубки Кимберлей не эксплуатировалась в связи с низкими содержаниями (Милашев, 1974; рис. 31). С глубиной содержания алмазов в кимберлитах не изменяются.

Степень алмазоносности промежуточных коллекторов разнообразная. В отличие от коренных источников, где алмазы распределяются сравнительно равномерно по всему телу, в промежуточных коллекторах они распределены неравномерно. Обогащенные участки чередуются с не обогащенными или лишенными алмазов (см. таблицы 3, 4, 5, 6, 7).

Следовательно, содержание алмазов в промежуточных коллекторах самое разное, а в россыпях концентрации алмазов выше, чем в промежуточных коллекторах.

жаниями алмазов. Самая большая из известных кимберлитовых трубок — Мвадуи (1625×1068 м), содержит 0,2—0,22 карата/т. Содержание алмазов в трубках составляет (караты/м³): Премьер 0,34, Финш 0,54, Кофффонтейн 0,09, Вессельтон 0,28, Бульфонтейн 0,22, дайки Свартрюгген 1,37, жилы Бельсбенк 0,2—0,83. Среднее содержание алмазов в недавно обнаруженной крупной трубке Орапа в Ботсване 0,83 карата/м³. Итак, содержание алмазов даже в богатых кимберлитовых трубках составляет лишь несколько сотысячных долей процента от общей массы породы трубки. В пределах кимберлитовых полей известны тела с промышленными, непромышленными содержаниями и безалмазные. Значительно меньше изме-

МАСШТАБЫ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ПЕРВОИСТОЧНИКОВ И МЕТОДИКА ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Эрозионным срезом кимберлитов и промежуточных коллекторов определяют масштабы проявления россыпной алмазности. Достоверность оценки эрозионным срезом зависит от геологической изученности территории и от того, насколько детально восстановлена история геологического развития. Наиболее детально такие работы проведены в Сибирской провинции. В других алмазных провинциях этот вопрос детально не рассматривался.

Глубину эрозионного среза Сибирской платформы определяют многие исследователи (Рожков и др., 1963; Ковальский, 1963; Михайлов, Гридасов, 1963; Леонов, Прокопчук, 1962; и др.). Однако его оценка существенно различна (табл. 17), что объясняется не одинаковой трактовкой истории геологического развития и палеотектоники.

Непосредственным расчетам величин денудационного среза кимберлитовых тел должны предшествовать исследования, позволяющие восстановить историю геологического развития рассматриваемой территории. Особое внимание должно быть уделено палеогеографии и палеотектонике осадочного чехла, его эволюции в пространстве и времени, а также выявлению палеотектонических обстановок в момент формирования кимберлитовых трубок и во время эпох россыпеобразования.

Как показали работы В. В. Ковальского и др. (1969, 1963), огромное значение имеет тщательное изучение ксенолитов с органическими остатками из трубок взрыва. Эти сведения дают возможность получить надежные данные о составе осадочного чехла, существовавшего в периоды проявления коренной алмазности и не сохранившегося до сих пор. Не менее интересные и ценные результаты получены при детальном изучении ксенолитов пород, участвующих в строении осадочного чехла алмазных районов. Полученные результаты, а также палеогеографический и палеотектонический анализы помогают достаточно надежно воссоздать состав и строение осадочного чехла в определенные геологические эпохи.

Для расчета величины денудационного среза необходимо определить возраст кимберлитовых тел, установить крупные циклы денудации, выявить масштабы и интенсивности денудационных процессов. Желательно детализовать структуры крупных денудационных циклов и выделить в них этапы, так как в рамках россыпеобразования максимум алмазности падает на определенные этапы и их отрезки.

Расчет вероятных величин среза по каждому району (по Е. В. Францесон, 1972) производят в следующей последовательности:

- 1) определяют мощность и строение осадочного чехла;
- 2) реконструируют денудированную часть осадочного чехла до времени формирования кимберлитовых тел;

Глубина (в м) эрозионного среза районов кимберлитового вулканизма
Сибирской провинции

Кимберлитовые тела	И. С. Рожков и др. (1967)	М. В. Михай- лов, Н. В. Гри- ласов (1963)	В. Н. Отню- ков (1973)	Г. Х. Файн- штейн и др. (1970 г.)	В. В. Коваль- ский и др. (1970 г.)	М. А. Круто- ярский и др. (1968 г.)	З. В. Осипова (1966 г.), Жуков и др. (1966 г.)
Центральная часть провинции							
1	325	500—600	80—120	170—220	200—350	—	—
2	300—350	—	580—640	—	900	—	—
3	300—350	—	270—310	—	650	—	—
4	200—300	—	—	—	1500	—	—
Северная часть провинции							
5	300—400	—	—	—	—	—	—
7	200—300	—	—	—	1800	300—350	200—400
12	500—700	—	—	—	—	—	—
15	1500	—	—	—	2400—2600	—	150—250
Юго-восточная часть провинции							
21	Более 500	—	—	—	—	—	—

3) определяют величину среза осадочного чехла и кимберлитовых тел со времени их формирования до перекрытия более поздними осадками (первый денудационный цикл);

4) определяют величину среза осадочных толщ и кимберлитовых тел после размыва перекрывающих эти тела осадков (второй денудационный цикл);

5) повторяют предыдущие операции для каждого цикла, если денудационных циклов больше чем два;

6) после получения всех величин частных срезов (для каждого цикла) определяют общую величину денудационного среза как сумму величин частных срезов, которая должна быть равной реконструированной части осадочного чехла.

Однако при определении древнего денудационного среза всегда можно совершить ошибки. Наиболее точно можно определить четвертичный эрозионный срез кимберлитов, так как для него геоморфологическая обстановка ясна.

Эрозионный срез четвертичного времени Сибирской платформы был произведен по следующей методике. По гипсометрической карте масштаба 1:100 000 определялось положение каждой кимберлитовой трубки в современном рельефе. Отметки плоских водораздельных пространств брались за нулевые, так как они представляли собой в начале четвертичного времени поверхности выравнивания. Разница в высотах составляет масштабы эрозионного среза за четвертичное время. Зная площадь кимберлитовых тел и содержание в них алмазов, а также высоту сденудированной части трубки, можно вычислить объем алмазов, которые перешли в россыпи.

Таким же образом можно определять и степень денудации промежуточных коллекторов. Следует учитывать, что подсчитать объемы алмазов в сденудированных промежуточных коллекторах значительно труднее, так как алмазы в них распределены неравномерно. Но даже ориентировочный подсчет вынесенных алмазов имеет большое значение при прогнозировании и поисках.

О масштабах денудации кимберлитов по зарубежным алмазодобным провинциям нет литературного материала. Можно предположить, что кимберлиты Южной Африки сденудированы на глубину более 1 км. Свыше 2 км достигает эрозионный срез кимберлитов Индии. Суммарный эрозионный срез кимберлитов центральной части Африканского континента составляет около 700 м, а Северной Америки 100—150 м.

ТИПЫ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РОССЫПЕЙ

Выделено шесть типов первоисточников, влияющих на формирование россыпей разных генетических типов (табл. 18). К первому типу отнесены отдельные кимберлитовые трубки, по степени алмазодобности подразделяющиеся на богатые (более 1 карата/м³), средние (0,2—1 карата/м³) и бедные алмазами (ме-

Роль первоисточников разных типов

Тип первоисточников	Среднее содержание алмазов, карат/м ³	Генетические типы								
		элювиальный		делювиальный		аллювиальный				
		на кимберлитах	на древних про- межуточных кол- лекторах	гравитационные	собственно делю- виальные	очень крупных транзитных рек	крупных рек	рек средних размеров	мелких рек и ручьев	
1. Отдельная кимберлитовая трубка	Богатая	Более 1	<u>Б</u>		<u>С</u> <u>С</u>	<u>С</u>			<u>Б</u>	<u>Б</u>
	Средней алмазности	0,2—1	<u>С</u> <u>Б</u>		<u>У</u> <u>У</u>	<u>У</u>			<u>С</u>	<u>С</u>
	Убогая	Менее 0,2							<u>У</u>	<u>У</u>
2. Группа кимберлитовых трубок	Богатые	Более 1	<u>Б</u>		<u>С</u> <u>С</u>	<u>С</u>		<u>У</u>	<u>Б</u>	<u>Б</u>
	Средней алмазности	0,2—1	<u>С</u> <u>Б</u>		<u>У</u> <u>С</u>	<u>С</u> <u>У</u>		<u>У</u>	<u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u>
	Бедные	Менее 0,2								<u>У</u> <u>С</u>
3. Отдельная кимберлитовая дайка и жила	Богатая	Более 1			<u>У</u> <u>С</u>				<u>Б</u>	
	Средней алмазности	0,2—1							<u>С</u>	
	Бедная	Менее 0,2								
4. Группа кимберлитовых даек и жил	Богатые	Более 1			<u>Б</u> <u>Б</u>	<u>С</u>		<u>У</u>	<u>У</u>	<u>Б</u>
	Средней алмазности	0,2—1			<u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u>				<u>С</u>
	Бедные	Менее 0,2							<u>У</u>	

в образовании россыпей алмазов

алмазных месторождений

пролювиальный		озерный		морской			подземно-водный		ледниковый		эоловый	
пролювий ким-берлитов	пролювий древних промекунтонных коллекторов	прибрежно-озерные	подводных потоков	прибрежно-морские	подводных потоков	морские	подземных пещер	подземных водных потоков	собственно ледниковый	ледниково-водно-ледниковый	эоловой аккумуляции	эоловой дефляции
<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u>	<u>С</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>С</u>		
<u>У</u>	<u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>						
<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>Б</u> <u>С</u>	<u>С</u>	<u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u>	<u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	
<u>У</u> <u>С</u>	<u>У</u> <u>С</u>	<u>С</u> <u>У</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u>	<u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>		
		<u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>						
<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>				
<u>У</u> <u>С</u>	<u>У</u> <u>С</u>						<u>У</u>	<u>У</u>				

Тип первоисточников	Среднее содержание алмазов, карат/м ³	Генетические типы									
		элювиальный		делювиальный		аллювиальный					
		на кимберлитах	на древних промежуточных коллекторах	гравитационные	собственно делювиальные	очень крупных транзитных рек	крупных рек	рек средних размеров	мелких рек и ручьев		
5. Промежуточный коллектор, площадного развития	Богатые	Более 1	Б	Б	Б	С	У	У	С	Б	Б
	Средней алмазности	0,2—1	С	С	С	С	У	У	У	БС	СБ
	Бедные	Менее 0,2	У	У	У	У	У	У	У	БСУ	УС
6. Промежуточный коллектор линейного развития	Богатый	Более 1	Б							Б	У
	Средней алмазности	0,2—1	С							БС	У
	Бедный	Менее 0,2	У							СУ	

Примечание. Месторождения крупные по масштабам: Б — богатые, С — средние, Месторождения мелкие по масштабам: Б — богатые, С — средние, У — убогие.

нее 0,2 карата/м³). Формы и площади трубок, а также содержание алмазов в них могут быть различными. Ко второму типу отнесены группы близко расположенных кимберлитовых трубок (в состав группы могут входить и отдельные кимберлитовые жилы и дайки), к третьему типу — отдельные кимберлитовые дайки, к четвертому типу — кимберлитовые дайки и жилы, образующие скопления в виде полей и зон, к пятому типу — промежуточные коллекторы площадного развития (формы и размеры этого типа первоисточника самые разнообразные, разная и их степень алмазо-

алмазных месторождений

пролювиальный		озерный		морской			подземно-водный		ледниковый		эоловый	
пролювий кимберлитов	пролювий промежуточных коллекторов	прибрежно-озерные	подводных потоков	прибрежно-морские	подводных потоков	морские	подземных пещер	подземных водных потоков	собственно ледниковый	волно-ледниковый	эоловой аккумуляции	эоловой дефляции
	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>			<u>У</u>	<u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>
	<u>У</u> <u>С</u> <u>Б</u> <u>С</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u> <u>Б</u> <u>С</u> <u>У</u>			<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>Б</u> <u>С</u>
		<u>С</u> <u>С</u> <u>У</u>	<u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u>	<u>С</u> <u>У</u> <u>С</u> <u>У</u>					<u>У</u>	<u>У</u>
		<u>У</u>	<u>У</u>	<u>С</u>	<u>У</u>	<u>У</u>						
				<u>У</u>	<u>У</u>	<u>У</u>						

У — убогие. Месторождения средние по масштабам: Б — богатые, С — средние, У — убогие.

ности), к шестому типу — промежуточный коллектор линейной формы, который представляет собой алмазосные пласты, выходящие на дневную поверхность в виде линий и полос различной мощности. Степень алмазосности отдельных частей алмазосных пластов различна.

При формировании *элювиальных россыпей* форма первоисточника, степень его алмазосности и вещественный состав играют основную роль. Если первоисточник — кимберлитовая трубка, то россыпь будет иметь овальную форму и повторять все неровности

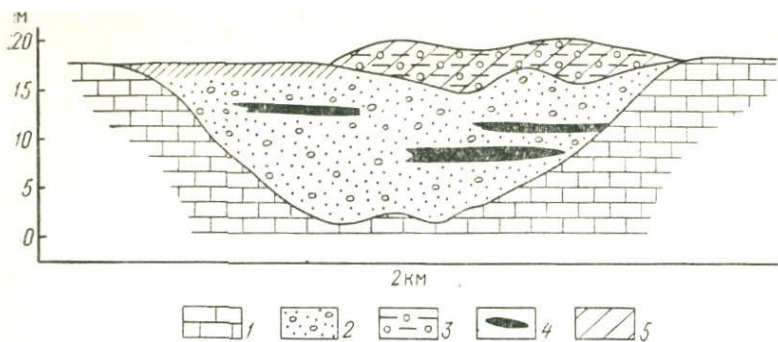


Рис. 32. Схематический разрез элювиальной россыпи на промежуточных коллекторах.

1 — карбонатный плотик; 2 — песчано-галечно-глинистые алмазоносные отложения пролювиально-озерного типа; 3 — галечно-глинистые отложения элювиальной россыпи; 4 — слой угля; 5 — участки, обогащенные алмазами по отношению к первично алмазоносным отложениям

контуров кимберлитовой трубки. Если же первоисточник — кимберлитовая жила и дайка, то форма элювиальной россыпи линейная. Форма элювиальной россыпи на промежуточных коллекторах площадного типа может быть разнообразной и зависит от формы промежуточных коллекторов, степени их алмазоносности и геоморфологического строения россыпи в момент ее выветривания. Последнее обстоятельство приводит к тому, что элювиальная россыпь в большинстве случаев не повторяет контуров первоисточников. Примерами могут служить россыпи Сибири, Южной Африки, Индии и Бразилии. Так, на одной из россыпей Сибири образовалась элювиальная россыпь четвертичного времени. Первоисточником ее служила россыпь рэт-лейасового возраста пролювиально-озерного типа, форма которой вытянутая с неправильными границами. Элювиальная россыпь образовалась на участках, где продуктивные слои выходят на дневную поверхность и подвергались выветриванию. Поэтому контуры россыпи не соответствуют контурам первоисточника (рис. 32). Содержания алмазов выше, чем в первоисточнике, на 20—40%. Повышенные концентрации совпадают с повышенными концентрациями алмазов в первоисточниках. В Южной Африке и на Южно-Американском континенте известно много элювиальных россыпей, образовавшихся за счет размыва докембрийских алмазоносных конгломератов. Однако эти россыпи мало описаны в литературе, и влияние типа первоисточников на их строение удастся восстановить лишь приблизительно. Наибольшее количество материала собрано по элювиальным россыпям Берега Слоновой Кости. Здесь известно более десятка элювиальных россыпей, образовавшихся в результате выветривания протерозойских конгломератов системы Тортья. Среднее содержание алмазов в этих конгломератах около 0,1 карата/м³. В россыпях происходит двух-трехкратное обогащение за счет выноса глинистых и минеральных частиц. Форма россыпи разнообразная, что в первую

очередь связано с рельефом местности и сохранностью россыпей. На плоских поверхностях форма их плащевидная. В некоторых случаях они образуют ряд разобщенных участков разнообразной формы, отчлененных друг от друга оврагами и небольшими ручьями. На пологих склонах чаще всего их форма вытянутая. Мощность россыпей 0,5—25 м, изменяется на сравнительно коротких расстояниях (первых метров и первых десятков метров). Это связано с составом россыпи на отдельных участках и способностью пород к избирательному выветриванию. Примером может служить элювиальная россыпь Гран-Могол в Бразилии. Здесь на 3-километровом участке мощности продуктивного слоя изменяются от 5 до 15 м на расстоянии 3—10 м.

Элювиальные россыпи могут образовываться и на промежуточных коллекторах линейного типа. Такие россыпи известны в Индии, Бразилии; там в результате выветривания крутопадающих пластов алмазоносных конгломератов мощностью 0,5—3 м образовались линейно-вытянутые на 0,2—0,5 км россыпи с высокими содержаниями алмазов. Так, в Бразилии на месторождении Гран-Могол описывается россыпь линейного типа, которая разрабатывалась на глубину 5—11 м, при среднем содержании высокосортных алмазов 0,5 карата/м³. Содержание алмазов в первоисточнике обычно не превышало 0,1—0,15 карата/м³.

При формировании *делювиальных россыпей* тип коренных источников играет существенную роль. Он влияет на форму и размеры россыпи, а также на ее алмазоносность.

Если первоисточником служит отдельная кимберлитовая трубка, россыпь имеет форму конуса, размер которого зависит от длины и уклона склона. Обычно длина россыпи не превышает 1—1,5 км, при ширине 0,5—1 км. Промышленные россыпи образуются только за счет богатых кимберлитовых трубок, а при благоприятных условиях (тропический влажный климат, небольшие уклоны склона) — за счет трубок средней алмазоносности. Содержание алмазов в россыпях всегда ниже, чем в первоисточнике, что объясняется поступлением обломков неалмазоносных подстилающих пород.

В случае если первоисточником является группа кимберлитовых трубок, расположенных на одном склоне, конусы россыпей могут сливаться и образовывать россыпь значительного размера. Алмазоносность такой россыпи различна и зависит от степени алмазоносности отдельных трубок, литологии пород, слагающих склон, и его микрорельефа. Примером такой сложной россыпи может служить россыпь одной из рек Сибири, для которой установлена по пиропу — спутнику алмаза — эта сложная закономерность.

Группа даек и жил может привести к образованию промышленных россыпей в районах с благоприятными климатическими условиями и микрорельефом, способствующим сохранению россыпей. Так, в Гвинее известна промышленная россыпь, образовавшаяся за счет зоны, состоящей из 16 кимберлитовых жил. Она характеризуется сложным строением, неравномерностью в распределении

алмазов и четкой связью с отдельными алмазоносными жилами (Ружицкий, Скульский, 1970).

Если источником служит промежуточный коллектор площадного развития (пятый тип), форма склоновой россыпи может быть различная; определяется она уклоном склона, его микрорельефом и формой первоисточника, а от степени алмазоносности зависят размеры и алмазоносность. В Африке такая россыпь известна в районе Бакванга, где она образовалась за счет размыва меловых алмазоносных водораздельных галечников (Трофимов, 1967).

Промежуточный коллектор линейного развития (тип шестой) обычно не способствует формированию промышленных склоновых россыпей. Анализ материала по 63 склоновым россыпям показал, что 61% известных россыпей сформировалось за счет отдельных алмазоносных трубок, 9% за счет трубок средней алмазоносности в условиях интенсивного выветривания в тропическом климате, 12% — за счет промежуточных коллекторов площадного развития.

При образовании *аллювиальных россыпей* роль типа первоисточника также имеет большое значение. Если первоисточник — отдельная трубка, то длина промышленной россыпи не превышает первые километры. Примером могут служить россыпи близ трубок Де-Бирс и других в Южной Африке. Отмечено, что только при размыве богатых трубок образуются промышленные россыпи. Даже трубки средней алмазоносности и их группы не образуют богатых россыпей. Очень четко проявляется тенденция к понижению содержания вниз по течению реки, хотя отдельные алмазы могут переноситься и за сотни километров от кимберлитовой трубки.

Если первоисточник — группа кимберлитовых трубок, то характер аллювиальной россыпи зависит от местоположения и расстояния кимберлитовых трубок друг от друга (рис. 33).

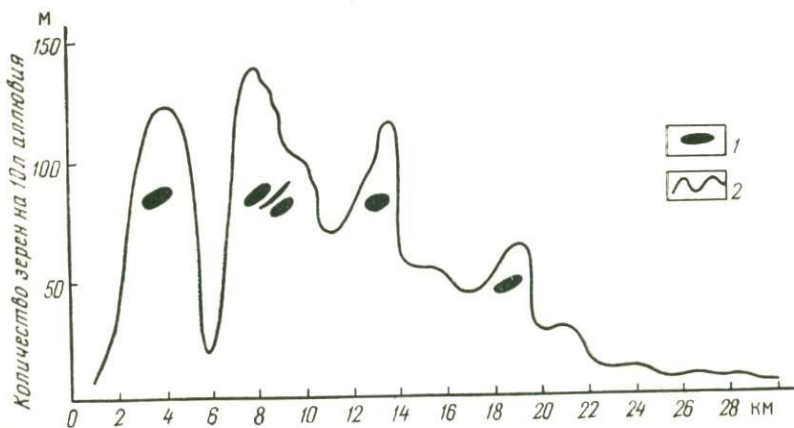


Рис. 33. Характер изменения содержаний минералов-спутников алмаза в руслах рек в районах размыва многочисленных кимберлитовых тел.

1 — местоположение кимберлитовых тел; 2 — изменение содержания пироба в русле реки

Размывом реками отдельных даек (третий тип) и групп даек (четвертый тип) богатые и протяженные аллювиальные россыпи не образуются.

Примером влияния пятого типа первоисточника промежуточного коллектора на формирование аллювиальной россыпи могут служить россыпи бассейна р. Конго (Stutzer, 1935). Установлено, что алмазы в аллювий рек поставляются мелкими притоками, причем содержание алмазов в этих притоках больше там, где площадь вторичных коллекторов большая. Содержания алмазов в первоисточниках здесь низкие, и только благодаря большой площади размыва и другим благоприятным факторам аллювий обогащен более чем в 20 раз. Образование богатых аллювиальных россыпей бассейна р. Конго также связано с размывом меловых промежуточных коллекторов площадного развития. Таким образом, пятый тип первоисточника наиболее благоприятен для образования аллювиальных россыпей. Даже степень его алмазоносности не является решающим фактором.

Влияние шестого типа первоисточника (промежуточные коллекторы линейного развития) прослежено на притоках одной из сибирских рек, размывающих нижневолжские конгломераты (Леонов, Прокопчук, 1965). Мощность последних 0,2—1,2 м, на дневную поверхность выходят они в виде узкой полосы. При пересечении конгломератов реками аллювий заметно обогащается пиропом. В зоне шириной 3—8 км содержание пиропов в 5—10 раз больше, чем в первоисточниках. Итак, можно сделать вывод, что при образовании аллювиальных россыпей алмазов основное значение имеет объем поступающего в аллювий алмазоносного материала. Россыпи небольших масштабов образуются за счет размыва богатых кимберлитовых трубок и богатых промежуточных коллекторов линейного развития. Промышленные аллювиальные россыпи средних размеров формируются при размыве комбинации кимберлитовых тел и промежуточных коллекторов. Крупные и протяженные россыпи образуются только в результате размыва промежуточных коллекторов площадного развития или за счет комбинаций промежуточных коллекторов с другими типами первоисточников. При размыве бедных алмазами кимберлитовых трубок никогда не образуются богатые аллювиальные россыпи.

Морские и озерные россыпи формируются за счет источников, расположенных на побережье и на континенте. Ими могут быть группы кимберлитовых тел или древние промежуточные коллекторы, которые разрушаются волноприбойными процессами (например, россыпи Намакваленда в Южной Африке; Трофимов, 1967). Из глубины континента алмазы могут переноситься реками, россыпь образуется, если источники на континенте крупные, т. е. при размывании группы кимберлитовых трубок или промежуточных коллекторов площадного развития. Первоисточниками россыпей *золотого* генезиса являются древние плохо сцементированные вторичные коллекторы больших площадей развития — древние аллювиальные отложения, морские террасы (пятый тип).

Первосточниками *ледниковых* россыпей могут быть как кимберлитовые трубки, дайки и жилы, так и промежуточные коллекторы разных генетических групп. Промышленные россыпи этого типа обнаружены в Бразилии. Возраст их докембрийский и пермский. По-видимому, только высокоалмазоносные кимберлиты и высокоалмазоносные промежуточные коллекторы приводят к образованию обогащенных россыпей ледникового типа.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Роль климатического фактора при формировании россыпей разных генетических типов очень важна. Наиболее резкие отличия в условиях формирования россыпей связаны с аридностью и гумидностью климата, поэтому автор выделяет две климатические группы россыпей (табл. 19) аридные и гумидные, которые подразделяются на подгруппы — арктическую, умеренного климата, субтропическую и тропическую.

В гумидном климате алмазные россыпи образуются в условиях, когда сумма атмосферных осадков превышает возможную величину испарения. В аридном — наоборот. Отсюда вытекают две главные отличительные черты алмазоносных россыпей.

Аридный климат мало благоприятен для формирования *элювиальных* россыпей. Физическое выветривание преобладает над химическим, и поэтому образуется в основном щебнистый и дресвяный элювий. Только часть алмазов освобождается от заключающих их пород. Кроме того, из-за дефицита влаги глинистые и песчаные частицы не выносятся, а следовательно, россыпи не обогащаются алмазами. Примерами месторождений, которые образовывались в таких условиях, могут служить элювиальные россыпи кимберлитовых трубок Сибири (Рожков и др., 1963, Прокопчук и др., 1963).

В гумидном климате условия для образования элювиальных россыпей более благоприятны. Химическое выветривание преобладает над физическим, в результате образуется довольно мощная кора выветривания, где алмазы находятся в свободном состоянии. Типичный представитель россыпей этого типа — трубки Южной Африки. Кимберлит в условиях гумидного климата дезинтегрирует до так называемой желтой земли, которая представляет собой конечную стадию окисления и гидратации. С глубиной желтая земля постепенно переходит в желтовато-зеленую, а затем в синевато-черную породу, известную под названием голубая земля. Мощность желтой земли в зависимости от длительности выветривания 10—17 м, иногда до 40 м (трубка Робертс-Виктор). По трещинам желтая земля проникает на большую глубину (до 70—80 м). Содержание алмазов в элювии кимберлитов по сравнению с плотным кимберлитом всегда выше (иногда 250%).

Арктический климат характеризуется резкими колебаниями суточных и годовых температур и наличием многолетней мерзлоты. Мощность деятельного слоя 0,5—2 м. В этом слое в результате

Роль климата в формировании россыпей различных генетических типов

Климат		Генетические группы и типы алмазных россыпей																			
		Кора выветривания (элювизальные)		Делювиальные		Пролувиальные		Аллювиальные				Озерные		Морские		Подземно-волновые		Ледниковые		Эоловые	
		на кимберлитах	на промежуточных коллекторах	гравитационные	собственно делювиальные	пролювий кимберлитов	пролювий промежуточного коллектора	очень крупных транзитных рек	крупных рек	рек средних размеров	мелких рек	прибрежно-озерные	подводных потоков	прибрежно-морские	дельтовые	прибрежного шельфа	пещер	потоков	собственно ледниковые	полно-ледниковые	эоловой аккумуляции
Аридный	Арктический	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Умеренный	-	-	-	-	-	≡	≡	+	+	≡	≡	≡	≡	≡	-	-	-	+	+	+
	Субтропический	≡	≡	+	-	-	≡	≡	+	+	≡	≡	≡	≡	≡	-	-	-	-	+	+
	Тропический	≡	≡	+	-	-	≡	≡	+	+	≡	≡	≡	≡	≡	-	-	-	-	+	+
Гумидный	Арктический	-	-	+	+	+	+	≡	≡	-	+	≡	≡	≡	≡	-	-	+	+	-	-
	Умеренный	≡	≡	-	+	+	≡	≡	-	+	≡	≡	≡	≡	≡	+	+	-	+	-	-
	Субтропический	+	≡	-	×	+	+	≡	≡	-	+	≡	≡	≡	≡	+	+	-	-	-	-
	Тропический	×	+	-	×	×	×	≡	≡	-	+	≡	≡	≡	≡	+	+	-	-	-	-

× Наиболее благоприятные условия формирования россыпей
 ≡ Климат на формировании россыпей сказывается слабо

+ Благоприятные условия - Неблагоприятные условия
 ≡ Климат на формировании россыпей не сказывается

выветривания кимберлитов алмазы высвобождаются. Морозные процессы приводят к некоторой сортировке материала. Содержание алмазов в элювиальных россыпях арктического климата иногда ниже, чем в коренных кимберлитах, что объясняется значительной (до 40%) льдистостью россыпей.

В условиях умеренного и тропического сухого (аридного) климата формирование россыпей происходит значительно медленнее, чем во влажном. Здесь физическое выветривание преобладает над химическим. Для россыпей характерны щебнисто-дресвяный состав и слабая сортировка материала. Мощность россыпей 0,5—5 м.

Для формирования делювиальных россыпей наиболее благоприятен гумидный климат. В теплом и умеренном климатах основной процесс перемещения материала — делювиальный смыв. Основная масса алмазоносного материала перемещается при оползнях и гравитационных процессах, поэтому сортировки и обогащения материала не происходит. Алмазные россыпи всегда беднее первоисточников. В арктических областях солифлюкционные процессы — основные процессы при образовании склоновых россыпей. Масштабы россыпей здесь небольшие, так как солифлюкционные процессы продолжают ежегодно на протяжении короткого летнего времени (2—2,5 месяца).

Пролувиальные россыпи могут формироваться в условиях аридного климата. Кратковременные водные потоки транспортируют алмазоносный материал и несколько его дифференцируют. В жарком климате временные потоки вызываются дождями, в арктическом — весенними снегостоянием и черной водой, образующейся в результате таяния многолетней мерзлоты. В условиях гумидного климата могут образовываться только мелкие россыпи типа ложковых.

Большую роль играет климат при формировании *аллювиальных* россыпей. От климата зависят режим рек и их многоводность, размер паводковых периодов и их продолжительность, продолжительность межени. Все это влияет на масштабы россыпной алмазности и среднее содержание алмазов в россыпях.

В условиях аридного климата основная особенность аллювия — его хорошая сортированность, так как очень мало материала поступает из притоков. Не происходит его засорения неалмазоносным материалом. Обогащается россыпь в том месте, где реки пересекают поднимающиеся тектонические блоки. Примером может служить россыпь среднего течения р. Оранжевой в Южной Африке. Здесь выше и ниже поднимающегося тектонического блока содержание алмазов 0,1—0,2 карата/м³, а в пределах блока оно повышается в 5 раз и более, несмотря на то, что на этом отрезке нет новых поступлений алмазов (Beetz, 1930).

В условиях гумидного климата важно, в какой климатической зоне расположена россыпь. В арктической зоне режим рек характеризуется кратковременными мощными и бурными весенними и осенними паводками и продолжительной летней и зимней меженью. Именно в период половодья происходят образование и обо-

гашение россыпи, а также дифференциация материала в ней. В межень практически материал в россыпи не перегруппировывается. Часть грубообломочного материала, а вместе с ним и алмазы, переносится льдами на далекое расстояние. Это особенно наблюдается на мелких реках, промерзающих до дна. Кроме того, в связи с развитием в этих районах многолетней мерзлоты только незначительное количество алмазоносного материала поступает в россыпи.

В умеренной и субтропической зонах гумидного климата условия для образования аллювиальных россыпей в общем неблагоприятные. Вместе с алмазоносным в аллювий поступает большое количество неалмазоносного материала. И лишь в исключительных условиях россыпи обогащаются алмазами. Чаще всего это происходит в пределах интенсивно поднимающихся блоков, на стыках плато с равнинами, в каньонах.

В тропической зоне, где благодаря интенсивному выветриванию в речные водотоки поступают большие массы неалмазоносного материала, все же существуют условия для концентрации алмазов. В водотоки попадает в основном глинистый материал, который легко выносится за пределы района, в результате чего происходит обогащение.

На *озерные* и *морские* россыпи алмазов климат не оказывает значительного влияния, если россыпи образуются за счет источников, находящихся на побережье. В арктических условиях, где побережье сковано льдом, россыпеобразование не происходит. От климата зависят направление и сила ветра, а также продолжительность ветровых движений в одном направлении. Большое влияние имеет климат на континенте, где размываются первоисточники. Так, при гумидном климате происходит выветривание первоисточников, аридный климат благоприятен для транзитных рек, несущих алмазоносный материал к побережью. Примером могут служить богатые прибрежно-морские россыпи устья р. Оранжевой в Африке, которые образовались благодаря выветриванию кимберлитов в тропическом гумидном климате и транспортировке алмазоносного материала реками в зоне аридного климата.

Для образования *подземноводных россыпей*, по-видимому, наиболее благоприятные условия созданы в гумидном климате.

Ледниковые россыпи могут формироваться лишь в арктическом гумидном климате, *эоловые* — в условиях аридного тропического климата.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Структурно-тектонический фактор играет большую роль при формировании и размещении россыпей алмазов. Он контролирует положение коренных источников, обуславливает мезозональность в размещении россыпей и косвенно влияет на степень обогащения их алмазами.

ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Тектонический контроль расположения коренных источников рассмотрен в многочисленных работах (Алмазные месторождения... , 1959; Ковальский, 1963; Сарсадских, 1972; Одинцов, 1965; Милашев, 1972; Зведер, 1967; и др.). Кратко он сводится к следующему.

Размещение районов кимберлитового вулканизма определяется условиями максимальной непроницаемости земной коры. Все известные в настоящее время кимберлиты формировались в условиях древних платформ Африкано-Аравийской, Сибирской, Индостанской, Северо- и Южно-Американских. Главный признак древних платформ — добайкальский возраст складчатого фундамента. Все коренные месторождения расположены в пределах древних кратонов. Это хорошо видно на примере Африканской алмазоносной провинции, где все продуктивные кимберлиты приурочены именно к этим зонам. Проявление кимберлитового вулканизма наблюдается и в зонах кибаранского орогенеза. Однако кимберлитовые тела в этих районах не содержат алмазов (Е. В. Францесон, 1976 г.). Подобная закономерность отмечена и в Сибирской провинции. Здесь коренные месторождения алмазов и тяготеющие к ним россыпи приурочены также к области древнего архейско-протерозойского основания — эпикратонной платформе, а кимберлиты, расположенные в зонах сочленения архейско-протерозойского и байкальского основания, практически лишены алмазов (Б. И. Прокопчук, Е. В. Францесон, 1968 г.). Алмазоносные кимберлитовые породы за пределами древних кратонов проявляются лишь в том случае, если крупные сегменты древних кратонов сохранились в более молодой складчатости. В областях с байкальским или кибаранским основанием можно предположить, что возраст коренных источников россыпи докембрийский, а питали их алмазоносные трубки эпикратонных областей. В пределах молодых платформ и геосинклинальных областей возможны только проявления докембрийских кимберлитов.

Структура и рельеф поверхности кристаллического фундамента древних платформ несомненно играют важную роль в размещении кимберлитового вулканизма, однако закономерности этого явления изучены еще недостаточно. В настоящее время можно только сказать, что проявление кимберлитов локализуется в пределах сводовых поднятий. Примером могут служить кимберлиты Сибирской платформы. Отдельные кимберлитовые поля относительно поверхности кристаллического фундамента приурочены к крупным поднятиям последнего. При этом кимберлитовые поля часто расположены в зонах сочленения более мелких структур фундамента, осложняющих приподнятые участки (рис. 34). Однако вопрос о положении кимберлитов в структурах кристаллического фундамента остается нерешенным. Л. А. Зимин считает, что размещение кимберлитовых полей не зависит от структур и состава пород кристал-

лического фундамента. Однако он отмечает довольно устойчивую пространственную связь кимберлитов со структурами фундамента, сформировавшимися в платформенный период в результате дифференцированных перемещений жестких блоков фундамента. При этом большая часть кимберлитовых тел приурочена к грабням простого и сложного строения. С этими структурами, по его мнению, кимберлитовые тела сопоставимы и по размерам.

Принято считать, что кимберлитовый магматизм связан с глыбовыми перемещениями блоков фундамента древних платформ. В этом случае кимберлитовые поля приурочены к крупным поднятиям и зонам сочленения блоков. Выявлена тенденция: кимберлиты располагаются в пределах участков кристаллического фундамента, характеризующегося достаточно высокой степенью жесткости и дислоцированности пород (осевые линии антиклинориев и синклинориев). Локализация отдельных кимберлитовых тел контролируется ослабленными зонами в пределах рассматриваемых участков (разломы, зоны повышенной трещиноватости и др.).

Роль структур и мощности платформенного чехла в размещении кимберлитовых полей и отдельных кимберлитовых тел определена еще недостаточно четко. Некоторые исследователи связывают проявления кимберлитов со структурами опускания. По мнению А. П. Булова, алмазоносные трубки приурочены к крупным синеклизам, а неалмазоносные — к областям антеклиз. М. В. Сусов и Ю. М. Сибирцев считают, что степень алмазоносности кимберлитов зависит от глубины залегания кристаллического фундамента. По их мнению, в месте, где цоколь платформ залегает относительно глубоко, алмазоносность кимберлитов повышена, где он приподнят — кимберлиты неалмазоносны или убогоалмазоносны. Существуют также точки зрения, что алмазоносные кимберлиты приурочены к положительным структурам осадочного чехла. Так, М. М. Одинцов (1958) указывает на пространственную связь коренных месторождений алмазов с периферическими частями антеклиз. По Э. Н. Эрлиху (1963), наиболее благоприятны для формирования алмазоносных кимберлитов крупные стабильные положительные структуры древних платформ — антеклизы. По

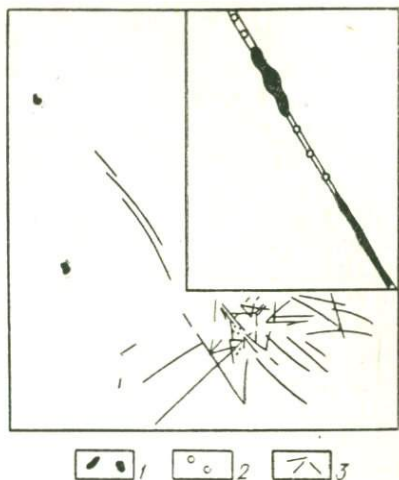


Рис. 34. Пример структурного контроля кимберлитовых тел. По В. А. Милашеву и др. (1971).

1 — кимберлитовые породы; 2 — пикрит-порфировые породы; 3 — разрывные нарушения в отложениях нижнего и среднего кембрия

М. А. Крутоярскому и др. (1961 г.), все алмазоносные кимберлиты приурочены к стыку тектонических структур первого порядка, а в зонах сочленения платформенных структур второго порядка расположены кимберлитовые поля, бедные алмазами.

Следует отметить, что представления об условиях проявления кимберлитов в земной коре достаточно противоречивы. Однако общепризнано, что благоприятные условия для образования кимберлитов создавались в периоды наиболее интенсивной перестройки тектонического плана платформ — в завершающие этапы постседиментационных стадий тектоно-магматических циклов. Данные по кимберлитам Сибирской платформы свидетельствуют, что районы распространения алмазоносных кимберлитов совпадают с областями синеклиз, в то время как последние образуются в районах, относительно приподнятых структур в конседиментационную стадию тектоно-магматического цикла, синхронного данному этапу кимберлитообразования. Структуры, длительно воздымающиеся в течение геологической истории, по-видимому, неблагоприятны для образования алмазоносных кимберлитов. Наиболее благоприятны для проявления кимберлитов участки надразломных валов, брахискладок, флексуорообразных перегибов, желобов и куполообразных структур. Более конкретные данные имеются по дизъюнктивной тектонике. Одна группа исследователей, изучавших закономерности пространственного размещения кимберлитов Сибири, считает, что расположение кимберлитовых районов, полей и отдельных тел контролируется зонами глубинных разломов (Дьяков и Щукин, 1961; Арсеньев, 1961; Эрлих, 1963; Ковальский, 1963; Зимин, 1967; Сарсадских, 1968; Одинцов, Владимиров, 1966; и др.). Одни из них отводят глубинным разломам роль подводящих каналов. Другие считают, что кимберлиты формируются в динамической обстановке: зарождение очага, его эволюции и механизм внедрения обусловлены историей формирования глубинного разлома. Глубинные разломы служат не только подводящими каналами, но и местом формирования кимберлитовых расплавов. Другая группа исследователей, признавая значения дизъюнктивных нарушений, важную роль отводят пликативным.

По А. Г. Дьякову (1964 г.), связь кимберлитового вулканизма с глубинными региональными разломами в фундаменте платформ имеет планетарный характер. Кимберлитоподводящие глубинные тектонические зоны разграничивают крупные платформенные структуры первого порядка: синеклизы и антеклизы. Характерные черты таких зон — протяженность, длительность развития и неоднократная активизация в эпохи интенсивных перестроек структурного плана. Широко распространена точка зрения, что наиболее благоприятны для внедрения кимберлитов участки пересечения глубинных разломов. К. Б. Мокшанцев и др. (Тектоническое строение..., 1964) выделяют две группы разломов: мантийные и коровые. Первые — главные магмоподводящие и магмогенерирующие структуры, определяющие пространственное размещение кимберлитовых тел.

В настоящее время установлены некоторые закономерности тектонического локального контроля размещения кимберлитовых тел в пределах районов и полей. Структурные планы кимберлитовых полей характеризуются значительным разнообразием, но в большинстве случаев преобладает линейное размещение кимберлитовых тел. В пределах полей и районов трубки расположены цепочками по два-три тела и более, что свидетельствует о существовании единой кимберлитовмещающей структурной зоны в чехле.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЙ ФАКТОР РАЗМЕЩЕНИЯ РОССЫПЕЙ

Этот фактор определяет латеральную зональность в размещении алмазных россыпей, о чем говорится в III разделе.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

На образование россыпей алмазов большое влияние оказывает рельеф района развития источника и рельеф местности, по которой происходит транспортировка материала и его аккумуляция. Автор проанализировал роль геоморфологического фактора при формировании россыпей различных генетических типов (табл. 20).

Для образования *элювиальных* россыпей необходимо, чтобы источник располагался на ровной или субгоризонтальной поверхности (когда уклон ее не превышает $1-5^\circ$). Это подтверждается анализом мощности элювия на кимберлитовых трубках Сибири, расположенных в одной и той же климатической зоне и не перекрываемых чехлом покровных четвертичных пород.

При формировании *делювиальных* россыпей кроме уклонов склона большую роль играет характер микро- и мезорельефа. Глубоко расчлененный рельеф с большими уклонами неблагоприятен для возникновения склоновых россыпей. Россыпи в этом случае образуются на изолированных участках, мощность их небольшая. При слаборасчлененном рельефе масштаб россыпи, ее форма и среднее содержание алмазов зависят главным образом от уклона склонов.

Оптимальные условия россыпеобразования созданы на склонах с уклоном $5-10^\circ$. Здесь четко выделяются три зоны россыпей: верхняя в 0,2—0,5 км, средняя 0,5—1 км и нижняя 1—2 км от первоисточника (рис. 35).

В верхней зоне, с наименьшим уклоном, материал сползает без какой-либо дифференциации и алмазоносный материал разбавляется неалмазоносным. В средней зоне склона, обычно наиболее выпуклой, процессы эрозии и выноса глинистых частиц протекают более оживленно, в результате отмечается некоторое относительное обогащение алмазами. В нижней зоне склона материал (в том числе мелкозернистый неалмазоносный, привнесенный из верхних частей) аккумулируется, в результате происходит разубоживание. Таким образом, средняя зона склоновой россыпи наиболее продуктивная и характеризуется повышенной концентрацией алмазов. Такая зональность прослеживается в том случае, если форма склона выпуклая. При вогнутой форме склона существуют только две зо-

Озер	Дельтовый	-	+	-	+	-	-	×	-	+	×	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+
	Прибрежно-морской	-	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	±	-	×	-	+	±	±
	Дельтовый	-	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	×	+	+	+	+
Морской	Открытого шельфа	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	-	+	×	+	×	×	-	+	-	-
	Подземно-водный																				
Подземно-водный	Водных потоков	=	=	=	=	=	+	+	=	+	+	-	-	-	+	-					
	Стоячих водоемов	=	=	=	=	=	+	+	=	+	+	-	-	-	+						
Ледниковый	Собственно-ледниковые	-	-	-	-	+	+	-	×	+	-	-	-	+	+						
	Водно-ледниковые	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+						
Эоловый	Эоловой дефляции	+	±	+	±	±	-	-	±	-	-	+	+	±	-	-	-	-	+	×	+
	Эоловой аккумуляции	+	±	+	±	±	-	-	±	-	-	+	+	±	-	-	-	-	+	×	+

× Условия оптимальные; + условия благоприятные; - условия неблагоприятные;
 = не оказывают влияния на формирование россыпей.

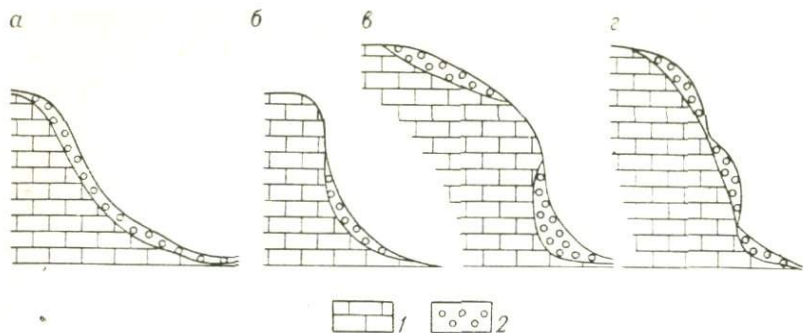


Рис. 35. Размещение делювиальных алмазных россыпей на склонах с различным уклоном.

а — вогнутый пологий; *б* — вогнутый крутой; *в* — выпуклый пологий; *г* — выпуклый крутой
 1 — коренные отложения; 2 — делювиальные россыпи

ны: первая (верхняя), примыкающая к первоисточнику, и вторая (нижняя), расположенная у подножия склона. Границы между ними нечеткие и проходят в средней части склона. Наиболее обогащена алмазами верхняя зона, из которой в тех или иных количествах выносятся мелкозем. Промышленные россыпи делювиального типа известны только на склонах с небольшим уклоном. На склонах с уклоном более 10° нет условий для формирования и сохранения россыпей.

На формирование делювиальных россыпей, кроме перечисленных закономерностей, связанных с уклоном склонов, большое влияние оказывают формы микрорельефа. Гравитационные формы рельефа склонов (обвальные, осыпные, лавинные) способствуют образованию россыпей. Неблагоприятны склоны, на которых происходят блоковые движения горных масс (оползание, оплывание, отседание). Более благоприятны солифлюкционные формы рельефа. Только при собственно делювиальных или делювиальных в совокупности с солифлюкционными формами рельефа могут образоваться промышленные месторождения.

В формировании *аллювиальных* россыпей геоморфологический фактор сказывается на всех этапах, начиная с момента разрушения первоисточника, транспортировки алмазоносного материала и его аккумуляции.

Наиболее благоприятны для формирования аллювиальных россыпей реки среднего размера. В пределах таких рек привнос транзитного алмазоносного материала небольшой, а вынос легкой фракции достаточен для значительного обогащения. Местные первоисточники алмазов оказывают значительное влияние на обогащение аллювия. Реки очень крупных размеров всегда неблагоприятны для образования россыпей. Транзитный привнос материала в них больше местного, поэтому источники алмаза не влияют на россыпь. В пределах долин крупных и мелких рек россыпеобразование зависит от структурно-геологического положения и типов первоисточников.

Пролувиальные россыпи могут образовываться только в условиях расчлененных междуречий. Наиболее благоприятны склоны с уклоном 5—10°. На склонах с меньшим или большим уклоном россыпи формируются в исключительных случаях (подходящая литология плотика, благоприятный климат). Наиболее благоприятны для образований пролувиальных россыпей долины небольших ложков и мелких рек. Они возникают и на побережьях озер, морей и океанов абразионного и аккумулятивного генезиса. Однако при этом необходимо стабильное положение береговой линии.

На формирование озерных россыпей оказывает влияние положение озерных котловин, рельеф участков размыва и характер озерных побережий. Если озеро расположено на плоской нерасчлененной поверхности, алмазонасный материал не накапливается. Некоторое обогащение пляжа может осуществляться за счет волноприбойных процессов, если отложения береговых отмелей алмазонасны. Обогащенных россыпей этого типа до сих пор не установлено. Если озерная котловина расположена на расчлененном пространстве, максимальный привнос алмазонасного материала происходит на склонах с уклоном более 5°. На таких склонах в зависимости от климата интенсивно протекают эрозионно-денудационные процессы, и кроме мелкозема сносится зернистый материал, в том числе и алмазы.

Благоприятные условия при образовании озерных россыпей создаются при привносе алмазонасного материала мелкими реками и реками средних размеров при стабильных абразивных берегах и стабильных и опускающихся (для дельтовых россыпей) берегах аккумулятивного типа.

Влияние геоморфологического фактора на формирование прибрежно-морских россыпей сказывается при транспортировке алмазонасного материала к побережью и аккумуляции его на побережье и шельфе. Для аккумуляции алмазонасного материала наиболее благоприятны участки абразивного берега со стабильными тектоническими условиями. Это характерно для всех подтипов россыпей: прибрежно-морских, дельтовых и россыпей шельфа. Благоприятны также береговые линии аккумулятивного генезиса со стабильными тектоническими подвижками. Россыпи дельтового типа могут образовываться и в условиях опускающихся береговых линий, а россыпи открытого шельфа возникают только в условиях поднимающейся береговой линии, и чем интенсивнее подвижки, тем больше обогащены россыпи. Примером могут служить россыпи Южной Африки (Трофимов, 1967).

В формировании подземных россыпей основную роль играет фактор расчлененности рельефа, т. е. уклон склонов. Чем больше уклон, тем возможнее образование подземных пещер и подземных водных потоков.

Ледниковые россыпи возникают в условиях расчлененного рельефа при наличии выпуклых склонов с различными уклонами и средних и небольших долин.

Золотые россыпи образуются на ровных нерасчлененных или слабо расчлененных равнинах аккумулятивного генезиса и на пологих склонах.

Итак, нами рассмотрена лишь в общих чертах роль геоморфологического фактора, главным образом макроформ рельефа (водоразделов, склонов, речных долин, озерных и морских побережий), от которых зависят размеры и масштабы россыпей. Микроформы рельефа оказывают влияние на распределение алмазов в пределах россыпи, ее мощность, строение продуктивных пластов (Прокопчук, 1969).

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ ФАКТОР

Роль литологического фактора при формировании алмазных россыпей весьма существенна. Степень алмазоносности зависит как от литологии плотика, так и от литологии и гранулометрического состава самой россыпи.

РОЛЬ ЛИТОЛОГИИ ПЛОТИКА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РОССЫПЕЙ

Роль литологии подстилающих пород при формировании алмазных *элювиальных россыпей* в литературе не рассмотрена. Имеются лишь сведения, что на брекчиевидных кимберлитах элювий глинисто-щебнистый, на базальтоидных — существенно глинистый. Автор анализировал состав и мощности элювия в трубках, сложенных базальтоидным кимберлитом и брекчированным кимберлитом. Существенных различий в строении и литологии элювия не обнаружено.

Относительно формирования элювиальных россыпей на промежуточных коллекторах можно только сказать, что более крупнообломочный материал подвергается выветриванию быстрее, чем песчано-глинистый. Поэтому промежуточные коллекторы, сложенные более грубообломочным материалом, более перспективны для образования элювиальных россыпей, чем песчано-глинистые.

При формировании россыпей делювиального типа наиболее благоприятные условия существуют там, где плотиком служат карбонатные породы, которые при выветривании дают глинистый элювий. Алмазы из делювия проникают в нижележащий слой, задерживаются там, образуя обогащенные слои, и не разносятся далеко вниз по склонам. Кроме того, в делювиальный материал поступает небольшая масса местных пород со склонов, поэтому разубоживания россыпей не происходит. Прослежено распределение минерала-спутника алмаза пироба в склоновых отложениях на карбонатном и песчано-глинистом плотике. В склоновых отложениях близ одной из трубок Сибири, плотиком которых служат карбонатные породы, содержание пироба по пробам 25—130 знаков на 10 л породы, т. е. ниже в 10 раз, чем в элювии кимберлитовой трубки (Прокопчук, 1962). На подобном склоне, с таким же мик-

рорельефом, в одних и тех же климатических условиях, но сложенном песчано-глинистыми отложениями, при размыве верхнеюрских алмазоносных конгломератов разубоживание 10—25-кратное. В конгломератах среднее содержание пироба 700 зерен на 10 л породы, а в делювии 20—30 зерен на 10 л породы.

Для пролювиальных россыпей установлена та же закономерность. Карбонатный плотик и плотик, представленный плотными породами, более благоприятны для россыпеобразования, чем плотик из рыхлых песчано-глинистых пород.

При изучении *аллювиальных россыпей* на Сибирской платформе обнаружен плотиковый элювий (Прокопчук, 1966₂). Строение его не одинаковое на разных участках и зависит от состава коренных пород, мощности и состава перекрывающего аллювия, глубины и режима рек, длительности образования. На карбонатных породах рифея и кембрия строение приплотикового элювия следующее: на неразрушенных породах лежит слой трещиноватых известняков или доломитов мощностью 20—50 см; трещины частично тектонического происхождения, частично образовавшиеся в результате морозного выветривания; зона трещиноватых пород, постепенно сменяющаяся щебенчато-глинистой (10—20 см), а затем глинистой (10—30 см). В верхней части глинистой зоны наблюдается редкая щебенка известняков, залегающих ниже, и редкая галька из перекрывающих галечников. Нижняя и верхняя границы приплотикового элювия ровные. На одних участках русла наблюдаются все три зоны, на других — только две (без верхней глинистой). Средняя видимая мощность приплотикового элювия на карбонатных породах 0,3—0,6 м. Выделяется он и цветом: по сравнению с коренными известняками и доломитами, окрашенными в желтовато-серые и серые тона, приплотиковый элювий в нижней части бурый и серо-бурый, в верхней — белесых тонов.

Характерный разрез приплотикового элювия, развитого на песчанниках, следующий.

На песчанниках бата, под галечниками современного аллювия вскрыт прослой глинистого песка мощностью 0,3 м. По минеральному составу он сходен с подстилающими песчанниками. Отмечена лишь несколько большая степень его ожелезнения. На алевролитах бата под галечниками современного аллювия вскрыт приплотиковый элювий мощностью 0,3 м, сложенный (снизу) трещиноватыми алевролитами (10—20 см), перекрытыми вязкими глинами (5—40 см). На плотных долеритах (траппах) приплотиковый элювий нигде не обнаружен. На участках, где нет аллювия, приплотиковый элювий также не отмечен. Небольшая мощность элювия наблюдалась при мощности аллювия не более 1 м, причем мощность элювия больше на карбонатных породах палеозоя и меньше на песчано-глинистых образованиях мезозоя. Если элювий представлен галечниками, мощность приплотикового элювия больше, при песчаном аллювии она значительно меньше. При прочих равных условиях эта разница достигает соотношения 2 : 1. Примером может служить разрез приплотикового элювия на одной из

рек Сибирской платформы. Здесь имеется островная коса, высота которой в межень 0,8 м. Коса заливается в паводок ежегодно. Головная часть косы сложена галечником, хвостовая — песками. Мощность аллювия везде составляет 1 м, мощность приплотикового элювия, развитого на одних и тех же известняках, в головной части косы 0,6 м, в хвостовой 0,2 м.

Наибольшая мощность приплотикового элювия наблюдается на мелких реках, промерзающих до дна, и на участках крупных рек (перекатах, отмелях), замерзающих на длительное время. В трещинах плотика в процессе морозного выветривания образуется щебнистый элювий. Летом он разрушается водами (химическое выветривание), проникающими сквозь слой аллювия. Повторение этих процессов приводит к образованию в некоторых случаях глинистого элювия на карбонатных породах.

Однако такой процесс не может происходить в тех случаях, если толща аллювия мощная и летом оттаивает лишь ее верхняя часть, а нижняя и плотик скованы многолетней мерзлотой, или если аллювиальный слой и плотик не подвергаются сезонным промерзаниям и оттаиваниям (в местах плёсов и на крупных реках). Морозное выветривание здесь отсутствует и плотик не разрушается. Слой элювия маломощный, едва заметный, так как в его формировании принимают участие только химические агенты.

На приплотиковый элювий обратили внимание при поисках алмазов, содержание которых в россыпях в одних и тех же гидродинамических условиях на одинаковом расстоянии от источника сноса были различны. Если принять за единицу содержание алмазов в приплотиковой части аллювия, где элювия нет, то на участках с хорошо развитым приплотиковым глинистым элювием содержание алмазов в несколько раз выше (табл. 21).

Было отмечено, что в приплотиковом элювии алмазы встречались чаще, чем в аллювиальных образованиях. При поисковых работах обнаружено, что шлиховые пробы, отобранные с приплотикового элювия, содержат минералов тяжелой фракции (в том числе минералов-спутников алмаза) значительно больше, чем пробы из аллювия. Таким образом, можно говорить о приплотиковом элювии как об уловителе алмазов. Алмазы, проникающие сквозь толщу аллювия из-за большой плотности, задерживаются

Таблица 21

Результаты послойного опробования разреза аллювия и элювия

Интервалы опробования, см	Содержание алмазов, %	Вес алмазов, %
Аллювий		
0—30	2	0,5
30—60	16	9,5
60—90	20	17
Приплотиковый элювий	62	73

в глинистом элювии. Такие же закономерности отмечены на платформах и в других климатических зонах. Однако в тропическом и умеренном гумидном климате приплотиковый элювий отсутствует.

Повышенные концентрации алмазов на участках развития карбонатного плотика определяются тремя факторами: 1) на участках их распространения в аллювий поступает меньше материала, чем на участках, сложенных терригенными породами, и следовательно, степень разубоживания алмазоносного аллювия уменьшается; 2) на участках развития карбонатных пород в результате сужения долин рек скорость водных потоков выше, а поэтому выносятся гораздо большее количество частиц, имеющих меньшую гидравлическую крупность, чем алмаз; 3) карбонатные породы легко карстуются, а возникающие в плотике неровности служат ловушками для всех минералов тяжелой фракции, в том числе и алмазов.

Для *морских и озерных россыпей* наиболее благоприятный плотик — плотные породы (Трофимов, 1967). Если пляж сложен коренными слоистыми породами, то их простираие играет основную роль в аккумуляции. При простираии слоистости параллельно береговой линии или перпендикулярно к господствующему направлению ветров алмазы и другие тяжелые компоненты аккумулируются в трещинах этих пород. В трещинах галька под влиянием волн прибора высверливает котловинообразные понижения, которые становятся затем ловушками для алмазов. При простираии слоистости перпендикулярно к берегу и при падении слоев в сторону моря концентрация алмазов значительно ниже.

На аккумулятивном пляже, сложенном рыхлыми отложениями, условия для концентрации алмазов в россыпях менее благоприятны.

Для *формирования подземноводных россыпей* неперемное условие — карбонатный плотик, где образуются карстовые полости.

Роль плотика при формировании *ледниковых россыпей* не выяснена. По-видимому, рыхлые отложения более благоприятны для образования россыпи, чем плотные.

Для *эоловых россыпей* благоприятным плотиком являются рыхлые породы. В других случаях процессы эоловой дефляции незначительны. При эоловой аккумуляции плотик должен быть разнородным, так как в этом случае образуются щетки и углубления, задерживающие алмазы.

ВЛИЯНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ОТЛОЖЕНИЙ НА СТЕПЕНЬ АЛМАЗОНОСНОСТИ РОССЫПЕЙ

Было проанализировано более 300 объектов, чтобы установить влияние состава вмещающих отложений на степень алмазоносности россыпей. Если материал по алмазоносности был не предста-

вительный, анализировалось содержание минералов-спутников алмаза. В ряде случаев данные обрабатывались на ЭВМ.

Содержание алмазов в *элювиальных* россыпях прямо пропорционально содержанию глинистого материала. Это объясняется тем, что при дезинтеграции кимберлита до состояния глины глинистые частицы и растворимые соли выносятся, т. е. обогащение происходит за счет уменьшения объема породы. Эта закономерность свойственна всем климатическим зонам, кроме арктических, где породы разубоживаются льдом.

В *делювиальных* россыпях указанная зависимость не столь прямолинейна. Состав отложений склона зависит от состава коренных пород и от состава делювия. Однако и здесь отмечена следующая тенденция: содержание алмазов возрастает с увеличением глины и одновременным повышением содержаний крупнообломочного материала. Наименее обогащены при прочих равных условиях делювиальные россыпи, содержащие значительное количество песчаного материала. Для выяснения роли вещественного состава делювия анализировались склоновые россыпи сформированные в одинаковых условиях за счет размыва одних и тех же вторичных коллекторов. В результате установлено, что содержание алмазов зависит от содержания глинистой и щебнисто-валунной фракций. Причем алмазов больше в днищах небольших делей, где материал обрабатывается временными водными потоками. Крупнообломочный материал служит естественным трафаретом, удерживающим алмазы при переносе делювия вниз по склону.

В *пролювиальных россыпях* четкой зависимости между содержанием алмазов и составом не наблюдается. Содержание алмазов возрастает с увеличением количества грубообломочного материала.

В *аллювиальных россыпях* алмазы приурочены к гравийно-галечниково-валунному материалу. В песчаных и глинистых отложениях их очень мало. Это объясняется тем, что валунно-галечный материал образует естественный трафарет, концентрирующий алмазы. Визуальными наблюдениями в руслах многих рек установлено, что содержание алмазов выше там, где больше скапливается грубообломочного материала. Особенно благоприятны места, где грубообломочный материал связан вязкой глиной. Последняя удерживает алмазы от дальнейшего переноса. Для выявления числовой зависимости проведен корреляционный анализ содержаний алмазов и гранулометрического состава аллювия по 567 выборкам (см. табл. 10, 11, 12, 13). Выявлены очень четкие реальные связи увеличения алмазов с содержанием фракций аллювия от —16 +8 и 0,5 мм. Эту закономерность можно считать общей для всех аллювиальных россыпей платформ.

В *озерных и морских россыпях* алмазы концентрируются также в гравийно-галечниково-валунном материале. Грубозернистый состав прибрежно-морских и озерных отложений — неперемнное условие их алмазности. В результате анализа огромного материала по россыпям Сибири и Южной Африки установлено, что со-

держание алмазов прямо пропорционально содержанию грубообломочного материала.

Для *ледниковых россыпей* состав вмещающих пород не играет особенной роли. Для водно-ледниковых отложений закономерности распределения алмазов в зависимости от гранулометрического состава отложений, по-видимому, сходны с аллювиальными.

Алмазы в *эоловых россыпях* концентрируются в крупнозернистом материале (Трофимов, 1967). Обогащение происходит в результате выдувания частиц более мелких, чем алмазы. Валунно-галечный материал препятствует переносу алмазов ветром.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Алмазы в природе в основном переносят вода, ветер и лед. Действие ветра сказывается только при формировании эоловых россыпей аридных областей, льда — в ледниковых и аллювиальных в арктическом климате. Остановимся на действии воды. При формировании *элювиальных россыпей* алмазов вода играет роль агента выветривания и, в меньшей степени, агента переноса. В гумидных тропических условиях в результате выветривания и выноса мелкозернистого вещества элювиальные россыпи по сравнению с коренным месторождением обогащены алмазами в два раза и более. В северных арктических районах действие воды другое. Кроме физического и химического выветривания и выноса, которые происходят в зоне деятельного слоя многолетней мерзлоты, вода вызывает вертикальную дифференциацию алмазного материала. В процессе мерзлотного вслучивания грубообломочный материал нижних горизонтов переходит в верхние, что приводит к обогащению верхних горизонтов крупными алмазами. Поэтому в элювиальных россыпях районов с развитием многолетней мерзлоты в строении россыпи четко выделяются два горизонта — нижний глинистый и верхний грубообломочный. Мощность этих горизонтов небольшая (0,5—4 м), но разведывать их надо отдельно, так как содержание алмазов в них различно. О необходимости проведения отдельной разведки свидетельствует пример эксплуатации одной из россыпей Сибири. Здесь элювиальная россыпь разведывалась валовыми пробами на всю мощность, для которой были определены средние содержания алмазов. В верхних горизонтах алмазов обнаружено в 2—3 раза больше среднего содержания, а в нижних — ниже среднего.

При формировании *делювиальных* россыпей кроме процессов выветривания происходит более интенсивный вынос мелкозернистого материала, а также перенос самих алмазов. По способу и интенсивности переноса можно выделить два типа водных потоков: площадные и русловые. К первому типу потоков относится плоскостный смыв, который приводит к выносу глинистых частиц. Если при этом неалмазоносный материал не привносится, россыпь может обогатиться алмазами. Однако содержание алмазов в делювиальных россыпях почти всегда ниже, чем в коренном источнике.

Второй тип — потоки, образующие мелкие бороздовые ручейки, перемывающие алмазоносный материал, выносящие мелкозернистые фракции, а также в некоторых случаях привносящие алмазы из коренного источника. Все алмазы из коренного источника в делювиальную россыпь попадают именно таким путем.

При формировании *пролювиальных россыпей* водные потоки — основной агент россыпеобразования. В аридных областях алмазы передвигаются только в периоды ливневых дождей или снеготаяния (в арктических областях). При этом алмазоносный материал перемещается в виде потоков, подобных селевым. В связи с этим происходит сортировка материала и обогащение алмазами определенных горизонтов. Алмазоносность россыпи зависит от степени алмазоносности первоисточника. Дальность переноса не имеет определяющего значения, так как из боковых пород неалмазоносный материал не поступает. Примером промышленных россыпей этого типа могут служить россыпи «сухих рек» Южной Африки (Трофимов, 1967).

В гумидных областях строение пролювиальных россыпей подобно аллювиальным. Примером их может служить одна из ложковых россыпей Сибири (Рожков и др., 1963). Строение ее двучленное. Нижние горизонты богаче алмазами, чем верхние, так как здесь происходит некоторая дифференциация материала по плотности. Однако большая часть алмазов переносится не водными потоками, а грязевыми, поэтому в строении россыпей не отмечается струйчатости и четкой приуроченности алмазов к определенным горизонтам пролювия.

Гидродинамический фактор контролирует распределение алмазов как в продольном, так и в поперечном профилях дна долины *водных потоков*, определяет места повышенных и пониженных содержаний, а также степень концентрации их в вертикальном разрезе россыпи.

Реки алмазоносных областей относятся к равнинному, реже к полугорному типу. Реки равнинного типа характеризуются относительно небольшой врезанностью, наличием пойм и меандр, а реки с чертами переходного типа — большим врезом современного русла, отсутствием на большей части течения настоящих пойм, наличием многочисленных перекатов и сравнительной выравненностью русел в плане.

В зависимости от климатических условий режим рек различный. В гумидном климате режим рек относительно постоянный, т. е. с одинаковыми расходами, скоростями течений и т. д., и россыпи формируются здесь в более длительные сроки. В аридных областях режим рек резко отличен в различные периоды. Так, паводки здесь бывают только после длительных ливней, в остальное время россыпи не формируются. Некоторые особенности гидрологического режима свойственны рекам заполярных областей древних платформ. У них наблюдаются короткие паводки и продолжительные меженные периоды. Паводки вызваны таянием снега, дождливыми периодами и таянием многолетней мерзлоты. Раз-

ница между расходами воды в паводки и межень в сотни и более раз.

В зависимости от особенностей речных долин (их извилистости, неравномерной ширины русел, разных уклонов речного дна и постоянных изменений расходов и уровней воды) изменяется и режим речного потока. Структура потока сложная. Наряду с основным параллельно-струйчатым перемещением воды по долине русла возникают течения, расположенные перпендикулярно к основному направлению течения. Эти поперечно-циркулярные течения играют весьма важную роль в передвижении донных наносов. Кроме этих течений, в потоке возникают эллиптические вихри и турбулентные возмущения. Эти виды течений приводят к переносу или аккумуляции частиц, в том числе и алмазов. Алмазы могут переноситься во взвешенном состоянии и в результате перекачивания.

При обобщении материала по гидродинамическим режимам алмазоносных рек установлено, что промышленные месторождения известны в реках, где величина максимальных уровней паводков в плесах составляет 15 м (реки Вааль, Оранжевая и др.), а скорость течения никогда не бывает больше 2,7 м/с. Используя эти данные и известную формулу В. Н. Гончарова (1938 г.), для этих рек высчитаны размеры алмазов, которые могут переноситься во взвешенном состоянии. Для р. Оранжевой они равняются 0,8 мм, для р. Вааль — 0,75 мм. Примерно таковы же размеры пироба (главного парагенетического спутника алмаза), переносимого во взвешенном состоянии. Итак, даже в паводки во взвешенном состоянии переносятся только очень мелкие алмазы. В период межени при несравненно более незначительных расходах воды во взвешенном состоянии алмазы не переносятся.

Крупные алмазы и обломки пород движутся скачкообразно. При гидрологических исследованиях рек Сибири (Н. А. Носков, В. С. Кулемина, 1956 г.) установлено, что на глубине 10 м в паводок при скорости течения более 2 м/с слагающие дно частицы аллювия размером до 70 мм в плесах и 40 мм на перекатах находятся в состоянии неравновесия, отрываются от дна только частицы аллювия размером 26 мм на плесах и 15 мм на перекатах. Используя формулу В. Н. Гончарова (1962 г.) и гидрографы алмазоносных рек, можно рассчитать предел размеров обломков, которые могут переноситься водным потоком.

А. Г. Дьяков определил величину непередвигающей и срывающей скоростей для зерен алмаза размером 10 мм при глубине потока 10—12 м. Скорость водного потока должна составлять 2,5 м/с. Русловыми потоками транспортируются и более крупные частицы. Их перемещение возможно вследствие того, что они поднимаются под действием импульсных сил (В. Н. Гончаров, 1954 г.). Таким образом, для каждого конкретного потока можно рассчитать предельные величины кристаллов алмазов, которые могут свободно переноситься. Однако в природе все происходит значительно сложнее. Это подтверждается результатами разведочных работ и спе-

циальными исследованиями. Изучая распределение алмазов по продольному профилю алмазоносных рек, удалось установить, что средние размеры их вниз по течению рек убывают (А. Г. Дьяков, 1955 г.; Кухаренко, 1955). В связи с тем что алмазы не подвергаются механическому износу и на поверхности кристалла нет следов истираний, трудно установить дальность их переноса. Это подтверждается и экспериментальными данными, приведенными Н. П. Клевовицким и Т. Г. Нестеровой (1954, 1955 гг.).

А. Г. Дьяковым проведен анализ изменения содержаний обломков алмазов и установлено, что чем дальше обломки находятся от первоисточника, тем больше их количество. Однако о дальности переноса алмазов по количеству обломков алмаза судить трудно, так как в самих кимберлитовых трубках содержание обломков различно, а кроме того, различны и условия переноса алмазов. Так, например, по данным З. В. Бартошинского (1961), количество обломков по разным трубкам колеблется от 41 до 64%.

Основные факторы, определяющие перенос алмазов, — расходы, уклоны и скорости водных потоков. Изменение их на определенных отрезках русла приводит к аккумуляции или к эрозии алмазоносного материала. В русле реки можно выделить два наиболее крупных элемента: плёсы и перекаты, характеризующиеся только им свойственными закономерностями эрозии и аккумуляции. При меженных уровнях в плёсах аккумулируются наносы, а с перекатов смывается ранее отложившийся аллювий. В период паводков, т. е. при высоких уровнях, плёсы представляют собой участки интенсивной эрозии. Выносимый из плёсов материал аккумулируется на перекатах, этим определяется распределение алмазов и аллювия по продольному профилю. Зернистость аллювия и алмазов зависит от расхода воды.

В настоящее время остается актуальным вопрос о механизме перемещения обломочного материала речными потоками. Он не решен полностью из-за сложности русловых процессов. Этому вопросу посвящено большое количество теоретических исследований и экспериментальных наблюдений. В области динамики русловых потоков и движения наносов общеизвестны работы Б. А. Аплонова (1963), М. А. Великанова (1948 г., 1949, 1955), В. Н. Гончарова (1938 г., 1962), К. В. Гришанина (1969), Г. В. Лопатина (1952), Г. И. Шамова (1959) и др. Механизм перемещения обломков пород и минералов в речных потоках рассматривается, в частности, при изучении закономерностей формирования россыпных месторождений и распределения в них полезных компонентов, а также при разработке методики поисков и разведки россыпей. Господствующая в последние 15—30 лет тенденция количественной оценки процессов россыпеобразования отражена в работах Н. Г. Бондаренко (1957, 1975), Е. З. Горбунова (1959, 1963, 1965 г.), А. И. Имшенецкого (1959 г., 1960), И. П. Карташова (1966), Л. В. Ли (1965), Н. В. Разумихина (1959, 1965), Е. Я. Синюгиной и С. С. Лапина (1967), А. В. Хрипкина (1963), Е. В. Шанцера (1965), Н. А. Шило (1970), Ю. В. Шумилова (1970) и др.

Теоретическая модель перемещения обломочной частицы водой разработана достаточно полно. Воздействие водного потока на находящиеся на дне частицы рассматривается в условиях плоского равномерного осредненного турбулентного движения жидкости по плоскому дну. Предполагается, что дно сложено обломками приблизительно одинаковых размеров, формы и массы (Великанов, 1949, 1955; Гришанин, 1969; и др.).

Такой поток в определенных условиях способен приводить в движение обломочный материал, слагающий его дно. Первыми сдвинутся частицы, выступающие над средней поверхностью дна, т. е. динамически не затененные соседними частицами (Гришанин, 1969). Каждая частица находится под давлением отдельной струи потока, поперечное сечение которой равно площади сечения частицы (Бондаренко, 1957). Гидродинамическое воздействие струи на обтекаемую частицу может быть представлено двумя силами: лобовой и подъемной (Великанов, 1948 г., 1949, 1955; Гришанин, 1969; Чеботарев, 1975). Обе силы действуют совместно. Лобовая сила должна перемещать частицу в горизонтальном направлении. Основной фактор, определяющий возможность отрыва частиц от дна, — подъемная сила, возникающая благодаря градиенту скоростей в придонной области; в результате струя потока несимметрично обтекает лежащую на дне частицу. В соответствии с уравнением Бернулли, в зоне малых скоростей течения давление повышается, а в зоне относительно высоких скоростей течения понижается. Таким образом, на нижнюю придонную поверхность частицы будет оказано большее давление, в результате частица приподнимается и переносится на некоторое расстояние. Описанное явление протекает под действием возникновения и проявления эффекта Магнуса.

Отношение подъемной силы к лобовой, определенное экспериментальным путем, составляет, по А. И. Чеботареву (1975), примерно 1 : 3. По М. А. Дементьеву (Гришанин, 1969), который проводил исследования в условиях воздушного потока, это отношение равно 1 : 1,4 для цилиндра, лежащего поперек потока, и около 1 : 3 — для шара. По М. А. Великанову (1948 г., 1949), подъемная сила всегда несколько больше лобовой для частицы, не сильно выделяющейся над средним уровнем дна. В частном случае, когда частица заклинена между соседними обломками, на нее может действовать только подъемная сила (М. А. Великанов, 1948 г.). Если же частица сильно выделяется из среднего уровня окружающих ее обломков, то на нее действует главным образом лобовая сила и в меньшей степени — подъемная. Таковы теоретические представления о механизме перемещения отдельных частиц водным потоком. При исследовании реального процесса формирования аллювиальной толщи предмет изучения — массовое движение огромного числа частиц.

Основная масса обломочного материала перемещается речным потоком во время паводка. По мере увеличения мощности паводка в движение приходят лежащие ниже слои. При очень сильных

паводках, происходящих раз в 10—50 лет, придонные скорости почти равны поверхностным (Воскресенский, 1974), и в движение вовлекаются базальные слои аллювия. Формируется так называемый активный слой (Билибин, 1955), который представляет собой грязевый поток селевого типа. О возможности образования таких потоков в речных долинах писали Н. Г. Бондаренко (1975), М. А. Великанов (1949), С. С. Воскресенский (1974), В. Н. Гончаров (1938 г.), Б. Н. Крофеев и М. И. Конычев (1958 г.), И. С. Рожков (1955), Г. И. Шамоу (1959), Е. В. Шанцер (1965, 1966) и др. Так, например, М. А. Великанов (1949, с. 275) отмечает, что «...в особых случаях больших скоростей и легко подвижных частиц возможно движение и целой толщи дна, при этом частицы оказываются в полувзвешенном состоянии, и все движение приобретает характер медленного течения грязевой массы над действительно неподвижным дном потока».

Специфическая особенность такого грязевого потока — степень турбулентности движущейся в нем воды — резко падает (Шанцер, 1965, 1966). Кроме того, существенно меняются некоторые физические свойства системы вода — твердые частицы. По В. Н. Гончарову (1962), наибольшая объемная концентрация однородных по размерам зерен при условии их индивидуального обтекания может достигать 15,6—27%. При движении смешанных наносов концентрация зерен у дна может быть более высокой. С увеличением концентрации частиц становится иной и гидромеханическая структура потока (поле скоростей и давлений). При этом чем меньше величина частиц, тем значительно изменяются физические свойства системы и основные закономерности перемещения обломочного материала. Например, увеличение концентрации глинистых частиц от 5 до 40% сопровождается увеличением вязкости до 200 раз (Гончаров, 1962).

В. Н. Гончаров (1962, с. 140) отмечает, что «при перемещении потоком зерен грунтов и наносов силовое поле потока у дна изменяется таким образом, что чем больше концентрация зерен у дна, тем меньше необходимые усилия для срыва со дна и перемещения зерен того же размера и даже большей крупности».

Сущность этого явления состоит в том, что при увеличении концентрации движущегося обломочного материала насыщенный обломками поток значительно отличается по внутренней структуре и физическим свойствам от водного, в котором происходит перемещение определенного, пусть даже очень большого количества частиц. Существенно, что вода и твердые частицы не могут уже рассматриваться в качестве самостоятельных компонентов, один из которых оказывает силовое воздействие на другой. Система представляет собой единое целое, поэтому возможность осаждения в ней отдельных минералов определяется соотношением их физических свойств (размерами, плотностью, формой) и свойствами среды. Следовательно, для решения теоретических и практических задач в данных условиях недостаточно использовать такие гидродинамические показатели, как, например, скорости те-

чения, лобовая и подъемная силы и др., или же их необходимо достаточно надежно для каждого (бесконечно разнообразных) конкретных случаев определять экспериментально. В связи с этим термин «водно-аллювиальная среда», предложенный Н. А. Шилов, полнее отражает сущность описываемого явления.

В условиях такой среды принципиально возможно перемещение относительно крупных легких обломков и сравнительно мелких зерен тяжелых минералов, в том числе и алмазов. Необходим принципиально иной подход к исследованию механизма перемещения обломочного материала, в частности, для изучения закономерностей формирования россыпных месторождений полезных ископаемых.

Рассмотрим движение механической системы вода — твердые частицы в реальном речном потоке в период его активной деятельности. Система представляет собой концентрированную смесь обломочного материала с водой. Такая движущаяся система будет находиться в равновесии, т. е. действующие на частицы активные силы равны по величине, но противоположны по знаку силам инерции. При изменении динамических условий перемещения материала (в результате выпадают отдельные обломки в осадок) равновесие системы нарушится, так как силы инерции превысят активные силы. Аккумуляция частиц возможна лишь в условиях такой неравновесной системы, когда ее силового воздействия недостаточно, чтобы перемещать обломки определенной массы, т. е. определенных размеров, плотности и формы. Показателем динамических условий накопления отложений может служить модуль аккумуляционной динамики (МАД), равный произведению среднего размера обломков на их плотность (В. М. Тюрин, 1970 г.).

Аллювиальные отложения формируются в течение длительного времени и неоднократно переотлагаются. Поэтому при изучении закономерностей распределения отдельных минералов в аллювии целесообразно реконструировать палеодинамические условия накопления толщи. Количественно оценить эти условия возможно при помощи динамометрического состава (ДС) отложений (В. М. Тюрин, 1971 г.). Изучение закономерностей распределения некоторых минералов в аллювии рек Урала и Сибири подтвердило высокое качество работы МАДа и ДС (В. М. Тюрин, 1970, 1971 гг.).

С этих позиций однозначно решается вопрос о перемещении некоторых тяжелых минералов и алмазов (Бондаренко, 1957, 1975; Горбунов, 1963; Ерофеев, Коньчев, 1958; Карташов, 1966; Ли, 1965; Рожков, 1955; Б. В. Рыжов, 1968 г.; А. В. Хрипков, 1958 г.; Шилов, 1970; и др.). В паводковые периоды в долинах рек, в частности полугорного типа, нередко создаются условия для формирования потоков, подобных селевым.

В результате корреляционного анализа гранулометрического и динамометрического составов аллювия некоторых рек западного склона Среднего Урала (В. И. Баталов, 1968 г.) установлено, что условия перемещения аллювиальных отложений подобными потоками таковы, что динамически активен здесь обломочный матери-

ал мельче 50 мм, который как бы фильтруется через пассивный грубообломочный каркас, состоящий из обломков размерами более 70 мм. Фракция класса — 70+50 мм промежуточная, т. е. обломки таких размеров в зависимости от конкретных условий относятся к активной или к пассивной фракции.

С помощью МАДа можно рассчитать крупность частиц любой плотности (в том числе и алмазов), способных перемещаться в самых разнообразных условиях движущейся среды.

Прибрежно-морские россыпи могут образоваться за счет привноса алмазов реками и в результате размывания прибором коренных или россыпных месторождений и проявлений. В прибрежных условиях материал, привносимый реками, образует дельтовые россыпи алмазов. В зависимости от взаимодействия речных потоков с морским течением образуются россыпи двух типов. В первом типе (верхняя часть дельтовой россыпи) преобладают аллювиальные фации, во втором типе (нижняя часть дельтовой россыпи) — морские. Наибольшее количество алмазов концентрируется в подводной части дельт, где алмазоносные отложения перебиваются подводными течениями. Строение россыпей второго типа более простое, алмазы в них распределяются более равномерно, что вызвано постоянным береговым течением и привносом алмазоносного материала реками.

Масштабы дельтовых россыпей и степень их алмазоносности зависит от масштабов речного потока, его режима и количества привносимых алмазов. Анализируя фактический материал по россыпям различных климатических зон и областей с неодинаковым геологическим строением, можно выделить следующие группы дельтовых россыпей.

1. Россыпи, образовавшиеся в гумидных областях крупными водотоками за счет размыва алмазоносных отложений вдали от береговых зон морей. Промышленных дельтовых россыпей при этом не образуется. Однако в дальнейшем при перемыве прибрежными течениями может сформироваться богатая морская россыпь. В зависимости от геологического строения алмазоносность этого типа дельтовой россыпи различна. Если река транспортирует алмазоносный материал через районы, сложенные песчано-глинистыми материалами, то часто россыпь разубоживается, и на морское побережье выносятся лишь незначительная часть транспортируемых алмазов. Это хорошо видно на примере одной из рек Сибири. В верхних и средних течениях река протекает в плотных известняках и транспортирует алмазы. В нижнем она протекает в полях развития юрских и меловых песчано-глинистых образований. Большой привнос неалмазоносного песчаного материала препятствует переносу алмазов в прибрежные зоны, и в дельту поступает только незначительное количество алмазов. Если река протекает в плотных породах, транзитный алмазоносный материал может доставляться в значительных количествах в дельты. Такие россыпи известны в меловых отложениях на площади Касан — Лунда в Конго и Анголе (Трофимов, 1967).

2. Дельтовые россыпи, образовавшиеся за счет транспортировки алмазонаосного материала в аридных областях. Примером их могут служить россыпи бассейна р. Оранжевой на юге Африки. Здесь алмазонаосный материал транспортируется из глубины континента сухими реками, и на этом отрезке аллювий не разубоживается неалмазонаосным материалом боковых притоков.

3. Россыпи, образованные мелкими многочисленными потоками, размывающими алмазонаосные отложения. Эти потоки могут сливаться у побережья, образуя обширную дельту. В зависимости от степени их алмазонаосности формируются различные по содержанию алмазов россыпи. Такие россыпи известны на побережье Южной Африки в районе Намакваленда (ЮАР), где в 1930 г. было добыто около 1 млн. каратов алмазов.

Морские россыпи образуются в результате размыва алмазонаосных отложений прибоем. В процессе накопления прибрежно-морских осадков обломочный материал переносится на десятки и даже сотни километров. В процессе этого алмазы сортируются по крупности. Примером могут служить алмазонаосные россыпи Намакваленда в ЮАР (Трофимов, 1967). Морские россыпи образуются только у крутых берегов. Намывные берега сохраняются от размыва длительное время, и обогащение алмазами идет очень медленно или совсем не происходит. Кроме прибоя береговую линию разрушают подводные течения, скорость которых нередко достигает нескольких метров в секунду. Большую роль при россыпеобразовании играют приливно-отливные течения, а также изменение уровня моря. Чем быстрее протекает этот процесс, тем скорее разрушается береговая линия, а следовательно, увеличивается объем поступающего в прибрежные зоны алмазонаосного материала. На процесс формирования россыпей влияют и тектонические движения. Постоянная береговая линия более благоприятна для концентрации алмазов, чем мигрирующая.

Схема образования прибрежно-морских россыпей примерно такова. Алмазы, освобожденные от породы, не отлагаются здесь же, а относятся прибоем и прибрежными течениями от берега в море. Передвигаются алмазы в направлении господствующих ветров. При косом относительно береговой линии расположении волн выбрасываемые волнами алмазы передвигаются по берегу вверх по направлению движения волн, т. е. в направлении господствующих ветров. Алмазы перемещаются до тех пор, пока на их пути не встретятся преграды и участки, благоприятные для аккумуляции — районы пологого берега. Накапливаются алмазы непосредственно в полосе прибоя. Особенно значительное количество алмазов концентрируется во время шторма. Сила прибоя во время приливов и отливов неодинакова, поэтому на разных участках берега алмазы распределены неравномерно. В общем ширина россыпи контролируется шириной зоны прибоя в период отлива и прилива. Если уровень моря повысится, то россыпь будет погребена под неалмазонаосным тонкозернистым материалом, а при повышении берега — превратится в террасовую.

Процесс обогащения происходит по следующей схеме. Волны прибоя перемещают различные обломки пород, но так как откатывающаяся волна не имеет той же силы, что и набегающая, то она уносит в море только ил, песок и мелкий гравий. Привнесенные сравнительно крупные обломки остаются на берегу и здесь накапливаются. Весь вновь поступающий материал ложится между крупными камнями. Постоянное движение приводит к сортировке обломков по плотности. При этом материал перетирается между большими глыбами. Мелкий песок с отливом уносится, поэтому в течение определенного времени обрабатывается и размалывается значительное количество материала, вследствие чего более тяжелые составные части его все более обогащаются.

Алмаз осаждается в зоне прибоя. Постоянное движение действует как обогатительная машина. Но вода, откатывающаяся после каждого прилива волны, уносит алмазы обратно; они застревают в углублениях плотика и позади больших глыб. При наивысшем уровне воды сила отхлынувшей волны наименьшая. Поэтому при наивысшем уровне воды уносится волнами наибольшее количество алмазов. Вследствие этого при наивысшем уровне прибоя выброшенные морем алмазы остаются. Концентрация алмаза в отложениях на уровне наибольшей высоты — характерный признак морских алмазных россыпей (Beetz, 1930). Между уровнем наибольшей воды и нормальным уровнем моря откатывающаяся волна отлагает то, что унесла обратно. Здесь накапливается только небольшое количество алмазов.

Если морской берег крутой, то в направлении к морю нет прибрежного щебня. Примером может служить местность, расположенная к югу от р. Оранжевой; именно здесь образовывались устричные прибрежные террасы. Однако если море у берега мелкое, то под водой находится песчаная мель, в песке алмазы распределены относительно равномерно (пример — местность, расположенная к северу от р. Оранжевой). Самые богатые морские алмазные россыпи — россыпи бухты Александра, расположенной к югу от устья р. Оранжевой. Эта россыпь — наиболее высокая и древнейшая из всех прибрежных террас этого района.

Вихревое движение морской воды может образовывать исполинские котлы. У устья р. Буффелс, у Малого Зее (ЮАР), находятся многочисленные котлы глубиной до нескольких метров. Эти исполинские котлы аналогичны котлам, расположенным на дне рек. Алмазы концентрируются в придонной части отложений котлов, а покрывающие их породы довольно бедны алмазами. Концентрация алмазов в котлах высокая (более 300 каратов/м³). Алмазы в котлах характеризуются значительной окатанностью. Они часто похожи на матовые алмазные шары (Beetz, 1930).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В природе действует совокупность факторов россыпеобразования. На примере ряда месторождений удалось выяснить их взаи-

модействие и установить, какие оптимальные варианты необходимы для образования промышленных месторождений.

При формировании элювиальных россыпей основную роль играют алмазоносность первоисточника, рельеф его местоположения, климат, при котором происходит выветривание, и продолжительность формирования россыпи. Наиболее способствует формированию элювиальных россыпей влажный тропический климат, наименее — суровый арктический (см. табл. 4, 5).

Примером может служить россыпь на трубке Премьер в Южной Африке, где видно, что климатический фактор имеет перво-степенное значение при образовании элювиальной россыпи.

При формировании делювиальных россыпей определяющими являются тип коренных источников и их алмазоносность, рельеф склонов, климат, продолжительность формирования россыпи. Установлено, что существует прямая зависимость содержаний алмазов от содержаний их в первоисточниках. Причем в делювиальных россыпях содержания алмазов всегда ниже, чем в первоисточниках. Эта общая закономерность может быть нарушена литологией плотика россыпи, гранулометрическим составом вмещающих пород и другими факторами, однако они не могут изменить общей тенденции. Оптимальные условия формирования делювиальных россыпей существуют в тропическом климате. Интенсивное выветривание в условиях этого климата производит большую работу по дезинтеграции первоисточников и высвобождению алмазов, ливневые потоки способствуют перемещению огромной массы алмазоносного материала и некоторому обогащению. Наиболее благоприятны уклоны рельефа $3-10^\circ$ в карстующихся районах.

Основные факторы при образовании пролювиальных россыпей — степень алмазоносности и масштабы первоисточника, уклоны склонов, климат. Остальные факторы играют второстепенную роль. Анализом установлено, что содержание алмазов в этих россыпях всегда ниже, чем в первоисточниках. Если сравнивать по масштабам две россыпи, образовавшиеся за счет первоисточников одного типа и содержащие одинаковое количество алмазов, то можно установить поправочный коэффициент на климат: 2 для тропического и 1 — для арктического. Таким образом, при прогнозировании содержаний алмазов в пролювиальных россыпях следует учитывать поправку на климат. Масштабы россыпей зависят от масштабов первоисточников и размеров ложа временного водотока, его гидродинамики, а также от литологии плотика. Наиболее благоприятен плотик, сложенный карбонатными карстующимися породами. Песчаный и глинистые плотики не способствуют концентрации алмазов в россыпях.

Первый необходимый фактор для образования богатых аллювиальных россыпей — тип первоисточника. Только в пятом типе первоисточника (см. раздел II), имеющего площадное развитие, может образоваться богатая россыпь крупных масштабов. Если источник — кимберлитовая трубка ограниченных размеров,

то протяженность аллювиальной россыпи небольшая и в ней резко выражена тенденция к уменьшению содержаний алмазов вниз по течению реки. Примером может служить месторождение в районе трубок Премьер (ЮАР) и Орапа (Ботсвана). Вторым фактором, влияющим на формирование россыпей, является характер и интенсивность размыва первоисточников. Это установлено при изучении одной из русловых россыпей Сибири. В современном виде долина этой реки сформировалась в верхнечетвертичное время, что подтверждается наличием только двух террас. В средне- и нижнечетвертичное время рисунок долины был другой, на что указывают остатки древних долин, расположенных в настоящее время на водоразделах с различными гипсометрическими отметками. Современная долина формировалась быстро и интенсивно и именно в это время ее очертания не менялись, о чем свидетельствует присутствие на локальных участках развития II и I террас, почти полное отсутствие поймы, а также наличие бичевников и крутых склонов. Только в верхнем течении реки долина несколько расширяется и выполаживается. Однако содержание алмазов там уменьшается. Интенсивное поднятие территории привело к размыву значительных площадей источников. Этим и объясняются очень узкие водораздельные поверхности, характерные для района. Широких, плоских, не затронутых эрозией междуречий почти не сохранилось. Интенсивный размыв происходил и в пределах самой долины, в результате были размывы ранее образовавшиеся отложения I и II надпойменных террас. Таким образом, большинство алмазов, находящихся в промежуточных коллекторах на водоразделах и в долине, попали в современное русло и не были рассеяны во всей массе разновозрастного аллювия.

Третий фактор, влияющий на формирование россыпи, — литология плотика. Доломиты размываются в русле, при размыве они образуют крупновалунный аллювий и неровный рельеф плотика. При привносе алмазов боковыми притоками алмазы и крупнозернистый материал тяжелой фракции проникают по пустотам между валунами в нижние слои аллювия и в дальнейшем не выносятся, так как их загораживают крупные валуны и плиты доломитов. Кроме того, задержка в перемещении алмазов обусловлена тем, что доломиты, подвергаясь химическому выветриванию, превращаются в вязкие глины и становятся хорошими липкими поверхностями. Роль плотика была проверена на одном из притоков этой реки, где в русловых отложениях на сложенных доломитами участках содержания алмазов выше, чем на участках, представленных известняками, образующими дресвяно-щебенчатый аллювий. Остальные факторы россыпеобразования сходны.

Четвертый фактор, приведший к образованию россыпи, — скорости и расходы водного потока, способного транспортировать и выносить за пределы россыпи легкий глинистый и песчаный материал. Оптимальные условия для обогащения аллювия алмазами существуют при скоростях течения 1—1,5 м/с, при расходах 10—

50 м³/с. Меньшие скорости приводят к разубоживанию материалов легкой фракцией, большие — к выносу алмазов.

Пятый фактор — мощность аллювия. Незначительная мощность аллювия в русле реки (0,2—0,5 м) способствует процессам обогащения. Вся мощность аллювия входит в подвижный слой при ежегодном паводковом режиме, при этом происходит постоянный вынос материала легкой фракции и обогащение всего разреза алмазами.

Таким образом, широкое площадное распространение промежуточных коллекторов алмаза, интенсивный и неменяющийся размыв и снос материала в узколокальный участок (в данном случае в русло), благоприятная литология плотика, достаточные скорости потока и, наконец, малая мощность аллювия — все это способствовало образованию богатой русловой россыпи. Установлено, что только совокупность перечисленных факторов приводит к образованию богатой россыпи. В качестве примера россыпи, при формировании которой отсутствуют некоторые факторы, можно привести расположенную рядом русловую россыпь другой реки. Содержание алмазов здесь сравнительно бедное, несмотря на то что в формировании россыпи принимали участие одни и те же промежуточные коллекторы. Здесь размыв промежуточных коллекторов происходил значительно медленнее, а поступающие из них алмазы распределялись в разновозрастных аллювиальных толщах, широко развитых в пределах долины реки и имеющих значительную мощность. Такое строение долины и аллювиальных толщ обусловлено разной интенсивностью тектонических поднятий. Бассейн второй реки поднимался значительно медленнее. Кроме того, плотиком россыпи служили тонко- и среднеплитчатые известняки, образующие при размыве щебенчато-дресвяной аллювий, менее благоприятный для концентрации алмазов. Перечисленные факторы россыпеобразования не являются частными, о чем свидетельствуют открытия обогащенных россыпей на других древних платформах Мира (Прокопчук, 1973_{1, 2}).

В Южной Африке находится крупная современная прибрежно-морская россыпь, из которой извлекается примерно 10% от общей добычи алмазов. Однако материалов, по которым можно было бы судить о факторах, приведших к ее формированию, в литературе нет. Автором изучена одна из прибрежно-морских россыпей юрского возраста Сибири (Прокопчук, 1962). Данных о содержании алмазов в этой россыпи недостаточно, поэтому для статистической обработки пришлось закономерности распределения и обогащения выводить по данным о пиропе, содержание которого в каждой пробе здесь большое.

Содержание зависит от гранулометрического состава вмещающих отложений, мощности продуктивных слоев, фациальной принадлежности осадков и, конечно, от типа первоисточника и его алмазности. Чтобы определить зависимости между содержанием алмазов и гранулометрическим составом вмещающих отложений, проведен анализ 96 выборок по пробам. С помощью метода

парной корреляции было определено, что содержание пироба прямо зависит от содержаний фракций класса —50+8 мм. Увеличение фракций менее 8 мм приводит к разубоживанию. О влиянии валунной фракции ничего сказать нельзя, так как в составе изучаемых отложений она занимает ничтожную долю (менее 5%). В россыпях Южной Африки установлено, что с увеличением валунного материала содержания алмазов в прибрежно-морских россыпях становятся выше.

Содержание алмазов в прибрежно-морских россыпях зависит и от продолжительности времени их формирования. Необходимо, чтобы длительное время береговая линия находилась в стабильном положении. Тип береговой линии также оказывает существенное влияние на формирование прибрежно-морской россыпи. Наиболее благоприятен берег средней крутизны с сильно выраженными прибрежными течениями, а выположенные пляжные берега менее благоприятны. Тип первоисточника и его алмазоносность — первостепенное условие для формирования прибрежно-морской россыпи. Только крупные по масштабам и богатые по содержанию алмазов первоисточники способствуют ее образованию. Первоисточники должны находиться на побережье или алмазы должны приноситься к побережью водными потоками. Наиболее оптимальные условия существуют при размыве волнами морских алмазоносных террас.

Плотик из плотных пород при формировании прибрежно-морских россыпей более благоприятен, чем плотик из рыхлых песчано-глинистых отложений. В первом алмазов в 1,5—2 раза больше, чем во втором.

Мощность продуктивного слоя также может служить критерием оценки среднего содержания алмазов в прибрежно-морских россыпях. Установлено, что содержание алмазов и их минералов-спутников обратно пропорционально мощностям продуктивных горизонтов. Наибольшие концентрации отмечены в слоях мощностью до 0,5 м. Если же слои имеют большую мощность, то содержание алмазов постепенно уменьшается вверх по разрезу или наблюдается сложная россыпь с перемежающимися обогащенными и обедненными горизонтами.

Для формирования прибрежно-озерных россыпей необходимы такие же условия, как и при формировании прибрежно-морских. Незначительные масштабы озерных водоемов, отсутствие береговых течений и волноприбойных воздействий ограничивает число россыпеобразующих факторов. Необходимое условие для формирования прибрежно-озерной россыпи — привнос алмазоносного материала реками. При этом должны размываться высокоалмазоносные первоисточники значительных масштабов, расположенные на побережье.

При формировании эоловых россыпей основные факторы — характер первоисточников, сила и направление ветра. Эти два фактора в зависимости от интенсивности проявления того или другого приводят к формированию алмазной россыпи. Следует отметить,

что содержание алмазов в эоловых россыпях всегда выше, чем в первоисточниках. При ветровой эрозии выносится материал легкой фракции. От климата зависит только интенсивность выветривания первоисточников. Наиболее благоприятный климат — жаркий аридный с высокой амплитудой положительных и отрицательных температур. Арктический аридный климат действует отрицательно, что связано с многолетней мерзлотой, при которой первоисточники находятся в вечном мерзлом состоянии, а верхний деятельный слой маломощен и переувлажнен.

Промышленных россыпей алмазов ледникового генезиса мало. Поэтому установить оптимальные условия их формирования невозможно. Предположительно можно сказать, что только высокоалмазные первоисточники крупных размеров могут привести к формированию россыпи.

ЗОНАЛЬНОСТЬ В РАЗМЕЩЕНИИ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

При анализе россыпной алмазности установлена вертикальная и латеральная зональности в размещении месторождений и проявлений. Эти зональности выявлены впервые при изучении россыпей Сибирской платформы. В дальнейшем они подтверждены материалами по другим платформам и, в первую очередь, Африкано-Аравийской.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Впервые о вертикальной зональности в размещении алмазных россыпей было упомянуто в работах Г. Х. Файнштейна (1963 г.), И. С. Рожкова и др. (1963), М. И. Плотниковой и др. (1960 г., 1965 г., 1967), В. В. Жукова и др. (1968, 1973 г.), З. В. Осиповой (1963), Н. И. Отнюкова (1973 г.), Г. М. Михалева и др. (1962 г.) и других исследователей, изучавших россыпные месторождения Сибирской платформы. В этих работах отмечено, что алмазы концентрируются в базальных конгломератовых толщах, в отложениях, образовавшихся после длительных периодов корообразования, в трансгрессивных и регрессивных морских фациях.

Автор поставил перед собой задачу установить более четкие закономерности вертикальной зональности на основании фациально-формационного изучения терригенных толщ платформенных областей, определить какие типы месторождений приурочиваются к определенным толщам, и какие условия необходимы для образования промышленных месторождений тех или иных генетических типов. Для этого был проведен формационный анализ некоторых терригенных алмазносных толщ Сибирской платформы. Работы проводились в различных масштабах. Значительная часть выводов и фактического материала опубликованы (Прокопчук, 1964, 1966, 1967, 1969, 1970, 1973, 1974 г.). В настоящей работе этот материал систематизирован и сведен в сводные разрезы и таблицы.

В результате анализа этого материала установлено, что алмазы в разрезе осадочного чехла северо-восточной части платформ распределяются в строгой закономерности. Они приурочены к определенным горизонтам, формациям и фациям. К тем или иным частям разреза относятся россыпи определенных генетических типов и средних содержаний. Четко выделяется макро- и мезозональность.

Наиболее крупными подразделениями в составе платформенного чехла следует считать группы терригенных алмазоносных формаций, образовавшихся в течение алмазоносных эпох и седиментационных циклов. Под этим мы понимаем естественно-исторические сообщества пород, объединенных парагенетическими связями, геолого-структурным положением и характеризующихся определенными признаками алмазоносности в той или иной части разреза. Алмазоносные эпохи ограничиваются продолжительностью крупных седиментационных циклов осадкообразования, в течение которых были созданы условия для поступления в осадки алмазоносного материала — обязательного члена терригенных алмазоносных формаций. Алмазоносные эпохи отделяют друг от друга крупные региональные перерывы и корообразование. Они характеризуются специфическими условиями россыпеобразования, появлением новых первоисточников, своеобразным климатом и др. Для выделения алмазоносных эпох на древних платформах можно использовать прямые и косвенные критерии.

Прямые критерии — находки алмазов или их парагенетических спутников, а также наличие в разрезах осадочного чехла отложений, которые могут быть коллекторами алмазов. Как известно, алмазы концентрируются только в терригенных осадках, поэтому в состав алмазоносных образований необходимо включать только их, а это сужает круг объектов для прогнозирования алмазных россыпей. Для определения положения терригенных формаций в разрезе необходимо указывать возраст алмазоносных эпох (докембрийская, верхнепалеозойская и др.). Отнести терригенные формации к алмазоносным можно только после обнаружения алмазов. На первой стадии изучения можно использовать находки парагенетических спутников алмаза — пироба, пикроильменита, хромдиоксида (Сарсадских, 1958_{1, 2}). В последние годы (Н. Соболев, 1964, 1971 гг.) установлено, что спутниками алмазов являются только высокохромистые и низкокальциевые пиробы. Поэтому при выделении алмазоносных формаций эти разности пироба в терригенных отложениях могут служить свидетельством их алмазоносности. Количественные содержания минералов-спутников алмаза не служат показателем алмазоносности терригенных формаций. В древних формациях часть из них (или даже все) может быть уничтожена в результате длительной транспортировки.

Косвенные критерии выделения алмазоносных эпох и терригенных формаций в их составе сводятся к определению благоприятной геологической обстановки для концентрации алмазов (см. предыдущие разделы).

На Сибирской платформе осадочный чехол включает отложения от верхнего протерозоя до кайнозоя. Они представлены терригенными, хемогенными и органогенными образованиями. Терригенно-хемогенные образования верхнего протерозоя составляют парагенетическую группу формаций, которая хорошо обособлива-

Вертикальная зональность в размещении

Система		Ярус, серия, свита	Абс. возраст, млн. лет	Алмазоносная формация	Макроритмы	Статия	Пол- статия	Звено
Эоплей- стоцен	Плейстоцен							
Антропогенная			67	Кайнозойская			I (-)	
							(-)	Сартанское оледенение, 1 звено
							(++)	Каргинское межледниковье, 2 звено
							(-)	Зырянское оледенение, 3 звено
							(++)	Казанцевское межледниковье, 4 звено
							(-)	Тазовское оледенение, 5 звено
							(++)	Мессовское межледниковье, 6 звено
							(-)	Самаровское оледенение, 7 звено
							III (++)	

алмазных россыпей на Сибирской платформе

Генезис	Литология	Мощность, м		Основные черты палеогеографической обстановки	Эпоха проявления кимберлитового магматизма	Степень алмазности кимберлитов
		формации, мак- роритмы, стадии	продуктивных слоев (установ- ленных и пред- полагаемых)			
Аллювий	Пески, галечники, супеси, су- глинки	35—120	0,5—5	Потепление		
	Супеси, суглинки			Похолодание		
	Пески, галечники		1—5	Потепление		
	Супеси, суглинки			Похолодание		
	Пески, галечники		1—4	Потепление		
	Супеси, суглинки			Похолодание		
	Пески, галечники		0,5—2	Потепление		
	Супеси, суглинки			Похолодание		
	Пески, галечники		3—10	Потепление		

Система		Ярус, серия, свита	Абс. возраст, млн. лет	Амazoнская формация	Макроритмы	Стадия	Подстадия	Звено					
Отдел													
Юрская	Верхний	Волжский	137—195	Мезозойская	VI	I (+)							
						(+)							
						III (+)							
		II (-)											
		I (++)											
		III (+)											
	II (-)												
	I (++)												
	Средний	Байос-ааленский			Байос-ааленский	137—195			Мезозойская	IV	III (-)		
											II (-)		
I (-)													
III (-)													
II (-)													
Меловая			67—137										
Палеоген-неогеновая													

Генезис	Литология	Мощность, м		Основные черты палеогеографической обстановки	Эпоха проявления кимберлитового магматизма	Степень алмазности кимберлитов
		формации, макроритма, сталии	продуктивных слоев (установленных и предполагаемых)			
Аллювий	Галечники, пески, глины	35—120	5—30	Континентальные условия с теплым климатом		
„	Пески, галечники, глины	2—150		Континентальные условия	XJ ₃ —Cr	Неизвестно
Морские	Песчано-глинистые отложения	50—165		Устойчивый морской режим		
Прибрежно-морские	Конгломераты	0,5—5,0	0,5—5,0	Трансгрессия моря	XJ ₂ bt—J ₃	Неизвестно
	Пески	170		Регрессия моря		
Морские	Глины, пески	20		Устойчивый морской режим		
Прибрежно-морские	Конгломераты, песчаники	0,5—30	0,5—2,0	Трансгрессия моря		
	Пески, глины	40—200	0,02	Регрессия моря		
Морские	Глины, пески	30—80		Устойчивый морской режим		
Прибрежно-морские и континентальные	Пески, глины, конгломераты	1—300	1,0—3,0	Трансгрессия морей, континентальные условия		

Система		Юрская		Триас-нижнеюрская		Пермская	
Отдел		Средний		Нижний		Верхний	
Ярус, серия, свита		Ааленский		Иреляхская свита			
Абс. возраст, млн. лет		137—195		240—340			
Алмазоносная формация		Мезозойская		Палеозойская			
Макроритмы		III		I		II	
Стация		III (+)		I (+ +)		II (-)	
Подстаия		II (-)		II (+)		I (-)	
Звено		I (+ +)		I (+ +)		- (+)	

Генезис	Литология	Мощность, м		Основные черты палеогеографической обстановки	Эпоха проявления кимберлитового магматизма	Степень алмазности кимберлитов
		формации, максиморитмы, сталин	продуктивных слоев (установленных и предполагаемых)			
Прибрежно-морские и континентальные	Глины, пески, конгломераты	10—50	0,5—1,0	Регрессия моря, континентальные условия		
Морские	Глины, пески	30—250		Устойчивый морской режим		
Прибрежно-морские	Пески, глины, конгломераты	0,5—130	0,5—8,0	Трансгрессия моря		
Континентальные	Пески, конгломераты	10—185	0,2—5,0	Континентальный режим		
	Глины, алевроиты, пески, галечники	10	10			
	Глины, алевроиты, галечники, пески	35	35			
Континентальные и прибрежно-морские	Пески, алевроиты, глины, галечники	650		Континентальный режим и трансгрессия моря		
Континентальные	Глины, пески, галечники		0,2—5,0	Континентальный режим		

Система	Отдел	Ярус, серия, свита	Абс. возраст, млн. лет	Алматовская формация	Маккоритмы	Степени	Подстадии	Звено
Протерозойская	Верхний	Старореченская и том-горская свиты; маастахская и туркутская свиты хорбусуонской серии венда	700—620	Палеозойская	I	III (-)		
		Верхнебилляхская толща билляхской серии среднего рифея	1000			III (++)		
		Мукуинская серия, сыгынахтахская свита хорбусуонской серии нижнего рифея	1500			II (-) (++)		
Карбон-нижнепермская	240—340		240—340			I (++)		
						II (-)		
						III (+)		

Примечание: X — место проявления в разрезе кимберлитового вулканизма; (++) — разделенных условиях; (-) — неблагоприятные.

Генезис	Литология	Мощность, м		Основные черты палеогеографической обстановки	Эпоха проявления кимберлитового магматизма	Степень алмазности кимберлитов	
		формации, макроритмы, сталин	продуктивных слоев (уступов-ленных и пред-полагаемых)				
Морские	Глины, песчаники			Регрессия моря	ХТ ₃ —J ₁	Слабоалмазная	
Континентальные и морские	Пески, алевриты, глины, доломиты, гипсы	40—220		Континентальный режим, устойчивый морской режим			
Континентальные и прибрежно-морские	Глины, щебни, галечники, конгломераты	До 30	0,5—12	Континентальный режим и трансгрессия моря			ХD—C ₁
Прибрежно-морские	Кварцевые конгломераты (продукты перетложения кор выветривания)	700—2000	2—10 и более		X?		
			До 6—8		X?		
			3—5 и более		X?		

— благоприятные условия для образования алмазных россыпей; (+) — благоприятные в оп-

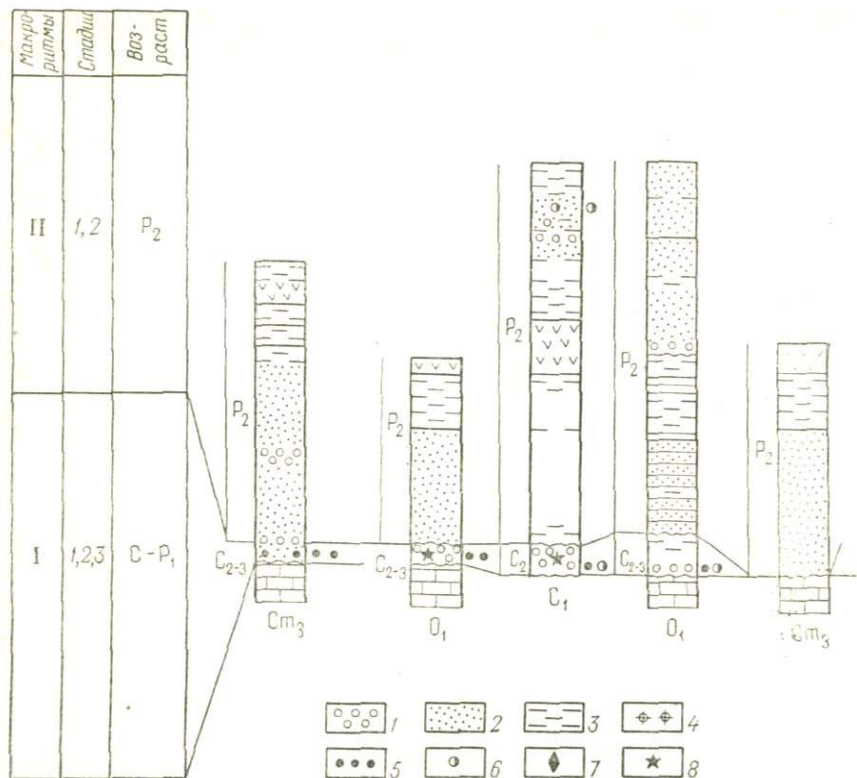


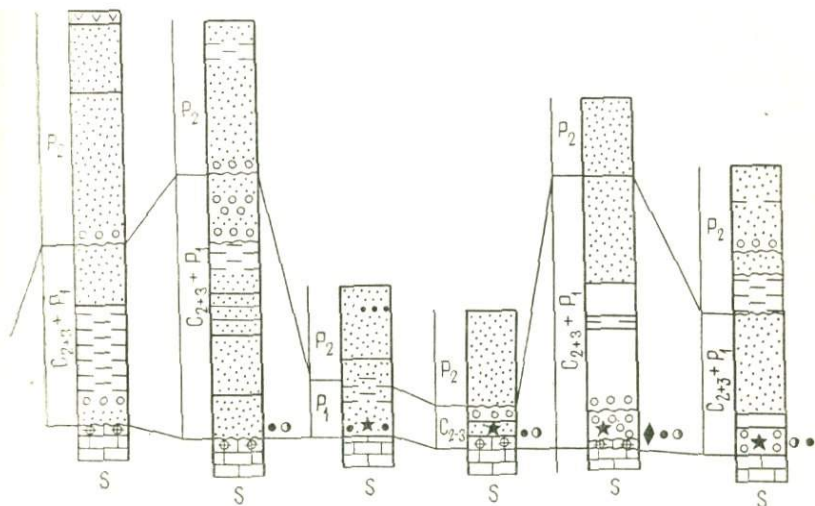
Рис. 36. Макроритмы при формировании верхнепалеозойских россыпей алмазов на Сибирской платформе.

1 — конгломераты, гравелиты, галечники; 2 — пески, песчаники, песчано-глинистые отложения; 3 — глины и песчано-глинистые отложения; 4 — кора выветривания; 5—7 — минералы-спутники алмазов: 5 — пироп, 6 — пикроильменит, 7 — хромдиопсид; 8 — алмаз

ется от ниже- и вышележащих крупными перерывами в осадконакоплении и корами выветривания (табл. 22). Мощность отложений этой эпохи 700—2000 м. В настоящее время существуют только косвенные признаки ее алмазоносности: находки минералов-спутников — пироба и пикроильменита — в базальных конгломератах билляхской свиты, а также наличие алмазов с признаками древности в аллювии рек, размывающих отложения этой эпохи. Критерии прогнозирования докембрийской алмазоносности автор разработал совместно с М. П. Метелкиной, О. В. Суходольской и Е. В. Францесон и опубликовал во многих статьях и специальной монографии*.

Отложения кембрия, ордовика и силура на северо-востоке Сибирской платформы представлены хомогенными, органогенными и

* Докембрийские алмазоносные формации мира, М., «Недра», 1975.



терригенно-хемогенными образованиями морского генезиса и в состав алмазоносных формаций не включены.

Следующая алмазоносная эпоха включает терригенные формации верхнепалеозойского (карбон, верхняя пермь) возраста (рис. 36). От докембрийского возраста она отделена крупным перерывом в осадкообразовании ($D-C_1$), мощным корообразованием и проявлением продуктивной формации кимберлитов.

Мезозойская алмазоносная формация Сибирской платформы начинается с корообразования в верхнем триасе и заканчивается континентальным периодом, для которого характерны процессы корообразования в верхнем мелу (рис. 37), а также новым проявлением кимберлитового вулканизма.

Кайнозойская эпоха начинается в палеогене и продолжается до настоящего времени.

Разновозрастные эпохи россыпеобразования выделены и для центральной части Африкано-Аравийской платформы. Здесь также очень четко разграничиваются четыре алмазоносные эпохи: докембрийская, верхнепалеозойская, мезозойская и кайнозойская. Они отделяются крупными перерывами в осадконакоплении и корообразованием. В отличие от Сибирской платформы, здесь наиболее перспективны мезозойские терригенные формации, которые образовались после наиболее продуктивной мезозойской эпохи проявления кимберлитового магматизма. На Сибирской платформе продуктивной следует считать верхнепалеозойскую.

В результате анализа алмазоносных терригенных формаций можно наметить некоторые общие закономерности их строения,

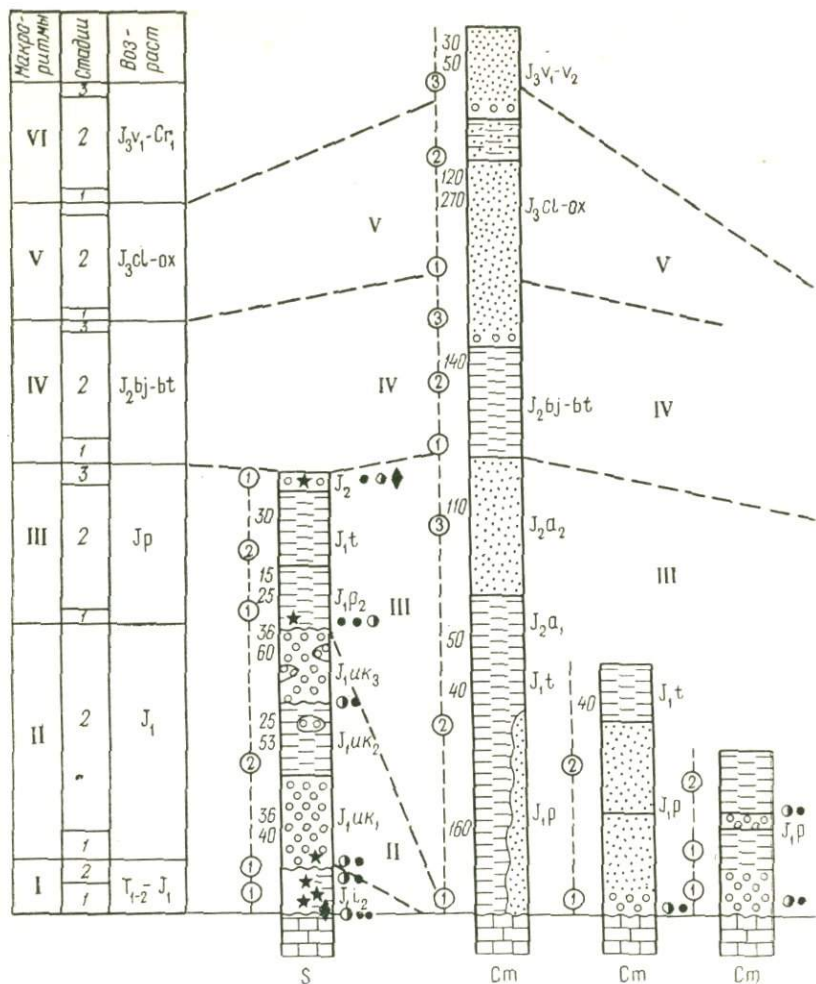
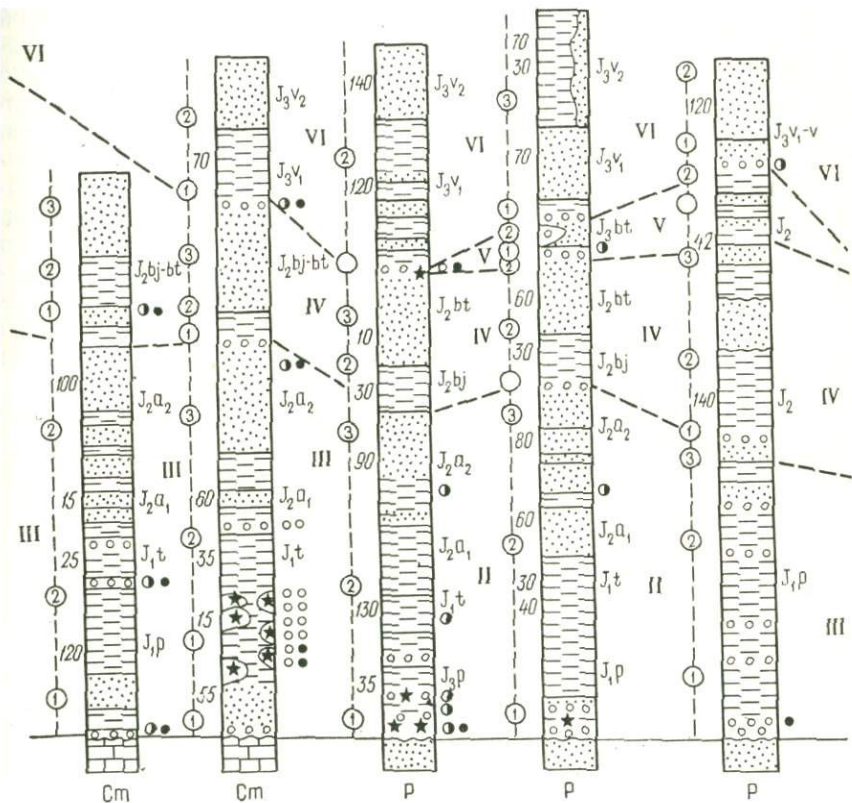


Рис. 37. Макроритмы при формировании мезозойских россыпей алмазов на Сибирской платформе.

1 — конгломераты, гравелиты, галечники; 2 — пески, песчаники, песчано-глинистые отложения; 3 — глины и песчано-глинистые отложения; 4—6 — минералы-спутники алмазов: 4 — пироп, 5 — пикроильменит, 6 — хромдиопсид; 7 — алмаз

Арабскими цифрами в кружочке обозначены отложения трансгрессивной серии (1), отложения стадии устойчивого морского режима (2), отложения регрессивной стадии моря (3)

размещения и продуктивности. Разновозрастные группы алмазоносных формаций отделяются крупными перерывами в осадконакоплении, стратиграфическими и угловыми несогласиями, вызванными резкими сменами тектонических режимов, сменой областей и направлений сноса грубообломочного и алмазоносного материала. Парагенетические группы алмазоносных формаций расположены, как правило, в пределах платформенных структур первого по-



рядка. Наиболее благоприятны для формирования алмазных россыпей отложения нижней части разрезов, и в особенности базальные слои, которые представлены грубообломочным материалом (конгломератами, галечниками, гравелитами, крупнозернистыми песками с галькой и гравием). Более высокие части разреза могут быть перспективными только при благоприятных условиях, когда эродируются богатые первонсточники. Перспективность разновозрастных формаций возрастает снизу вверх и после проявления новых продуктивных эпох кимберлитового магматизма. Насыщенность формаций алмазами зависит от длительности эпох выветривания и продолжительности высвобождения из них алмазов. Поэтому в нижних частях формаций алмазов содержится всегда больше (см. табл. 22).

В зависимости от возраста и особенностей развития платформенных структур каждая формация характеризуется тем или иным типом промышленных месторождений. Так, в докембрийских формациях развиваются прибрежно-морские россыпи, реже встречаются аллювиальные и ледниковые. Это вызвано длительной историей формирования россыпей и неоднократным их переотложением. Здесь, мигрируя от первоисточника, алмазы достигли конечной цели — прибрежно-морских зон. Каждая более молодая алмазоносная формация в целом богаче алмазами, чем предыдущая, что происходит в результате привноса алмазов из более древних образований и проявления новых эпох кимберлитового магматизма.

Крупность алмазов увеличивается в зависимости от продолжительности и древности алмазоносных формаций. Так, для докембрийских формаций характерны крупные алмазы высокого сорта. Это объясняется тем, что они формировались длительное время (более 500 млн. лет), дольше чем любая фанерозойская формация. В результате алмазы рассортировались по крупности: низкосортные трещиноватые алмазы были разрушены и измельчены в процессе неоднократного переотложения, а мелкие вынесены за пределы зон аккумуляции крупных алмазов.

Количество минералов-спутников (пироба, пикроильменита) увеличивается в более молодых формациях, что объясняется разрушением их в гипергенных условиях.

МЕЗОЗОНАЛЬНОСТЬ

В составе алмазоносных эпох выделяются макроритмы (см. табл. 22). Они характеризуются определенным составом алмазоносных и неалмазоносных отложений, образовавшихся в разные стадии и временные отрезки. В состав терригенных алмазоносных формаций входят континентальные и морские макроритмы.

В континентальном макроритме выделяются две стадии формирования осадков: в первую накапливались продукты перемыва и переотложения кор выветривания, во вторую — продукты эрозионно-денудационных процессов. В период аккумуляции отложений первой стадии континентального макроритма могут формироваться промышленные россыпи аллювиального, делювиального, пролювиального и прибрежно-озерного генезиса. Масштабы россыпей зависят от размеров первоисточников и продолжительности эпохи корообразования. Такие россыпи привязаны к первоисточникам. Размеры их могут быть значительными.

Россыпи второй стадии континентального макроритма в основном аллювиальные, реже пролювиальные. Они разделяются на два подтипа: ближнего и дальнего сноса (Б. И. Прокопчук, 1971 г.). Зональность россыпей этой стадии определяется структурным фактором (см. раздел II). Россыпи ближнего сноса четко привязаны к первоисточникам, за счет которых они формируются. Размеры этих россыпей небольшие, содержание алмазов высокое. Россыпи дальнего сноса представляют собой значительные протяженные зоны,

но содержание алмазов в них более низкое. Богатые россыпи этого типа могут образоваться в исключительных условиях: в пределах тектонических блоков с интенсивными движениями разного знака, в зонах развития промежуточных коллекторов площадного типа.

В макроритме отложений устойчивого морского генезиса выделяются три стадии: трансгрессивная, морского режима, регрессивная. Первая, трансгрессивная, — наиболее благоприятна для образования алмазных россыпей. Осадки этой стадии формируются после эпохи длительного континентального развития, часто после интенсивных процессов корообразования, в результате которых высвобождаются большие массы алмазов, из коренных пород и из промежуточных коллекторов и поступают в прибрежные зоны. Вторая стадия — устойчивого морского режима — неперспективна для образования алмазных россыпей, так как в это время с континента поступает только мелкозернистый материал, не содержащий алмазы. Третья стадия — регрессивная — может быть перспективной для формирования алмазосных осадков лишь в исключительных случаях: если при регрессии морского бассейна размывается островная суша с первичными алмазами или участки подстилающих отложений с повышенными содержаниями алмазов.

ЛАТЕРАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Размещение алмазных россыпей подчиняется четкой латеральной зональности. Основное влияние на их мезозональность оказывает структурный фактор, а главенствующую роль играют структуры первого порядка (антеклизы, синеклизы и прогибы).

Общие закономерности условий образования и размещения алмазных россыпей в пределах антеклиз обусловлены историей их развития. Антеклизы, которым свойственна общая тенденция к поднятию, характеризуются ограниченным набором генетических и морфологических типов россыпей. В основном это молодые четвертичные россыпи, а из древних сохраняются от размыва только погребенные, которые чаще всего приурочиваются к древним западинам. Обогащенные россыпи концентрируются недалеко от богатых коренных источников. Богатых россыпей, образовавшихся за счет бедных коренных источников, в этих районах не отмечено. На территории антеклиз известны элювиальные, делювиальные, пролювиальные и аллювиальные россыпи алмазов. Они связаны россыпями промежуточных типов. Богатые аллювиальные россыпи очень четко привязаны к богатым коренным месторождениям. Это небольшие по масштабам и малопротяженные россыпи. В районе трубок средней и бедной алмазосности богатых россыпей нет. Большая часть алмазов сильным течением водных потоков выносятся за пределы антеклиз. И только вблизи кимберлитовых трубок привнос алмазов преобладает над выносом, и здесь образуются промышленные месторождения.

Наряду с рассмотренными общими закономерностями важную роль играют и частные, связанные с блоковым строением терри-

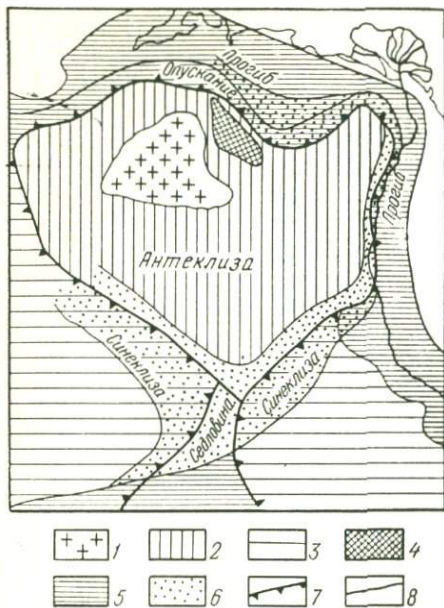


Рис. 38. Латеральная зональность в распределении алмазов в россыпях Сибирской платформы.

1 — цит; 2 — антеклизы; 3 — синеклизы; 4 — блок в пределах антеклизы, испытавший дифференциальные движения, в результате чего на его территории созданы условия для концентрации алмазов; 5 — прогибы; 6 — зоны благоприятные для концентрации алмазов; 7 — границы платформенных структур первого порядка; 8 — граница зоны наиболее благоприятной для концентрации алмазов в россыпях

руется также тектоническими факторами. Россыпи не привязаны к конкретным коренным источникам, как это имело место в пределах антеклиз. Алмазы привносились в основном из территорий антеклиз в разное время. Для синеклиз и прогибов характерны разновозрастные россыпи, начиная с момента проявления коренной алмазоносности и заложения синеклиз и прогибов и кончая современным временем. Общее для синеклиз и прогибов — образование крупных по масштабам и протяженности, но бедных по содержаниям алмазных россыпей.

Самое благоприятное для россыпеобразования — зоны сочленения положительных и отрицательных структур первого порядка. В этих зонах сконцентрированы наиболее обогащенные россыпи. Здесь существует равновесие в процессах эрозии и аккумуляции, при которых материал легкой фракции выносится, а алмазы и более тяжелые компоненты остались на месте, вследствие чего россыпи обогащались. Ширина благоприятных зон различна и зависит от интенсивности и знака движений в соседних структурах

тории. Так, например, важно, чтобы блоки испытывали дифференцированные движения. Во время опусканий в их пределах может происходить аккумуляция алмазоносного материала, а во время поднятий — его размыв и связанное с ним обогащение некоторых типов россыпей.

Общие особенности условий образования и размещения алмазных россыпей в пределах синеклиз и прогибов обусловлены их тенденцией к опусканию и резкой сменой условий осадконакопления в их пределах. Частая смена континентальных и морских условий накладывает отпечаток на особенности образования и пространственное размещение россыпей. Кроме перечисленных типов россыпей, свойственных антеклизам, в синеклизах появляются новые типы — прибрежно-морские и дельтовые. Площадное распределение россыпей контроли-

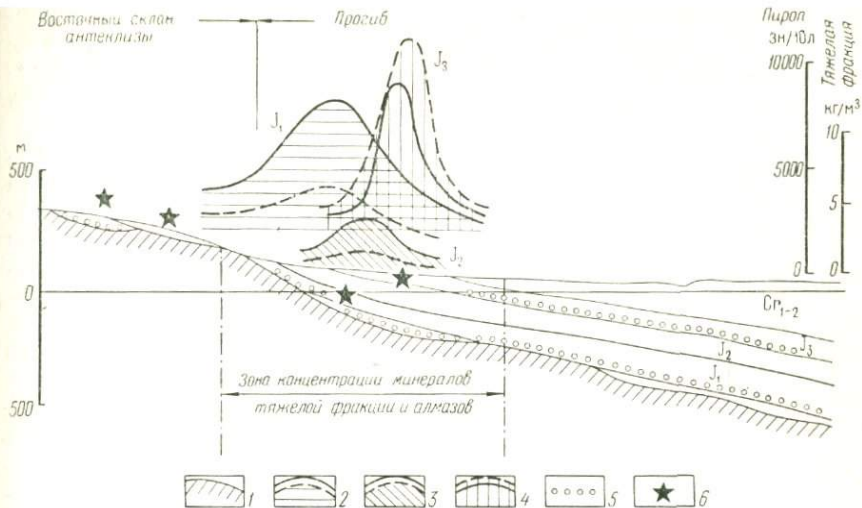


Рис. 39. Схема структурного контроля зоны концентрации минералов тяжелой фракции и алмазов в юрское время на Сибирской платформе.

1 — поверхность допермских пород; 2—4 — кривые изменения тяжелой фракции (сплошная линия) и пироба (прерывистая линия) в терригенных отложениях юры: 2 — нижней юры, 3 — средней юры, 4 — верхней юры; 5 — базальные конгломераты; 6 — находки алмазов

первого порядка. Эти зоны постоянны на протяжении длительного времени в связи с тем, что сочленение структур проходит по долгоживущим разломам фундамента.

На примере Сибирской платформы можно проследить следующее (рис. 38, 39). Зона сочленения антеклизы с прогибами очень узкая. Это связано с тем, что стык прогибов проходит по глубинным разломам. В данной узкой зоне сосредоточены разновозрастные россыпи алмазов, начиная с юрских и кончая современными: прибрежно-морские — плинсбахского, келловейского и нижневолжского возраста, дельтовые — плинсбахского, аллювиальные — неоген-четвертичные и четвертичные. Строение прибрежно-морских россыпей однотипно. Все они приурочены к базальным конгломератам трансгрессивной серии, сформировавшимся после региональных перерывов и корообразования.

Отмечено двухчленное строение пласта. В нижней его части содержится 15—20% галечного материала, в верхней до 60—70%. Алмазы и минералы тяжелой фракции концентрируются в прослоях, сложенных галечным материалом. Алмазоносные горизонты часто сменяются обогащенными и разубоженными участками. Для дельтовых россыпей свойственно широкое распространение алмазов в вертикальном разрезе, линзовидное строение, незначительное содержание алмазов и переслаивание тонких алмазоносных слоев мощными неалмазоносными. Общее для аллювиальных россыпей: значительная протяженность их и сравнительно невысокое содержание алмазов. Небольшие по протяженности обогащенные участки (5—20 м) отмечаются в местах непосредственного размы-

ва вторичных коллекторов. Здесь по сравнению с выше- и ниже-лежащими отрезками рек обогащенность 10-кратная и более.

В пределах синеклиз зона россыпей более широкая, чем в рассмотренных структурах. Соответственно уменьшаются содержания алмазов в россыпях.

Более сложная картина в зоне сочленения синеклиз с прогибами. Здесь формируются седловины (см. рис. 39). Неоднократная смена геологических процессов сказалась на формировании алмазных россыпей. Известны разновозрастные россыпи и проявления алмазов. Неоднократные подвижки положительного и отрицательного знака привели к формированию и захоронению россыпей различного возраста.

В Конголезской синеклизе значительные аллювиальные россыпи мелового и четвертичного возраста сконцентрированы в 35-километровой зоне сочленения с антеклизой.

Таким образом, на древних платформах выделяются три зоны в размещении россыпей: 1) на антеклизах, 2) в синеклизах и прогибах и 3) в зонах сочленения антеклиз с синеклизами и прогибами. В пределах этих зон россыпи характеризуются специфическими чертами, масштабами алмазоносности и содержанием алмазов. Наиболее благоприятна для образования россыпей зона сочленения антеклизы с синеклизами и прогибами, причем в более узких зонах сконцентрированы россыпи с более высоким содержанием алмазов.

Наряду с приведенной мезозональностью наблюдаются закономерности более низких порядков — мезозональность. Рассмотрим их на примере участков и месторождений, располагающих в пределах выделенных зон.

На антеклизах наиболее четкие закономерности формирования и размещения россыпей отмечены в пределах блоков, испытывающих дифференцированные подвижки разного знака, а также в отрицательных и положительных локальных структурах.

Примером россыпей, сформированных в пределах блоков, испытывающих дифференцированные движения, может служить одна из аллювиальных россыпей Сибирской платформы.

Плотик россыпи на всем протяжении сложен доломитами. Вторичными коллекторами их служат карбоновые, пермские, юрские и неоген-четвертичные терригенные образования. Установлено, что обогащенные россыпи сосредоточены в пределах тектонического блока, который на протяжении длительного отрезка времени испытывал неоднократные подвижки разного знака (рис. 40). Во время опусканий (карбон, нижняя пермь, мел, неоген) алмазоносный материал накапливался на большой площади. В периоды поднятий алмазоносный материал перемывался и формировались обогащенные россыпи. На образование этой россыпи оказывали влияние в основном следующие факторы:

1) площадное развитие промежуточных коллекторов. Если бы источником россыпи служили кимберлиты, площадь размыва которых невелика, то протяженность россыпи была бы небольшой

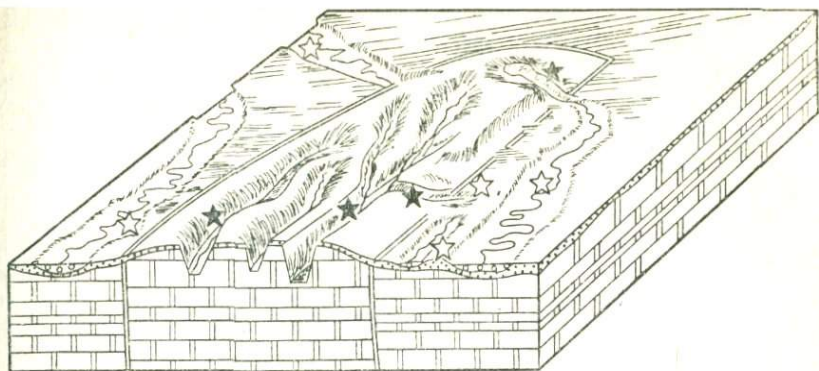


Рис. 40. Блок-диаграмма тектонического блока на антеклизе, в пределах которого существуют благоприятные условия для обогащения аллювиальных россыпей. 1 — обогащенные аллювиальные россыпи; 2 — бедные аллювиальные россыпи; 3 — граница тектонического блока; 4 — аллювий; 5 — рыхлые водораздельные отложения; 6 — коренные породы

и в ней резко выразилась бы тенденция к уменьшению содержания алмазов вниз по течению реки, что наблюдается в районах с богатыми кимберлитовыми трубками;

2) интенсивный размыв по площади промежуточных коллекторов алмаза. Интенсивное поднятие территории в антропогене привело к размыву значительных площадей алмазоносных пород за короткое время, о чем свидетельствует наличие очень узких водоразделов. Эрозия происходила также в пределах самой долины, вследствие чего были размывы ранее образовавшиеся террасы. Таким образом, большинство алмазов, находящихся в промежуточных коллекторах на водоразделах и в пределах долин, попали в современное русло и не были рассеяны по всей массе разновозрастного аллювия;

3) литология плотика. В русловых отложениях на участках, где плотик представлен доломитами, содержание алмазов выше, чем на участках, сложенных глинистыми известняками (остальные факторы россыпеобразования тождественны);

4) скорость и расход водного потока, способные транспортировать и выносить за пределы россыпи легкий глинистый и песчаный материал. В бассейне этой реки такие условия существуют в период весенних и осенних паводков;

5) незначительная мощность аллювия (0,2—1,5 м). При ежегодном паводке аллювий подвергается действию водного потока, при этом легкие минералы и частицы выносятся, что способствует обогащению алмазами всего разреза россыпи.

Установлено, что только совокупность перечисленных факторов приводит к образованию россыпи. Примером может служить россыпь реки, находящейся за пределами тектонического блока. Эта

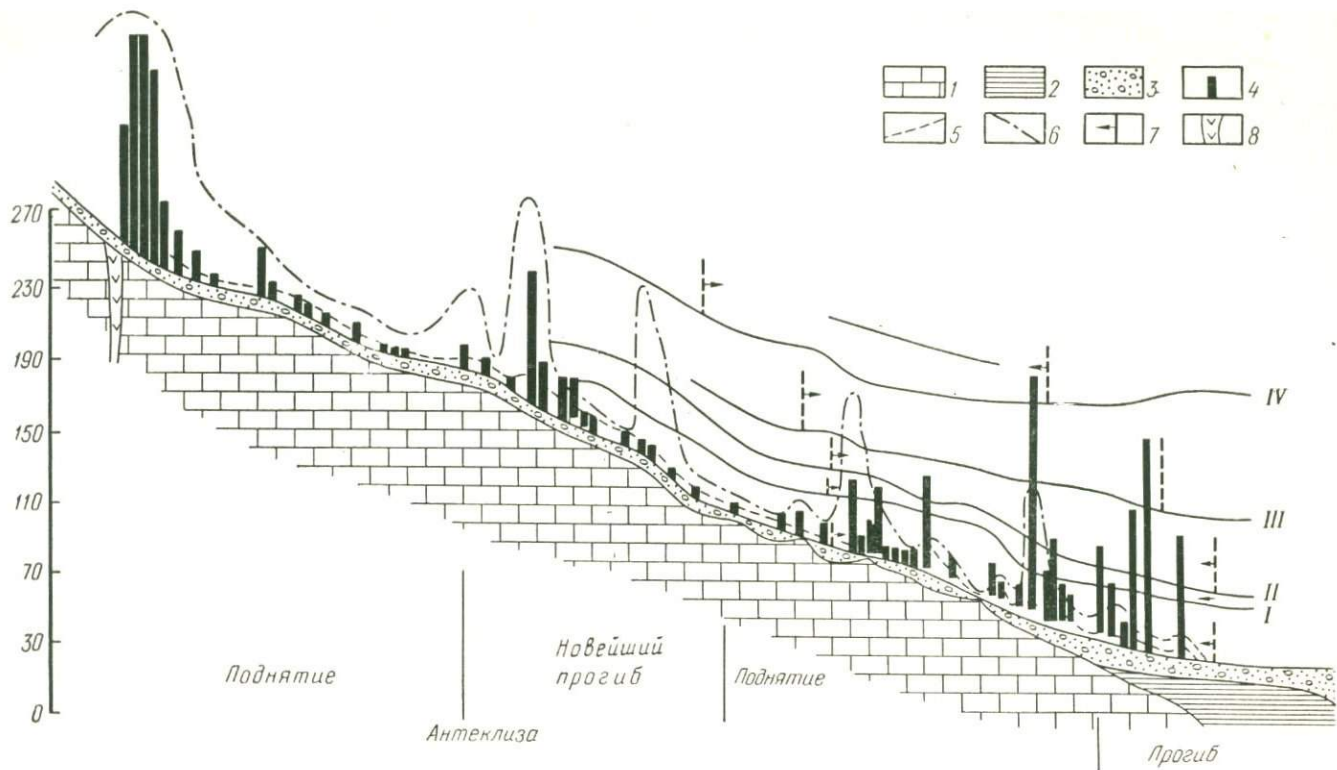


Рис. 41. Продольный профиль (высота в м) одной из алмазоносных рек Сибирской платформы (Прокопчук, 1976).

россыпь характеризуется сравнительно бедным содержанием алмазов, несмотря на то что в ее формировании участвовали те же промежуточные коллекторы и с таким же содержанием алмазов. Но здесь коллекторы размывались значительно медленнее, а поступившие из них алмазы распределялись в разного возраста аллювиальных толщах, широко развитых в пределах долины и имеющих значительную мощность.

Россыпи подобного типа могут формироваться в пределах районов, характеризующихся блоковым строением территории и широким развитием промежуточных коллекторов. Однако в районах, где широко развиты наряду с алмазоносными и неалмазоносные песчано-глинистые образования, необходимы большие скорости потоков для их выноса. Это необходимо учитывать при определении перспектив алмазоносности конкретных территорий.

В пределах антеклиз отрицательные структуры также благоприятны для концентрации алмазов в россыпях. Примером могут служить россыпи, сформированные за счет одних и тех же первоисточников (рис. 41). На приведенном продольном профиле видно, что в пределах новейшего прогиба содержание алмазов в русловой россыпи в 2—3 раза выше, чем на других участках, хотя новых поступлений алмазов на этих участках не было. Здесь же отмечается повышенная мощность продуктивных горизонтов.

В пределах антеклиз положительные структуры не благоприятны для формирования россыпей, так как в этих условиях алмазы выносятся, что хорошо видно на рис. 41. Здесь, в пределах поднятия, несмотря на то что оно находится ближе к коренным источникам, содержание алмазов ниже, чем в пределах прогиба.

Отмечено также, что в пределах зон сочленения положительных и отрицательных структур концентрация алмазов больше, чем в прилегающих к ним районах. Однако в настоящее время нельзя определить ширину зоны и указать заранее ее местоположение. Это устанавливается только после проведения опробовательских работ. Такие зоны отмечаются на стыке локальных поднятий. Кроме того, установлено, что ниже зон дизъюнктивных нарушений отмечены небольшие по протяженности участки с повышенным содержанием алмазов.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

В данном разделе приводятся прогнозные и поисковые критерии, а также рассматриваются методы прогнозирования алмазных россыпей, разработанные советскими и зарубежными геологами-алмазниками и применяемые в настоящее время.

ПРОГНОЗНЫЕ И ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

Можно выделить следующие группы критериев: структурно-тектонические, магматические, минералогические, возрастные, геоморфологические, литологические. Перечисленные критерии характеризуются некоторыми особенностями в различных районах и для разновозрастных терригенных толщ, что необходимо учитывать при прогнозировании и поисках.

Рассмотрим только минералогические критерии, а также критерии прогнозирования и поисков докембрийских россыпей. Остальные приведены во втором разделе настоящей книги, где описанные факторы россыпеобразования соответствуют прогнозным и поисковым критериям.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Минералогические критерии по значимости группируются в три группы: минералы — парагенетические спутники алмазов, минералы — аллювиальные спутники алмазов, минеральные ассоциации алмазоносных россыпей.

Минералы — парагенетические спутники алмазов

К минералам — парагенетическим спутникам алмазов относятся пироп, пикроильменит, оливин, циркон, хромдиопсид. Эти минералы из коренных месторождений алмазов — кимберлитов — изучены хорошо (А. П. Бобриевич и др., 1957, 1959, 1964 гг.; Илупин, 1963; А. А. Панкратов, 1968 г.; Н. Н. Сарсадских, 1960 г.; Соболев, 1974; Л. А. Зимин, 1966 г.; Харьков, 1974; и др.), поэтому остановимся лишь на тех свойствах минералов, которые можно использовать при прогнозировании и поисках алмазоносных россыпей.

Пироп в кимберлитах встречается в виде округлых и овальных зерен. Размер их колеблется от долей миллиметра до 2—3 мм. Редко встречаются очень крупные зерна диаметром 1—3 см и более. Их поверхность часто неровная, скульптурированная. Соотно-

шение зерен различного размера в каждой трубке различно. По окраске среди пиропов выделяются розовые, оранжевые, красные и фиолетовые разновидности. Показатели преломления пиропов 1,725—1,780. Некоторые зерна пироба покрыты келифитовыми оболочками, состоящими из хлорита, слюды, серпентина, хромшпинели, карбоната, магнетита. Толщина их самая разнообразная, обычно 0,1—0,8 мм, нередко достигает нескольких миллиметров. Келифитовые каймы пиропов из кимберлитов Якутии специально изучались И. П. Илупиным и др. и установлено, что средняя толщина каемок в трубках может быть различной (И. П. Илупин, 1972 г.).

Для пиропов из кимберлитов характерны следующие первичные поверхности: зеркальногладкая, матированная и шероховатая. Незначительным распространением пользуются ребристая, ступенчатая, ямчатая и другие поверхности (Е. В. Францесон, 1968 г.).

Пикроильменит в кимберлитах представлен зернами овальной формы. Цвет черный, излом раковистый, реже зернистый, блеск металлический, сильный. Размер зерен от долей миллиметра до 0,5—1 см и более. Поверхность зерен матированная и шероховатая. По данным химических анализов в составе пикроильменитов отмечается повышенное (в среднем около 10%) содержание MgO (Алмазные месторождения... , 1959).

Оливин в кимберлитах — главный породообразующий минерал, но обычно он замещен вторичными продуктами. Окраска оливина изменяется от бесцветной до бледно- и буровато-зеленой, зеленовато-серой. Поверхности зерен матированные и шероховатые. По химическому составу он относится к магнезиальному хризолиту.

Хромшпинель присутствует преимущественно в форме кристаллов, реже неправильных зерен темно-коричневого до смоляно-черного цвета. Их размер колеблется от сотых до десятых долей миллиметра, редко до 1—2 мм.

Апатит в кимберлитах представлен крупными зернами угловато-овальной формы. По химическому составу и оптическим свойствам отвечает фторапатиту.

Циркон наблюдается в виде овально-угловатых зерен размером 0,5—1,5 мм. Поверхность зерен шероховатая, матированная. Окраска изменяется от бесцветной до бледно-розовой и бледной буровато-оранжевой.

Кроме перечисленных минералов, в кимберлитах встречаются перовскит, муассанит, моноклинные пироксены. В россыпях эти минералы в зависимости от длительности пребывания в гипергенных условиях и от характера переноса приобретают специфические черты.

В элювиальных отложениях встречаются все перечисленные минералы, присущие кимберлитам. Однако их процентное содержание другое, чем в кимберлитовых телах. В условиях влажного жаркого климата почти полностью исчезают (замещаясь вторичными продуктами) оливин и хромдиопсид. В суровых полярных условиях интенсивно раскалывается по трещинкам пироп, поэтому количество зерен его может быть больше, чем в кимберлитах. На

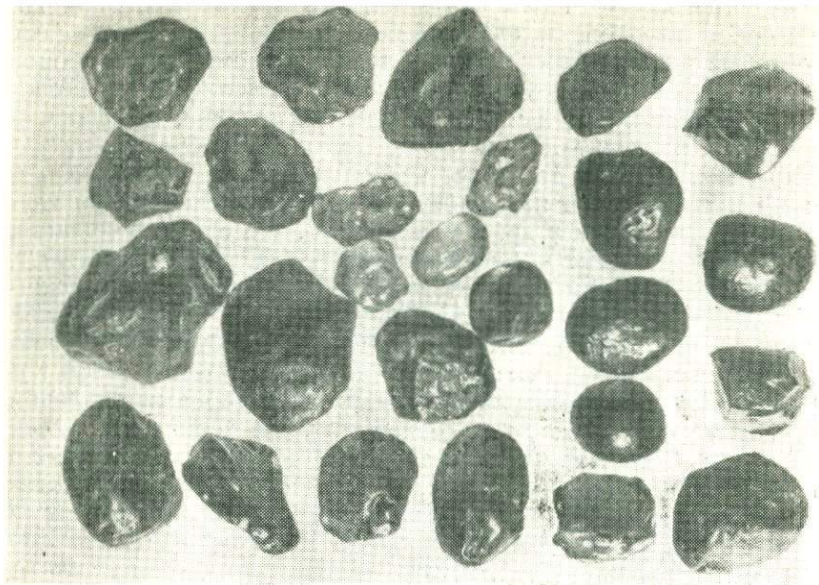


Рис. 42. Пироп из аллювиальных россыпей. Ув. 5

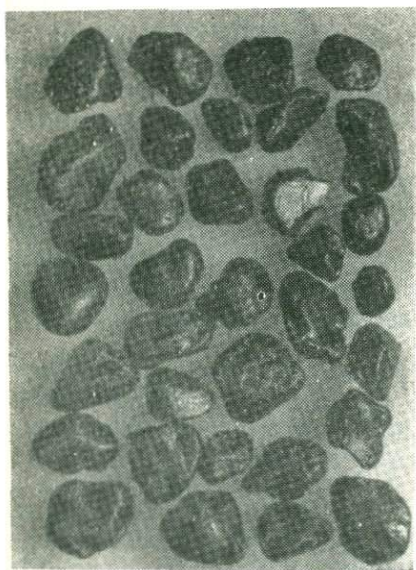


Рис. 43. Пироп из аллювиальных россыпей. Ув. 5

многих зерна отмечают примазки кимберлита. Целые зерна минералов-спутников сохраняют первичные скульптуры. В значительной части минералов сохраняется эндогенная трещиноватость.



Рис. 44. Циркон из аллювиальных россыпей. Ув. 5

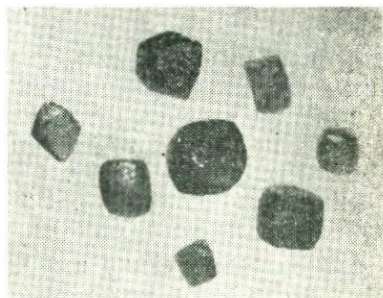


Рис. 45. «Кубоиды» пироба из древних кор выветривания. Ув. 7

В делювии по мере удаления от коренного источника происходит раздробление минералов по первичным трещинам. Содержание оливина и слюды постепенно уменьшается. На расстоянии 1—1,5 км исчезают примазки кимберлита. Однако на поверхности минералов не появляется следов механического износа.

В аллювии по мере удаления от коренного источника минералы-спутники алмаза приобретают специфические особенности (рис. 42, 43, 44). Основные признаки, свидетельствующие о переносе, — механический износ и отсутствие келифитовых оболочек на зернах пироба. На первом километре на пиробе появляется легкая матовость, редкие царапины и выбоины. Далее механический износ увеличивается. Многие исследователи пытались определить степень аллювиального износа в числовом выражении — в баллах (А. Я. Панкратов и др., 1975 г.; Л. А. Зимин и др., 1974 г.; Н. Н. Сарсадских и др., 1970 г.). Наиболее приемлемая классифи-

кация этого показателя разработана Л. А. Зиминным (1974 г.). Выделено четыре класса степени механического износа: I класс — зерна без малейших следов механического износа (эндогенные поверхности занимают 100%); II класс — зерна со следами механического износа (площади, занятые первичными поверхностями превышают 50% от общих поверхностей зерен); III класс — зерна, существенно истертые (эндогенные поверхности занимают менее 50% от общей поверхности зерен и наблюдаются в виде реликтов); IV класс — зерна с 100-процентными поверхностями механического истирания (эндогенные признаки полностью утрачены). При анализе данных о механическом износе минералов-спутников Сибирской платформы, установлено, что в первых сотнях метров от кимберлитовых тел встречаются минералы-спутники I и II в 1—3 км — II и III, далее — III и IV класса. На расстоянии более 40 км от кимберлитовых тел встречаются только зерна IV класса.

Специфические черты приобретают минералы-спутники алмазов в коре выветривания. Связующая кимберлитовая масса кимберлитов и не устойчивые минералы (оливин) полностью превращаются в глинистые продукты. Появляются интересные формы пироба — кубоиды (рис. 45). По мнению А. Д. Харькина и Ю. П. Белика (1974 г.), подобные формы образуются в результате растворения округлых зерен пироба. Форма зерен пироба остается округлой, овальной. Только единичные зерна сохраняют реликты кристаллографической формы. В коре выветривания широко развиты трещиноватые зерна пироба (более 50%). Минералы разбиты крупными трещинами, части зерен нередко смещены по отношению друг к другу. Пикроильмениту свойственна незначительная трещиноватость. Большая часть зерен имеет первичные скульптуры на поверхности.

Минералы-спутники в ископаемых россыпях характеризуются практически теми же особенностями, что и в современных. Только в докембрийских терригенных отложениях минералы — парагенетические спутники алмазов претерпевают глубокий метаморфизм.

Специфические особенности приобретают минералы-спутники в прибрежно-морских россыпях. Они или исчезают в результате механического износа, или становятся сильно окатанными. Не сохраняются такие минералы, как хромдиопсид, оливин, апатит. Пироп и пикроильменит сильно окатываются и уменьшаются в размере. Пироп окатывается быстрее пикроильменита, приобретая вид округлых шариков различного размера. Преобладают зерна диаметром менее 1 мм.

Минералы-спутники алмаза в ледниковых отложениях характеризуются большой трещиноватостью. На поверхности крупных зерен иногда наблюдаются следы ледниковой штриховки.

Поверхность минералов-спутников в эоловых россыпях шагреньевая, что вызвано микроцарапинами, полученными в результате многочисленных соприкосновений с песчаниками.

При использовании перечисленных особенностей парагенетических спутников алмаза необходимо помнить следующее. Не всегда повышенные их содержания свидетельствуют о повышенных концентрациях алмазов. Это связано в первую очередь с их различными соотношениями в кимберлитах. Далее, в результате неоднократного переотложения и истирания алмазы теряют своих минералов-спутников. Поэтому при прогнозировании можно только ориентировочно прикидывать степень алмазоносности россыпей в зависимости от содержаний парагенетических спутников алмазов. Только после непосредственного опробования на алмазы можно сделать более аргументированные выводы о соотношении алмазов и минералов-спутников в определенных районах.

Минералы — аллювиальные спутники алмазов

Для россыпей дальнего сноса, образовавшихся в результате многократного переотложения, парагенетические спутники алмазов теряются, и алмазы ассоциируются с другим набором минералов. Обычно это минералы, плотность которых близка плотности алмаза, и поэтому менее подвергающиеся механическому износу. Каждый район и россыпь имеют свой набор аллювиальных спутников алмазов. К числу аллювиальных спутников может быть отнесено большинство минералов тяжелой фракции россыпей: магнетит, лимонит, гематит, хромшпинелид, гранат, циркон, оливин, пироксен, рутил, монацит и др. Эти минералы имеют различное происхождение и источником их являются разнообразные породы. Обнаружение их в россыпях совместно с алмазом не указывает на источник алмазов. Поэтому установить источник алмазов при наличии только аллювиальных спутников трудно, особенно если первоисточник — промежуточные коллекторы разного возраста. Этим объясняется тот факт, что на некоторых месторождениях, эксплуатирующихся уже многие годы и даже десятилетия, первоисточник до сих пор не определен.

Кратко опишем примеры россыпей с различными аллювиальными минералами-спутниками алмазов. Наиболее детально изучены аллювиальные спутники алмаза А. А. Кухаренко, М. Т. Орловой и др. К аллювиальным спутникам алмаза они относят циркон, близкий к алмазу по плотности и устойчивости к переносу. Встречаются три разновидности циркона: красный, охристо-желтый и бесцветный. М. Т. Орловой установлено, что цирконы отдельных регионов отличаются составом элементов-примесей, формой и степенью окатанности зерен минерала, концентрацией той или иной цветной разновидности. Изучение тяжелой фракции коренных пород позволило определить источники поступления в россыпи выделенных разновидностей минерала, а также выявить возраст красного, желтого и бесцветного циркона. По мнению М. Т. Орловой, красный циркон самый древний. Он распространен в тяжелой фракции грубозернистых образований протерозой-кембрийского возраста. Желтый циркон характерен для нижнепалеозойских по-

род, бесцветный преобладает в тяжелой фракции верхнепалеозойских пород. М. Т. Орловой установлено, что алмазонасность зависит от содержания в породе красного циркона.

Минеральные ассоциации алмазонасных россыпей

Ассоциации минералов тяжелой фракции могут использоваться для прогнозирования поисков алмазонасных россыпей. С их помощью можно определить степень участия разновозрастных пород в формировании россыпей алмазов разного возраста и различных генетических типов, восстановить планы древних алмазонасных речных систем и морских побережий, определить местоположение первоисточников и др. (Сочнева, Прокопчук, 1976).

ПРОГНОЗНЫЕ И ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ РОССЫПЕЙ, СВЯЗАННЫХ С АЛМАЗОНАСНЫМИ ФОРМАЦИЯМИ ДОКЕМБРИЯ

Поисковые критерии россыпей алмазонасных формаций докембрия разработаны автором совместно с М. П. Метелкиной, О. В. Суходольской и Е. В. Францесон (Докембрийские..., 1976). Здесь приводим только основные выводы, необходимые для прогнозирования алмазных россыпей.

Во многих регионах мира успешно эксплуатируются алмазные россыпи, связанные с образованиями докембрийского возраста. Это один из важнейших источников высококачественного алмазного сырья, значительная часть которого (обычно более 50%) принадлежит ювелирным сортам и характеризуется большой крупностью. Указанные месторождения — единственный поставщик карбонадо и балласов.

Обобщая и анализируя имеющиеся материалы по известным докембрийским провинциям Африки, Южной Америки, Индии и других регионов, установлено, что они характеризуются общими особенностями геолого-структурного положения, составом формаций, заключающих алмазы, а также своеобразием самих алмазов и сопровождающих их минералов и в целом отличны от фанерозойских (М. П. Метелкина и др., 1971 г.). Это позволяет определить поисковые критерии для россыпных месторождений алмазонасных формаций докембрия.

Все известные алмазонасные провинции докембрийского возраста приурочены к древним дорифейским платформам: Африканской, Южно-Американской, Индостанской. Отдельные проявления докембрийской алмазонасности наблюдаются на территории Северо-Американской и Западно-Австралийской платформ. В размещении алмазонасных формаций докембрия существует отчетливая пространственная и, по-видимому, генетическая связь с древнейшими платформенными структурами земной коры. Все они тяготеют к участкам ранней консолидации кристаллического фундамента — архейским или катархейским ядрам с абсолютным возрастом пород 3000 млн. лет и более, образующим в настоящее время щиты

или древние массивы. Это Южно-Африканский и Леоно-Либерийский массивы Африкано-Аравийской платформы, Гвианский, Восточно- и Западно-Бразильский щиты Южно-Американской платформы, Индийский щит Индийской и Западно-Австралийский щит Австралийской платформы.

Терригенные алмазоносные формации приурочены к основанию осадочного чехла протоплатформ (Витватерсранд), базальным горизонтам карбонатно-терригенных серий докембрийского платформенного чехла близ выступов кристаллического фундамента (Виндий, местами Лаврас), к платформенным окраинам многоэосинклинальных прогибов, развившихся на консолидированном нижнедокембрийском основании (Минас-Жакобина, Лаврас, Альто-Парагвай).

Сопоставляя возраст древних алмазоносных формаций отдельных континентов, возможно выделить в докембрии несколько крупных эпох алмазоносности платформенного развития. Самая древняя нижнепротерозойская эпоха соответствует времени образования алмазоносной формации Витватерсранд и, возможно, Биримской. Наиболее четко проявлена среднепротерозойская эпоха алмазоносности, в течение которой сформировались алмазоносные отложения Тарквы в Западной Африке, Рорайма и Минас-Жакобина в Южной Америке. Позднепротерозойская эпоха отвечает времени накопления терригенных формаций Лаврас и Альто-Парагвай в Южной Америке, Виндийской в Индии, Аделаида в Западной Австралии.

Алмазоносная формация	Провинция	Абсолютный возраст, млн. лет
Витватерсранд	Южно-Африканская	2700—2300
Бирим, Тортья	Западно-Африканская	Более 2000
Тарква	Западно-Африканская	Около 1700
Рорайма	Гвианская	Тот же
Минас-Жакобина	Бразильская	1900—1350
Верхний Вендий	Индийская	980—550
Лаврас	Бразильская	600—570
Альто-Парагвай	Бразильская	Предположительно 600—570

Указанные возрастные интервалы следуют иметь в виду при оценке алмазоносности докембрийских толщ того или иного региона.

Алмазоносны базальные, реже межформационные конгломераты, образовавшиеся после длительных эпох выветривания и денудации. Наиболее благоприятны для аккумуляции алмазов фации грубообломочных пород прибрежно-морского генезиса, отложения дельт и прибрежных аллювиальных равнин, реже флювиогляциальные фации ледниковых отложений.

Докембрийские алмазоносные конгломераты в подавляющем большинстве случаев представляют собой продукты перебива кор выветривания, реликты которых в результате последующего мета-

морфизма нередко превращены в кварц-слюдистые образования типа филлитов. Они отличаются олигомиктовым, иногда чисто кварцевым (кварцитовым, кремневым) составом галечного материала и серицит-кварцевым, с примесью хлорита или гематита, составом цементирующей массы.

Для алмазов всех докембрийских провинций характерен комплекс специфических признаков, которые следует рассматривать в качестве поисковых критериев. Одни из наиболее важных критериев — габитус кристаллов, отражающий специфику условий кристаллизации в материнских породах докембрия. В отличие от фанерозойских алмазов, основная габитусная форма которых — плоскогранный октаэдр, в морфологическом спектре древних алмазов преобладают округлые додекаэдровиды и октаэдровиды.

Важный поисковый критерий докембрийских алмазов — присутствие карбонадо (пористых скрытокристаллических образований алмаза) и балласов (радиально-лучистых сферолитов). Особенно строения этих разновидностей — отличие изотопного состава углерода карбонадо (обогащен легким изотопом), своеобразие парагенезиса минералов-включений (кварц, рутил, флоренсит, биотит, гематит, корунд, циркон), не характерных для всех других разновидностей алмаза глубинного кимберлитового происхождения (Францессон, Каминский, 1974₁), позволяют предположить, что эти формы алмаза образовались в результате регионального метаморфизма. Таким образом, учитывая приуроченность карбонадо и балласов только к алмазоносным отложениям, связанным с докембрийскими формациями, а также специфику свойств, их следует рассматривать как типоморфные разновидности алмаза докембрийского возраста.

Весьма важным поисковым признаком докембрийских алмазов служит зеленая и особенно бурая пигментация кристаллов. Экспериментально установлено, что сплошная или в виде пятен природная зеленая окраска поверхности алмазов появляется в результате длительного облучения их частицами с высокой энергией, а бурые пятна появляются при нагревании таких предварительно облученных алмазов до температуры 500—550° С. Нередко оба вида пигментации наблюдаются на алмазах из одного района или даже на одном кристалле. Единичные зеленые пятна иногда встречаются и на алмазах из фанерозойских трубок, что можно объяснить случайным воздействием радиоактивных минералов, находящихся в трубке. Большое число пятен или сплошная зеленая окраска поверхности характерны только для древних алмазов. Присутствие урана в докембрийских отложениях, содержащих алмазы (Жакобина в Бразилии, Витватерсранд в ЮАР), увеличивает интенсивность окраски. Более надежный поисковый критерий — бурые пятна пигментации, которые, в отличие от зеленых, не наблюдаются на алмазах из фанерозойских трубок.

Наличие алмазов, пронизанных кварцевыми прожилками, покрытых корочками или инкрустированных кварцем, подобных тем, какие известны в докембрийских алмазоносных формациях Бра-

зилии и Ганы, свидетельствует о проявлении докембрийской алмазоносности на исследуемой территории. Обычно в процессе транспортировки кварцевые корочки уничтожаются, а в отрицательных скульптурах поверхности кристаллов лишь изредка наблюдаются небольшие примазки кварца.

Поисковым признаком древних алмазов является также своеобразная скульптура в виде кавернозных углублений неправильной округлой формы, переходящих через ребра с одной грани на другую. При значительном развитии этой скульптуры образуются кристаллы со сплошной пористой или губчатой поверхностью. Находки таких кристаллов свидетельствуют о их связи с докембрийскими источниками, так как появление описываемой скульптуры обусловлено, вероятней всего, интенсивным травлением алмазов в процессе регионального метаморфизма и гранитизации. Весьма существенно, что среди алмазов, связанных с фанерозойскими кимберлитами, таких камней нет.

Поисковыми критериями древних алмазов могут также служить характерные для них высокая средняя масса кристалла, хорошее его качество и механический износ различной степени интенсивности, которые вызваны продолжительным пребыванием их в прибрежно-морских условиях. Однако следует пользоваться этими критериями осторожно, так как все эти признаки можно наблюдать и на молодых кристаллах, находившихся в прибрежно-морских условиях. Поэтому для решения вопроса о докембрийской алмазоносности конкретной территории признаки пребывания в прибрежно-морских условиях необходимо использовать в сочетании с другими признаками древности, а также учитывать историю развития и палеогеографию данной территории.

Дополнительным поисковым критерием может служить наличие на кристаллах гематитовой оболочки или пленки, состоящей из гидрокислов железа и марганца, свидетельствующей о длительном пребывании алмазов в условиях корообразования.

В известных докембрийских алмазоносных провинциях мира описанные признаки древних алмазов обычно наблюдаются на одних и тех же кристаллах или на различных камнях одной провинции. Поэтому если на исследуемой территории установлен один из перечисленных признаков, то необходимо пересмотреть всю коллекцию и акцентировать внимание на выявление указанных особенностей. В отличие от месторождений фанерозойского возраста, для которых ведущее поисковое значение имеют парагенетические спутники алмаза: пироп, пикроильменит и в меньшей степени хромшпинелид, древние алмазы в классических алмазоносных провинциях докембрия лишь в исключительных случаях сопровождаются этими минералами. Обычно с ними ассоциируют устойчивые минералы метаморфических пород, среди которых наиболее характерны дистен, корунд, гранат, андалузит, ставролит, турмалин, циркон, рутил и др. В подчиненном количестве присутствуют минералы изверженных пород и кор выветривания. Специфика минералогических ассоциаций, сопутствующих древним алмазам, выра-

жается также в наличии своеобразных спутников алмаза — минералов группы гамлинита (горсейксит, гамлинит-гойяцит, флоренсит).

Следовательно, при поисках первоисточников докембрийских алмазов нельзя использовать обычные общезвестные минералы-спутники алмаза, которые в результате широко развитых процессов метаморфизма и корообразования, как правило, полностью уничтожены. В этом случае следует обратить внимание не на минералы-спутники самих алмазов, а на устойчивые минералы пород-первоисточников этих алмазов.

Таким образом, поиски фанерозойских и докембрийских алмазов по минералогическим критериям принципиально различны. Если для обнаружения фанерозойских месторождений используются аксессуарные минералы кимберлитов, то при поисках докембрийских первично алмазоносных пород ведущая роль должна принадлежать минералам, образовавшимся в процессе их метаморфизма и выветривания.

В дальнейшем необходимо разработать критерии и признаки, по которым из большой группы метаморфогенных минералов, сопутствующих древним алмазам, можно было бы выделить те из них, которые входят в состав материнских пород алмаза. Эта проблема может быть решена двумя способами. Особое внимание следует обратить на те метаморфогенные минералы, которые сопутствуют алмазам практически во всех докембрийских провинциях мира. Среди них наиболее распространены дистен, корунд и турмалин. Кроме того, эту проблему можно решить, рассмотрев алмазоносные эклогиты, сведения о которых за последнее время значительно приумножены. Как известно, обнаружены дистен и корундсодержащие алмазоносные эклогиты, причем дистен в парагенезисе с алмазом характеризуется повышенным содержанием Cr_2O_3 (до 13%). Вполне вероятно, что хромсодержащий дистен окажется парагенетическим спутником докембрийских алмазов. Весьма интересны в этом отношении работы Ю. В. Шурубора (1965), в которых поставлен вопрос о том, что минералами-спутниками алмазов могут быть дистен и ставролит. Такой подход к проблеме минералов-спутников алмазов не лишен генетического смысла.

Характерную для древних алмазов постоянную ассоциацию дистен — ставролит — алмаз интересно исследовать с точки зрения особенностей состава дистена и, возможно, ставролита, так как именно эти минералы могут оказаться спутниками древних метаморфизованных первоисточников алмазов Урала. Ю. В. Шурубор (1965) отмечает, что дистен и ставролит алмазных россыпей заметно отличаются по форме, размеру зерен и содержанию углестых включений и включений слюды.

Весьма примечательно, что Л. Ф. Труэ и Е. Д. Вайс (Truëb, Wus, 1971) указывают, что в черных алмазах Убанги, относящихся к карбонадо, преобладает минерал, выполняющий поры, — флоренсит. Это свидетельствует о тесной генетической связи флоренсита

с алмазом и ставит вопрос о возможно существенной роли минералов группы гамлинита для поисков алмазов докембрийского возраста. Правомерность такой постановки вопроса подтверждается и тем обстоятельством, что минералы этой группы — постоянные типоморфные спутники алмаза в известных докембрийских алмазоносных провинциях.

Таким образом, парагенетические спутники древних алмазов и их первоисточников должны существенно отличаться от фанерозойских. На смену обычным парагенетическим спутникам (широко применяемым при поисках фанерозойских кимберлитов) в этом случае должны прийти минералы метаморфических пород и кор выветривания.

Чрезвычайно интересен, сложен и еще совершенно не разработан вопрос о докембрийских первоисточниках алмазов. Их возраст в большинстве случаев определен методами абсолютной геохронологии. В связи с трудностью диагностики алмазоносных пород докембрия (особенно архейского и нижнепротерозойского времени), обусловленной их глубоким метаморфизмом, сведения о них весьма ограничены. Наиболее уверенно диагностированы коренные алмазоносные породы верхнего и среднего протерозоя (возраст 1100—1750 млн. лет), а более древние пока лишь предполагаются.

Состав и генезис первоисточников докембрийских алмазов наиболее уверенно можно прогнозировать, анализируя состав минералов-включений в древних алмазах. Работами Ц. Р. Лейте для Бразилии, С. Фукан для Индии и Б. Мейера с соавторами для Ганы и Венесуэлы было установлено, что в докембрийские алмазы включены те же минералы, что и в фанерозойские. Поэтому для докембрийских алмазов можно прогнозировать первоисточники, по минеральному составу аналогичные пироповым перидотитам, эклогитам и кимберлитам. Есть основание предполагать, что алмазоносными породами докембрия могут быть разнообразные эклогитовые породы. Ассоциации минералов, включенных в таких своеобразных разновидностях алмаза, как карбонадо и балласы, весьма специфичны и относятся не к ультраосновному, как у алмазов, а к кислотоу парагенезису. В них диагностированы халцедон, кварц, монацит и рутил, а также ортоклаз, гематит, галенит, флюоренсит, ильменит. Такой состав включений заставляет предполагать коровое происхождение этих разновидностей алмаза, образовавшихся, возможно, в процессе регионального метаморфизма. Таким образом, для докембрийских алмазов, в отличие от фанерозойских, следует прогнозировать более широкий состав пород-первоисточников алмазов от ультраосновного до основного, а возможно, и кислого состава.

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Научно обоснованные принципы и методика прогнозирования разработаны советскими геологами. За рубежом нет работ этого направления, есть лишь частные, касающиеся отдельных районов и месторождений.

Одним из первых научно обоснованных прогнозов следует считать прогноз В. С. Соболева и А. П. Бурова на обнаружение алмазов на территории Сибирской платформы. В результате проведенных в 1938 г. поисковых работ этот прогноз блестяще подтвердился находками алмазов. Впервые карта прогноза алмазности (она включала прогноз россыпной алмазности) была составлена в 1951 г. Г. Х. Файнштейном, который в те годы основное внимание уделял не поисковым критериям, а очередности поисковых и разведочных работ. В 1952 г. Е. Л. Бутаковой и А. П. Пуминовым была составлена карта прогноза алмазности с учетом известных к тому времени геологических и геоморфологических факторов. В плане прогноза россыпной алмазности была дана карта терригенных пород и геоморфологических критериев. Наиболее полно в период до открытия кимберлитов на Сибирской платформе методические положения по составлению прогнозных карт на алмазы были разработаны в 1954 г. сотрудниками ВСЕГЕИ под руководством И. И. Краснова и М. А. Гневушева. При прогнозировании учитывались элементы литологии — распределение грубокластических толщ как возможных коллекторов алмаза и минералов-спутников в этих толщах. Из элементов геоморфологии наносились современные области сноса и накопления, типы и формы рельефа, современные и древние речные долины. На карте были отражены генетические типы россыпей, указывались места обнаружения алмазов, данные поисково-разведочных работ и элементы прогноза. Комплект состоял из двух карт: одна была сделана на геологической основе с элементами геоморфологии долин, другая, выполненная в двух вариантах, — на плотной бумаге и на кальке, содержала основные критерии поисков россыпных месторождений алмазов.

В результате открытия кимберлитовых трубок в Сибири был получен новый материал, позволяющий по-новому разрабатывать принципы и методику прогнозирования россыпных алмазных месторождений. Так, М. А. Крутойским и др. (1966 г.) составлена карта, в основу прогнозов россыпной алмазности которой положен историко-геологический принцип, закономерности размещения россыпных месторождений выявлялись на основе геологического развития платформы во времени и пространстве. Этот тип прогнозирования фундаментально обобщен в работах А. Г. Дьякова, который учитывал минералогические, стратиграфические и литологические критерии прогноза россыпной алмазности. При определении очередности работ принимали во внимание ее экономический фактор. Геоморфологический фактор используется в совокупности с другими, но его не считают первостепенным, что по мнению автора неверно.

В результате проведения поисковых работ на алмазы возникла необходимость определить дальность переноса продуктов разрушения кимберлитов от первоисточников. Проведена серия работ по оценке дальности переноса минералов-спутников алмаза (Прокопчук и др., 1964; Л. А. Зимин, 1966 г.; А. Д. Харькив,

Б. Д. Черный, 1970 г.; М. И. Плотникова и др., 1969 г.; М. И. Плотникова, Н. Н. Сарсадских, 1970 г.). Критерии прогнозирования алмазных месторождений дополнены и углублены работами В. Е. Минорина и Б. С. Прасотки.

Большой вклад в разработку принципов прогнозирования россыпной алмазоносности внесли В. Ф. Кривонос, М. С. Кострюков, В. М. Гаращук, В. Н. Шукин, И. Н. Иванов, З. В. Осипова, В. В. Жуков и многие другие геологи.

До середины 60-х годов при оценке перспектив алмазоносности основное внимание уделялось принципам и методике составления прогнозных карт в мелком и среднем масштабах. В связи с требованиями алмазодобывающей промышленности появилась потребность в крупномасштабном прогнозировании.

В работах М. И. Плотниковой и др. (1968—1973 гг.) описаны принципы и методика составления средне- и крупномасштабных карт прогноза россыпной алмазоносности, а также методика составления прогнозно-металлогенических карт для разновозрастных отложений на палеогеографической основе. Учитывались следующие факторы россыпеобразования: климат, эрозионно-аккумулятивная деятельность рек, абразия и аккумуляция в прибрежных зонах, золотые процессы. В работах М. И. Плотниковой подчеркивается специфика крупномасштабных карт, выражающаяся в их комплексности. Совмещены коренная и россыпная алмазоносность, элементы неотектоники, магматизма, литологии, палеогеографических и палеогеоморфологических реконструкций. Разработана методика палеогеоморфологических исследований для поисков погребенных алмазных россыпей, определен комплекс методов, позволяющий выяснить закономерности размещения таких россыпей в связи с палеорельефом и определить их перспективы. Реконструированные палеогеографические данные — основа минералогенетических и прогнозных карт на погребенные россыпи алмазов.

Интересную работу провели З. А. Осипова и Е. И. Борис по прогнозированию россыпной алмазоносности. Ими составлены карты по разновозрастным эрозионным срезам. В основу положены детальные минералогические и стратиграфические исследования. Определенную роль в разработке крупномасштабного прогнозирования и поисковых признаков россыпной алмазоносности сыграла предложенная А. Д. Харьковым и Е. Д. Черным методика поисков перекрытых и погребенных месторождений по минералам-спутникам алмазов, которая основана на детальном изучении характера поверхности зерен пиропа и пикроильменита для направления сноса минералов-спутников. Вопросам крупномасштабного прогнозирования россыпной алмазоносности посвящены работы В. М. Гаращука и др.

Огромное значение имеют разработанные Н. В. Соболевым, Н. Н. Сарсадских, А. Д. Харьковым и др. минералогические критерии алмазоносности кимберлитов. Установлено, что истинные спутники алмазов — богатые хромом и бедные кальцием кноррингитовые гранаты, а также практически чистые хромиты. Обнару-

жение таких гранатов в рыхлых отложениях свидетельствовало об их алмазоносности.

На основании выявленных закономерностей и обобщения опыта принципы прогнозирования россыпных месторождений следующие.

1. Площади распространения редких находок алмаза в осадочных породах весьма обширны. Площади аномально повышенных содержаний алмазов, в которых могут присутствовать и россыпные месторождения, ограничены размерами алмазоносных кимберлитовых районов (россыпи ближнего сноса) или размерами зон, благоприятных в геолого-структурном отношении для формирования россыпей (россыпи дальнего сноса). Размеры зон, благоприятных для формирования россыпных месторождений, удаленных от коренных первоисточников на древних платформах, колеблются от 680 до 4350 км², в среднем 1500—2000 км².

2. Возраст кимберлитовых тел изменяется от докембрийского, среднепалеозойского до верхнемезозойского. Величина денудационного среза кимберлитовых пород 150—800 м, в среднем для алмазоносных районов 200—400 м. По величине среза коренных месторождений можно ориентировочно судить о запасах алмазов в россыпях, однако следует помнить, что большая часть алмазов могла быть вынесена и рассеяна на значительное расстояние. Более точно оцениваются запасы в россыпях, сформированных за сравнительно короткий период размыва коренных месторождений алмаза.

3. Удаленность россыпных месторождений разного генезиса от первоисточников различная. Россыпи в пределах кимберлитовых полей непосредственно примыкают к коренным месторождениям или протягиваются от последних на следующие расстояния: 1) делювиальные, делювиально-пролювиальные — сотни метров; 2) пролювиальные россыпи — до первых километров; 3) озерные — до 10 км с перерывами; 4) аллювиальные россыпи — от первых километров до первых десятков километров; 5) прибрежно-морские (пляжевые) до нескольких десятков реже нескольких сот километров. Аллювиальные или прибрежно-морские россыпи в зависимости от конкретных условий могут быть удалены от алмазоносных кимберлитовых полей на следующие расстояния: 1) аллювиальные россыпи — от 10—20 км до 800 км, в среднем 30—40 км, 2) прибрежно-морские россыпи на 100—400 км (ширина 50—300 м); для них характерно резкое колебание содержания алмазов на соседних участках (0,2—300 карата/м³, ЮАР, Намибия). Ширина озерных и морских пляжевых россыпей — первые метры до первых сот метров, при мощности 2—20 м. Это сложные россыпи с бедными слоями в разрезе. Мощность аллювиальных россыпей обычно 0,5—5 м, в среднем 2—3 м. Наблюдается обратная зависимость между содержанием алмазов в россыпи и мощностью аллювиальных галечников.

Факторы алмазоносности, которые должны учитываться при прогнозировании, приведены в предыдущих разделах работы.

Используя методический опыт прогнозирования (Г. П. Воларович и др., 1972 г.; Н. А. Быховер, 1971 г.) и известные критерии алмазоносности, можно наметить следующую схему подсчета прогнозных запасов. По известным месторождениям на основании изменения формы и размеров месторождений производится оценка неразведанной части (на фланги и глубину) россыпного месторождения. Среднее содержание алмазов экстраполируется на глубину и фланги с коэффициентом (всегда меньше 1), учитывающим закономерности изменения содержаний в изученной части месторождения. Прогнозные запасы оцениваются на глубину, доступную для эксплуатации, с учетом современных кондиций на разработку. На основании данных по сортности алмазов и стоимости одного карата алмазов определяется стоимость прогнозируемых запасов месторождения. При долгосрочном прогнозировании запасов, в связи с техническим прогрессом, снижением кондиций и увеличением цен на алмазы, оцениваются и месторождения, не имеющие в настоящее время промышленного значения.

По известным россыпным полям на основе описанных критериев появляется возможность прогнозирования промышленных запасов территории. На карте прогноза определяют площадь россыпного поля, количество известных и ожидаемых россыпей. По имеющимся данным и известным критериям, учитывающим общий уровень алмазоносности, наличие благоприятных структурных, литологических и геоморфологических условий, подсчитывают вероятное количество ожидаемых промышленных россыпных месторождений. По известным полям определяют средние размеры предполагаемых россыпей различных генетических типов. Среднее содержание по прогнозируемым россыпям принимается исходя из установленных кондиций для открытой и дражной разработки известных аналогичных месторождений. По имеющимся для россыпного поля данным определяют сортность алмазов, среднюю стоимость одного карата, полученные результаты используют наравне с оценкой среднего содержания для определения стоимости прогнозных запасов алмазов и их промышленной значимости. Подсчитанные общие прогнозные запасы корректируют путем сравнения с аналогичными отработанными, детально разведанными месторождениями и хорошо изученными россыпными полями. Общие прогнозные запасы складываются для россыпных полей из прогнозных запасов по отдельным известным и ожидаемым месторождениям, а для районов — из запасов россыпных полей.

По алмазоносным районам, в которых промышленных месторождений еще не известно, прежде всего устанавливают принципиальную возможность обнаружения промышленных месторождений. Дальнейшую количественную оценку прогнозных запасов осуществляют по аналогии с районами, характеризующимися сходными геолого-структурными, геоморфологическими, минералогическими и прочими условиями. Оценка прогнозных запасов по россыпям дается очень осторожно, с коэффициентом достоверности 0,1—0,5 (на этот коэффициент умножают запасы алмазов принятого за

эталон хорошо изученного района). Надежность такой оценки прогнозных запасов невысокая.

Прогнозные запасы по россыпям областей складываются из запасов алмазов, подсчитанных для известных и ожидаемых алмазоносных районов.

ПРОГНОЗНЫЕ КАРТЫ

Содержание, характер и количество карт при прогнозировании алмазных россыпей определяется масштабом, поскольку цели прогнозирования в неодинаковых масштабах различные.

Региональные прогнозные карты мелкого масштаба (1 : 1 500 000 и 1 : 500 000) составляют для крупнейших алмазоносных регионов. Задача мелкомасштабного прогнозирования провинций, их крупных частей на россыпные алмазы — выделение территорий, в пределах которых возможно обнаружение россыпных районов и полей.

В комплект обязательных карт прогноза должны входить карты структур фундамента, структур осадочного чехла, магматических комплексов для эпох кимберлитобразования, геоморфологическая, алмазоносности, районирования и прогнозная.

Для карты прогноза м-ба 1 : 500 000 комплект карт значительно больше. Составляются карты: изученности и фактического материала; гравитационного поля; магнитного поля; структур кристаллического фундамента; магматизма и структур платформенного чехла; палеотектонические схемы по эпохам кимберлит- и россыпеобразования с элементами палеогеографии; алмазоносности на геологической основе; критериев прогноза, районирования, прогнозов и рекомендаций по направлению работ. Карта прогноза россыпной алмазоносности составляется совместно с картой прогноза коренной.

Прогнозные карты м-ба 1 : 200 000 служат для прогнозирования внутри россыпных районов. По ним с помощью отображения и анализа соответствующих критериев выделяются участки, перспективные для обнаружения алмазных россыпей. В комплект карты прогноза входят карты изученности и фактического материала; алмазоносности на геологической основе с набором геолого-геофизических разрезов, четвертичных отложений с элементами геоморфологии; палеогеографические на эпохи россыпеобразования и опорные разрезы с реставрацией эродированных структур; шлихо-минералогические и прогнозов. В этом масштабе карта прогноза россыпной и коренной алмазоносности дается совместно.

Крупномасштабные карты прогноза (м-бов 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000) предназначены для узколокального прогнозирования; составляют их для отдельных участков промышленных районов или для районов, которые в ближайшее время могут быть введены в промышленную разработку. В комплект карт м-ба 1 : 50 000 должны обязательно входить карты: алмазоносности на геологической основе; литолого-палеогеографические с корами выветривания, ал-

мазоносностью и минералами-спутниками алмаза; опорные разрезы с реставрацией эродированных структур; четвертичных отложений с элементами геоморфологии; прогнозов и направления и объемов поисковых работ.

В комплект карт м-бов 1:25 000 и 1:10 000 входят следующие карты: фактического материала; палеогеографические; структурно-литологические, кимберлитообразования и основных уровней захоронения алмазов со специальной нагрузкой (минералогической и др.), а также набор разрезов с реставрацией эродированных структур и элементами прогноза, рудоконтролирующих признаков и прогнозов с выделением локальных площадей, перспективных для нахождения россыпи месторождений алмазов.

Необходимо отметить, что россыпные месторождения определенных масштабов по содержанию и сортировке алмазов присущи только определенным типам отложений и геолого-геоморфологическим обстановкам. Поэтому прогнозирование необходимо проводить отдельно для каждого типа россыпей, ставить перед собой цель поисков месторождений того или иного масштаба, так как критерии прогноза их различны.

ОСОБЕННОСТИ ПОИСКОВ И МЕТОДЫ
ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Ввиду небольшой величины кристаллов алмаза и незначительного содержания их в месторождениях (доли процента по отношению к вмещающей породе) необходима точная методика определения и извлечения алмазов. В массе породы алмазы незаметны, и если порода недостаточно отмыта, то их легко пропустить. Плотность алмаза (3,5) мало отличается от плотности породообразующих минералов. Поэтому нужны надежные методы обогащения алмазоносных пород, чтобы при незначительной разнице плотности выявить немногочисленные мелкие кристаллы, содержащиеся в тоннах исходной породы.

Для того чтобы установить алмазоносность отложений, приходится брать большие пробы. Объем проб зависит от содержания и крупности зерен алмаза. Объем пробы, необходимой для обнаружения одного зерна алмаза, определяют формулой

$$P = K \frac{d}{c},$$

где P — определяемый объем пробы, м³; d — установленная по большому числу кристаллов, средняя масса кристалла алмаза для данного района, мг; c — среднее содержание алмазов в данном районе, мг/м³; K — коэффициент, зависящий от степени надежности определения массы алмазов. Коэффициент K изменяется от 1 до 2 (Буров, 1952). Данными поисково-разведочных работ на месторождениях СССР подтверждена правильность указанной формулы.

Для алмазов характерны чрезвычайно широкие ореолы рассеивания. Алмазы могут переноситься на многие сотни километров от первоисточников. Поэтому поиски россыпных месторождений по россыпным ореолам рассеивания алмазов очень трудоемки и мало перспективны. Изучение изменения средней массы алмаза и их морфологических особенностей способствует обнаружению алмазов. Отсутствие у алмазов магнитных, радиоактивных и других свойств, отличающих его от вмещающих пород, весьма ограничивает применение прямых геофизических методов при поисках месторождений алмазов. Эти методы используют только при оконтуривании алмазоносных россыпей, установлении глубины их залегания и мощности продуктивного горизонта.

Незначительную роль при поисковых работах играет бурение. С помощью бурения оконтуривают россыпи и изучают условия их залегания. Опробование россыпей проводится проходкой горных выработок.

Основные методы поисковых работ на алмазы следующие: шлиховое опробование, отбор проб на протолочку, обломочно-речной метод, мелкообъемное опробование, крупнообъемное опробование, маршрутные геолого-геоморфологические исследования, аэрометоды, геофизические исследования.

ШЛИХОВОЕ ОПРОБОВАНИЕ

Шлиховое опробование — один из основных методов при поисках алмазных месторождений. Он предназначен для определения минералов-спутников алмаза, установления ореолов их рассеяния и решения ряда общегеологических вопросов, связанных с установлением источника и путей сноса рыхлого материала, выявления благоприятных минералогических ассоциаций и др. Представленные задачи определяют специфику шлихового опробования при поисках алмазов.

Для отдельных крупных регионов, различных по геологическому строению и, возможно, генезису месторождений алмазов, шлиховое опробование имеет свои особенности. Примером могут служить алмазоносные провинции Советского Союза — Уральская и Сибирская.

Методика шлихо-минералогического анализа была разработана и успешно применена А. А. Кухаренко (А. А. Кухаренко и др., 1953 г.). Основной принцип этой методики — изучение количественного минерального состава тяжелой фракции рыхлых мезо-кайнозойских и более древних отложений алмазоносных районов, на основании чего делалось заключение об источниках и путях сноса материала отдельных россыпей, выявлялись благоприятные шлихо-минералогические ассоциации в различных алмазоносных районах. Так как в исследуемом районе парагенетических минералов-спутников алмаза (пироба, пикроильменита) не обнаружено, при шлиховом опробовании выделялись минералы, наиболее часто встречающиеся в россыпях вместе с алмазами и характерные для ультраосновных пород платиноносной формации: хромшпинелиды, платина, осмистый иридий, ильменит, циркон, ставролит.

В первые годы поисковых работ эту методику применили на Сибирской платформе. Однако положительных результатов получено не было. Лишь в 1953 г. Н. Н. Сарсадских и Л. А. Попугаевой были встречены парагенетические минералы-спутники алмаза, характерные для кимберлитов: пикроильменит и пироп. С этого времени главной задачей шлихового опробования стали констатация и определения ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза. С установлением парагенетических спутников алмаза эффективность поисков алмазов с помощью шлихового опробования резко возросла.

Методики отбора и промывки шлиховых проб, а также полевого и лабораторного анализа при шлиховом опробовании на алмазы отличаются характерными особенностями. Методика отмычки

шлиховых проб следующая. Очень осторожно промывают на лотках или в ковшах 10—20 л исходного материала до так называемого серого шлиха. Осторожная и тщательная промывка необходима для того, чтобы избежать потери минералов-спутников алмазов, плотность которых сравнительно небольшая (3—3,5). Труднопромываемые пробы еще на первой стадии промывки должны быть полностью освобождены от глинистого материала отмучиванием. Это значительно сократит потери тяжелых минералов.

В Сибири применяют и другой метод отбора шлиховых проб, который назван пироповой съемкой (Сарсадских, 1958_{1, 2}). Материал пробы массой 40—50 кг рассеивается под струей воды на ситах с отверстиями 2 и 1 мм. Чтобы не потерять материал мельче 1 мм, рассев проводят над брезентом. Из минерала крупностью —2 +1 мм отбирается проба массой 1—2 кг, в которой подсчитывают число зерен пироба.

Материал мельче 1 мм домывают в лотках или в ковшах. Следует сказать, что этот метод отбора шлихов не получил широкого применения и использован был в районах, где отсутствуют промежуточные коллекторы алмазов, кимберлиты содержат пироп.

Отбор шлиховых проб из отложений различных генетических типов характеризуется некоторыми особенностями.

При шлиховом опробовании *русловых отложений* в первую очередь необходимо изучить элементы русла, благоприятные для максимальной концентрации материалов тяжелой фракции. Как показали многочисленные экспериментальные (Н. В. Разумихин, А. Н. Имшенецкий и др.) и поисковые работы (А. А. Кухаренко, А. Г. Дьякова, Б. И. Прокопчук и др.), наибольшие концентрации алмазов, их минералов-спутников и других минералов тяжелой фракции в русле приурочены к концу плёсовых участков на стыке их с перекатами и в центре плёсовых лощин. В поперечном сечении русла повышенные содержания алмазов наблюдаются в прибрежной части потока, где отлагается более крупный аллювий. На косах различной формы концентрация алмазов также неодинакова. Специальные работы, проведенные на территории Сибири, позволили выделить четыре типа кос (см. рис. 18).

Кроме закономерностей концентрации минералов, связанных с морфологией русла, при выборе места опробования следует учитывать гранулометрический состав аллювия, его мощность, литологию плотика и другие факторы. При прочих равных условиях участки, сложенные более грубообломочным материалом, характеризуются большей концентрацией минералов тяжелой фракции, в том числе и минералов-спутников алмаза (Б. И. Прокопчук и др., 1967 г.). Отмечено, что маломощный аллювий (1—2 м) обогащен алмазами больше, чем аллювий значительной мощности. Это связано с большей степенью его обработки, а отсюда и с большим выносом легких компонентов.

Огромное влияние на концентрацию алмазов в россыпях имеет литология плотика. Плотик, сложенный закарстованными породами и плотными слоистыми породами, создающими щетки и реб-

ристость, способствует улавливанию алмазов. Отмечена особая роль известняков, слагающих плотик. На известняках образуется своеобразный подрусловый элювий, представленный вязкими глинами — хорошими уловителями алмазов. Алмазы и их минералы-спутники проникают сквозь толщу аллювия, задерживаются в глинах и далее не переносятся.

Все перечисленные закономерности концентрации минералов-спутников необходимо учитывать при выборе места для отбора шлиховой пробы.

Шлиховое опробование русловых отложений проводят обычно снизу вверх по реке. Опробуют аллювий основной реки и ее крупных и мелких притоков. Визуальный просмотр шлихов проводят непосредственно при промывке. Очень тщательно ведут документацию шлихов: указывают место взятия пробы, описывают геоморфологическую обстановку, гранулометрический и петрографический составы аллювия, характер плотика, режим реки, при котором отобран шлик (межень, паводок) и др. Все это необходимо, чтобы сравнить шлихи, отобранные на большой площади, а также для установления местонахождения первичных источников и промежуточных коллекторов.

В настоящее время существуют самые разнообразные суждения о дальности переноса рекой минералов-спутников алмаза. Это объясняется недостаточной изученностью вопроса, а также тем, что одни исследователи опирались на визуальные и предварительные наблюдения, вторые не учитывали возможности влияния других источников минералов-спутников на определенных участках русла, третьи сравнивали состав шлихов, отобранных из различных элементов русла, и т. д. Специальные работы были проведены А. Д. Харьковым, Б. И. Прокопчуком, М. С. Кострюковым и Н. М. Королевой, А. А. Зиминым и др. Этими работами установлено, что минералы-спутники алмаза встречаются в руслах рек в значительных количествах лишь на расстоянии 20—40 км от первоисточников. Причем начиная от кимберлитовой трубки содержание и размеры зерен постепенно уменьшаются, а в 20—40 км от трубки встречаются лишь их единичные зерна. Из спутников алмаза наиболее легко разрушаются хромдиопсид и оливин, затем пироп, самый транспортабельный — пикроильменит.

Детальными исследованиями минералов-спутников алмаза установлено, что по характеру износа и окатанности можно примерно указать, как далеко находится первоисточник (кимберлит). Так, например, пироп с келифитовой каймой сохраняется только в непосредственной близости от кимберлитовых тел, пироп со скульптурами на поверхности зерен встречается не далее 30—50 км от размываемой рекой кимберлитовой трубки; пироп оранжевого цвета быстрее разрушается в процессе транспортировки, чем пироп винно-красного цвета.

Б. И. Прокопчук (Прокопчук и др., 1964) изучал сохранность пироба в зависимости от условий его транспортировки. Для этого были отобраны зерна пироба из кимберлита, элювия кимберлитов,

делювия из отложений мелких ложек, размывающих кимберлитовую трубку, и русловых отложений. Автор пришел к следующим выводам.

1. Присутствие зерен пироба с келифитовой оболочкой наиболее точный признак того, что кимберлитовое тело находится поблизости, так как в процессе транспортировки оболочка истирается. Единичные зерна с келифитовой оболочкой встречаются не далее 10 км от места расположения трубки.

2. Наличие зерен пироба со скульптурной поверхностью также свидетельствует о том, что кимберлиты расположены недалеко. В элювии и делювии кимберлитов скульптуры сохраняются без изменения, во временных водотоках и в русловых отложениях рек скульптуры сглаживаются уже на протяжении первых 8—10 км и исчезают на расстоянии 40 км от кимберлитовой трубки.

3. Подтверждается близкое расположение кимберлитовых тел и присутствием округлых трещиноватых зерен пироба. Трещиноватые зерна пироба полностью разрушаются на расстоянии 35—50 км от кимберлитовой трубки.

4. Количество пироба в русле реки, размывающей трубку, уменьшается по мере удаления от нее. На расстоянии 50—60 км влияние кимберлитовой трубки не сказывается. Здесь содержатся лишь единичные знаки пироба.

5. Наиболее крупные пиробы встречаются в кимберлитовых трубках. В результате физического выветривания в элювии зерна пироба разрушаются по микротрещинам. Этот процесс в делювии усиливается. В аллювии вниз по течению реки вследствие истирания и дробления величина зерен еще более уменьшается.

6. Наименее устойчив в аллювии пироп оранжевого цвета. Его содержание вниз по течению реки по сравнению с другими разновидностями пироба равномерно уменьшается.

7. В кимберлите преобладают зерна пироба округлой формы. В элювии и делювии количество их резко сокращается, так как округлые трещиноватые зерна раскалываются. В русле первичные округлые зерна встречаются только на расстоянии до 40 км от трубки, причем их становится все меньше и меньше вниз по течению.

Таким образом, только обнаружение зерен пироба округлой формы, особенно с келифитовой оболочкой, может свидетельствовать о том, что кимберлитовое тело расположено недалеко. Не следует смешивать такие зерна с округлыми, возникшими в результате аллювиального износа. Изменения пикроильменита в процессе транспортировки изучались М. И. Плотниковой и Н. Н. Сарсадских. Для пикроильменита, который характеризуется значительно меньшей трещиноватостью, чем пироп, установлена другая схема изменения зерен. В процессе переноса они раскалываются меньше и нередко сохраняют свою первоначальную форму даже на значительном расстоянии от первоисточника. Благодаря этому размер и средняя масса зерен после осаждения наиболее крупных из них вблизи первоисточника уменьшаются не так резко, как у пироба.

О дальности переноса пикроильменита можно судить, тщательно наблюдая, как изменяется первичная шагреновая поверхность зерен, как она стирается и появляется сравнительно гладкая поверхность.

Прослеживая изменение содержания пикроильменита в русловом аллювии от места поступления его из делювиально-солифлюкционного шлейфа (1,5—2 км от трубки) установлено, что зерна пикроильменита крупных классов (свыше 0,5 мм) в основном оседают и переходят в мелкие классы на расстоянии около 30 км. При изучении формы и степени сохранности зерен пикроильменита в классе 1—0,5 мм в трех пробах на исследуемом отрезке реки в непосредственной близости от трубки целых округлых зерен обнаружено до 55%, причем на большей части поверхности зерен сохранились следы магматической резорбации. Вниз по течению реки количество целых округлых зерен со следами резорбации сильно снижается, рельеф поверхности становится сглаженным.

Только при очень тщательном исследовании минералов-спутников алмаза можно оконтурить площадь с месторождением первоисточников. Все это необходимо учитывать при отборе шлиховых проб. Густота отбора шлиховых проб из русловых отложений зависит от масштаба поисковых работ.

Шлиховое опробование *террасовых и пойменных* отложений проводится в значительно меньших объемах, чем русловых. При маршрутных поисках и мелкомасштабной съемке опробуются только естественные обнажения аллювия, при детальном поисках и крупномасштабной съемке для вскрытия галечников и отбора шлиховых проб находят горные выработки. И в первом, и во втором случаях выбор места отбора шлиховых проб имеет важное значение. В первую очередь необходимо опробовать приплотиковые части аллювия, наиболее обогащенные тяжелой фракцией. При значительной мощности аллювия и однородности гранулометрического его состава шлиховые пробы отбирают поинтервально через 1—2 м. При наличии в аллювии слоев различного гранулометрического состава шлиховые пробы отбирают послойно. В связи с тем что обнаженность террасовых отложений обычно слабая, все естественные выходы террасового аллювия расчищают, тщательно изучают и опробуют достаточным числом шлиховых проб.

В районах, где террасовый аллювий не обнажен, для изучения его используют горные выработки. Наиболее целесообразно вскрывать аллювий в центральной части террасовых площадок, где, как правило, сохранены более полные разрезы отложений.

При шлиховом опробовании разновозрастных террас на различных участках необходимо сравнивать состав аллювия в разных пунктах опробования. В связи с меньшим содержанием тяжелой фракции масса шлиховых проб при опробовании террасовых отложений должна быть больше, чем масса проб из русловых отложений в 2—3 раза (40—60 л).

Шлиховое опробование склоновых образований проводится в том случае, когда опробование русловых отложений указывает на привнос алмазонасного материала со склонов, а также при проверке геофизических аномалий трубочного типа и детальных площадных съемках и поисках. Оно ведется по общепринятой методике опробования склонов при поисках других полезных ископаемых. Специфические особенности сводятся к следующему. Опробование следует производить вдоль подножий склонов с интервалом в 100—200 м. При выборе места взятия шлиховых проб на склонах необходимо обращать внимание на расположение делей и зернистость опробуемого материала. Следует по возможности отбирать материал непосредственно из делей и отдавать предпочтение зернистому (перемытому), а не глинистому материалу. Объем материала для промывки должен быть не меньше 20—30 л, так как в составе склоновых отложений содержится большое количество глинистого материала, а минералы-спутники алмаза не успевают сконцентрироваться в определенных горизонтах делювия и рассеяны по всему разрезу этих образований. В большинстве случаев на месте взятия шлихов нет благоприятных условий для промывки, из-за чего приходится транспортировать материал к близлежащим водотокам. Поэтому отбор проб следует проводить последовательно по линиям и следить за тем, чтобы пробы в процессе транспортировки не были перепутаны, а тара, в которой они транспортируются, была чистой.

Для обнаружения кусочков кимберлита при промывке проб необходимо изучать все обломки. Шлихи рассматривают визуально сразу же после отмывки с целью обнаружения минералов-спутников алмаза. На полевые планы и карты наносят визуальные находки минералов-спутников алмаза и ими руководствуются при дальнейших поисках. Места взятия шлиховых проб следует наносить непосредственно в поле на визуальные планы или аэрофотоснимки, на местности они фиксируются номерными колышками и затесами.

Шлиховое опробование *эллювиальных отложений* проводится на участках, выделенных в результате опробования склонов, или на кимберлитовых трубках. В первую очередь целесообразно провести послонное опробование элювия на всю его мощность. Для этого используют старые горные выработки или задают новые. В результате опробования должны быть выделены участки максимального обогащения минералами-спутниками алмаза. Расстояния между точками отбора шлихов устанавливают в зависимости от характера и размеров опробуемого объекта. Шлиховые пробы отбирают по редкой сетке или же берут из отдельных разностей породы, различающихся по вещественному составу, структуре и текстуре. Из каждой разности следует взять по две-три пробы в разных частях опробуемого объекта.

Особенности шлихового опробования древних рыхлых отложений следующие: в первую очередь в естественных обнажениях опробуют материал наиболее крупного гранулометрического состава,

затем все остальные фации древних обломочных отложений, выходящих на дневную поверхность. В случае обнаружения минералов-спутников алмаза нужно установить их пространственное распространение. Для этого в зависимости от масштаба работ в некоторых местах вскрывают горизонты, лежащие близко к поверхности (под элювием, делювием), и провести их шлиховое опробование. Кроме того, в ряде точек необходимо взять объемные шлихи (0,1—0,3 м³) из наиболее интересных отложений для определения содержания отдельных минералов-спутников.

Шлиховое опробование на алмазы отличается еще и тем, что в полевых условиях шлихи в процессе отмытки осматривают визуально. При этом определяют минералы-спутники алмаза, в первую очередь пироп и хромдиопсид. Для этого следует снабдить коллекцией этих минералов работников, проводящих шлиховое опробование. Кроме того, часть шлихов при промывке должен просмотреть более квалифицированный специалист (геолог, начальник отряда). По возвращении из маршрута шлихи просушивают и наиболее интересные из них просматривают вторично. При этом необходимо обращать внимание на размеры минералов-спутников, их морфологию, окатанность и другие признаки, которые могут указать на близость первоисточников и промежуточных коллекторов.

Данные визуального изучения шлихов ежедневно наносят на полевые шлиховые карты и сопоставляют с данными геолого-геоморфологических наблюдений. Легенды карт могут быть разнообразными, на карте должны быть нанесены место взятия шлиха, тип опробованных отложений, примерное количественное содержание (много, мало, в единичных знаках) тех или иных минералов-спутников алмаза, их размеры и окатанность.

Своевременная лабораторная обработка шлихов играет очень важную роль при поисках алмазов, поэтому следует организовать полевую шлиховую лабораторию. Опытом работ доказано, что в отдельных поисковых отрядах, ведущих работы далеко от полевых и основных баз, целесообразно организовать лабораторию в составе инженера-минералога и одного техника. Такая лаборатория очень подвижна и не обременяет мобильные поисковые отряды. За полевой сезон в ней можно обработать 400—600 шлихов, что соответствует объему шлихов, отбираемому поисковыми отрядами. Подобная полевая лаборатория оказывает неоценимую услугу, так как результаты просмотра шлихов помогают направлять дальнейшие поиски. В полевой лаборатории при просмотре шлихов необходимо обращать внимание главным образом на минералы-спутники алмаза. В том случае когда несколько поисковых отрядов работают поблизости или существуют удобные пути сообщения, целесообразно организовать более крупную шлиховую лабораторию, обслуживающую несколько отрядов. Детальный анализ шлиховых проб проводят на базах экспедиции или крупных партий.

Массовый отбор шлихов при поисках алмазов приводит к тому, что полному минералогическому анализу подвергаются не все шли-

Т И П Ы О Т Л О Ж Е Н И Й

- Р Русловые отложения
 Т Террасовые отложения
 Э Элювиально-делювиальные отложения
 П Протолочки коренных пород

I. Минералогический состав тяжелой фракции шлиха (по данным полуколичественного анализа навески ~ 6 г)

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Магнетит (черный) | <input type="checkbox"/> Элидот (малиновый) |
| <input type="checkbox"/> Пироксен (монокл. ромбич.) (темно-зеленый) | <input type="checkbox"/> Циркон (желтый) |
| <input type="checkbox"/> Ильменит (синий) | <input type="checkbox"/> Рутил (темно-коричневый) |
| <input type="checkbox"/> Гранаты (красный) | <input type="checkbox"/> Перовскит (светло-коричневый) |
| <input type="checkbox"/> Оливин (зеленый) | <input type="checkbox"/> Барит (серый) |
| <input type="checkbox"/> Амфибол (травянисто-зеленый) | <input type="checkbox"/> Пирит (темно-желтый) |
| <input type="checkbox"/> Хромит (фиолетовый) | <input type="checkbox"/> Силлиманит (коричневый) |
| <input type="checkbox"/> Лимонит (оранжевый) | <input type="checkbox"/> Турмалин, ставролит, кианит, шпинель (голубой) |
| <input type="checkbox"/> Аксессуары < 1% каждый | <input type="checkbox"/> Хромдиопсид (изумрудно-зеленый) |

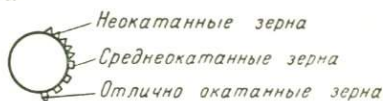


Диаграмма среднего состава тяжелой фракции участка

Изображение степени окатанности шлиха на диаграмме среднего состава

II Выход тяжелой фракции

- < 0,5 кг/м³ (1мм)
- 0,5-1 кг/м³ (2мм)
- 1-10 кг/м³ (4мм)
- > 10 кг/м³ (6мм)



III Шлихо-минералогические ассоциации

- Оленекская амфибол < ильменит < гранат & пироксеновая (желтый)
- Ассоциация, свойственная отложениям междуречий (Мз? возраста) - циркон < элидот & ильменит < гранатовая, местами с амфиболом и пироксеном (зеленый)
- Кимберлитовая магнетит < лимонит & пироксен < ильменитовая с цирконом, гранатом, перовскитом, хромдиопсидом (фиолетовый)
- Ассоциация, свойственная карбонатным породам среднего и верхнего кембрия, ильменит & пироксен & магнетитовая с цирконом и гранатом (синий)

IV Минералы - спутники алмаза

Пироп красный	Хромдиопсид изумрудно-зеленый	Пикроильменит синий	Перовскит светло-коричневый	Ед знаки (до 10 зн) Знаки (< 1%) Мало (1-10%) Средне (10-50%) Много (50-90%)
------------------	----------------------------------	------------------------	--------------------------------	--

V Проявление полезных ископаемых в шлихах

- ☆ Алмаз (колво кристаллов цифрой)
- Галенит (от 1 до 3 знаков)
- ◇ Корунд (от 1 до 10 знаков)
- Золото (от 1 до 3 знаков)
- ☼ Молибденит (1 знак)

VI Обозначения для геологической основы

- Галечники IV террасы р. Оленек (оранжевый)
- ⊙ Кимберлитовые трубки (фиолетовый)
- ⊖ Линзовидные кимберлитовые тела (фиолетовый)
- Карбонатные породы верхнего кембрия (светло-сиреневый)
- Карбонатные породы среднего кембрия (сиреневый)
- ⊖ Линии тектонических разрывов (красный)

Рис. 46. Условные обозначения к шлиховой точечной карте при поисках алмазных месторождений. По Б. И. Рыбакову (1962)

хи. Практикой доказано, что для общей минералогической характеристики отложений района поисков достаточен анализ 15—20% общего числа проб, равномерно распределенных по площади и характеризующих все типы отложений. Остальные пробы просматриваются только на обнаружение минералов-спутников алмазов.

Все или часть шлихов в зависимости от поставленных задач должны быть изучены по следующему плану: количественное содержание тех или иных минералов-спутников алмазов, размер их зерен, характер поверхности зерен, их окатанность, характер площадного распределения различных цветных разностей и минералов-спутников (в особенности пироба). С этой целью необходимо составлять сводные таблицы.

При решении поисковых задач очень важно провести правильный анализ данных шлихового опробования. Для этого лучше всего применить картографический способ отображения полученных результатов. В камеральных условиях по результатам полевого и лабораторного анализа шлихов составляют шлиховую карту, как правило, на основе схематизированной геологической карты. Выделяются следующие типы шлиховых карт: качественные, количественные и фоновые.

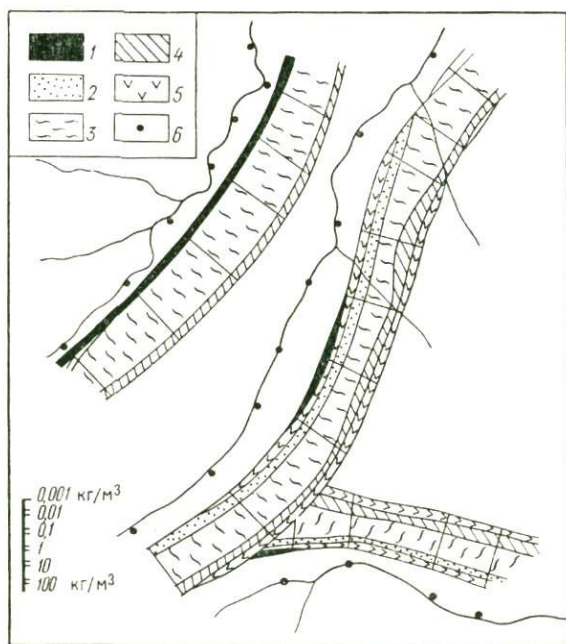


Рис. 47. Схематическая шлиховая карта ленточного типа.

1 — ильменит; 2 — пироксен; 3 — гранат; 4 — эпидот; 5 — барит; 6 — точки наблюдения

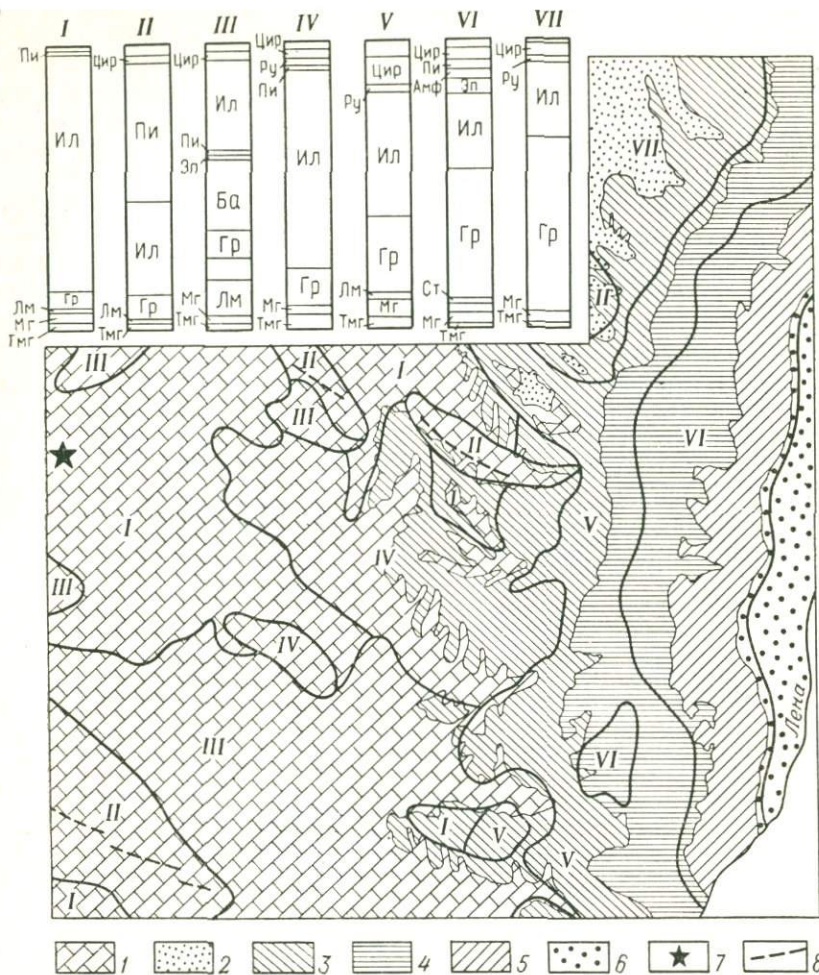


Рис. 48. Площадная шлиховая карта (упрощенная схема) части Сибирской платформы.

1 — карбонатные отложения Сп; 2 — песчаные отложения Р; 3 — алеврит-песчано-глинистые отложения J₁; 4 — песчано-алеврит-глинистые отложения J₂; 5 — песчано-алевритовые отложения J₃; 6 — песчаные отложения Сг; 7 — кимберлитовая трубка; 8 — дайки долеритов.

Минералогические провинции: I — ильменитовая, II — ильменит-пироксеновая, III — лимонит-барит-ильменитовая, IV — гранат-ильменитовая, V — циркон-гранат-ильменитовая, VI — эпидот-ильменит-гранатовая, VII — ильменит-гранатовая. Минералы: Амф — амфибол, Ба — барит, Гр — гранит, Ил — ильменит, Лм — лимонит, Мг — магнетит, Пир — пироксен, Пт — пирит, Ру — рутил, Ст — ставролит, Сф — сфен, Тит — титаномагнетит, Цир — циркон, Эп — эпидот

Наиболее просты карты качественного состава шлихов. На них значками или буквами отмечают наличие тех или иных минералов-спутников алмаза. Количественные карты в зависимости от способа обозначения содержания минералов можно разделить на точечные и ленточные. Примером точечной карты может служить карта, предложенная для Сибирской платформы Б. И. Рыбаковым.

На ней на геологической основе показаны в виде круговых диаграмм (рис. 46) все минералы, содержащиеся в количествах от 1% и выше. Кроме того, в точке опробования приведены средний выход тяжелой фракции шлиха, содержание минералов-спутников алмаза и их окатанность. На ленточной карте содержание в шлихах минералов-спутников, а в некоторых случаях и других минералов, показывают линией (лентой) вдоль русла, по которому взяты шлихи. Различная окраска лент позволяет наносить содержания нескольких минералов. Примером (рис. 47) может служить карта, предложенная Н. Н. Сарсадских (1958₁). Примером синтеза ленточной и точечной карт является карта, предложенная М. А. Крутойарским. За основу изображения на этой карте принята процентно-весовое содержание минералов тяжелой фракции в единице объема опробованных русловых отложений, для чего содержание отдельных минералов тяжелой фракции в шлиховых пробах пересчитывают в килограммы на кубический метр аллювия. Процентные соотношения главных минералов наносят на карту в логарифмическом масштабе в виде лент вдоль русла. Изменение ширины полос указывает на изменение содержания того или иного минерала, второстепенные и редкие минералы (в том числе минералы-спутники алмаза) обозначены цветными или заштрихованными прямоугольниками, вещественный состав тяжелой фракции коренных пород и террасовых образований — круговыми диаграммами.

Фоновые карты отличаются от предыдущих тем, что на них условными знаками наносят ассоциации количественно преобладающих минералов (фон шлиха), а особыми знаками — количественное содержание минералов-спутников алмаза и некоторые их характерные особенности (окатанность, цвет). Фоновые карты разделяются на ленточные и площадные в зависимости от сведений о составе шлихов только вдоль русел рек или всех территорий района. Примером фоновых ленточных карт могут служить карты, которые составили В. И. Немец, А. А. Горбунов и др. На рис. 48 приведена площадная фоновая карта, составленная В. М. Сергиенко, Б. И. Прокопчуком (1964) для части Сибирской платформы.

Карты качественного состава можно составлять при предварительном полевом изучении шлихов. Количественные карты рациональны при поисках алмазов в районах, где отсутствуют промежуточные коллекторы алмазов. Фоновые карты наиболее целесообразны для районов, в которых есть разновозрастные промежуточные коллекторы алмазов.

Итак, только соблюдение правил всех операций шлихового опробования, начиная с выбора места отбора пробы и кончая камеральной обработкой материала, может привести к правильному заключению о местонахождении источника алмазов.

ОТБОР ПРОБ НА ПРОТОЛОЧКУ

Для определения минерального состава древних пород и обнаружения минералов-спутников алмаза необходимо взять пробы на протолочку, чтобы получить искусственные шлихи.

Для протолок из конгломератов и гравелитов отбирают обломки, в которых преобладает цемент. Перед отбором пробы необходимо внимательно осмотреть породы. В местах наибольшего развития цемента отбирается проба массой 5—20 кг.

Результаты анализа протолок обычно наносятся на карту в виде гистограмм, на которых указывают тип опробованных пород и присутствие в пробах тех или иных минералов-спутников алмаза, того или иного минерала.

ОБЛОМОЧНО-РЕЧНОЙ МЕТОД

Обломочно-речной метод при изучении и поисках алмазных россыпей применяется широко. Он заключается в прослеживании галек кимберлита, галек и обломков пород, по которым можно восстановить направление сноса алмазоносного материала.

Кимберлиты — нестойкие породы. Они разрушаются уже в элювии и делювии. Обломки кимберлита в руслах рек встречаются только там, где реки размывают кимберлитовые тела. Но даже в этих случаях обломки кимберлита переносятся не далее 5—10 км. В Сибири прослежен разнос кимберлитов от одной трубки. Эта трубка размывается рекой, ширина русла которой 40—50 м, а расход водного потока от 10 м³/с (в межень) до 300 м³/с (в паводок). Скорость течения реки 1—2 м/с.

Непосредственно около трубки в русле обнаружены глыбы кимберлита размером 20×30×50 см. Их содержание достигает 5—7% от общей массы аллювия. На расстоянии 500 м от трубки обломки такого размера встречаются редко, а гальки кимберлита составляют до 1,05% от общей массы аллювия. Далее количество гальки постепенно уменьшается, на расстоянии 5 км от кимберлитовой трубки она встречается в единичных экземплярах, а на расстоянии 10 км ее можно найти после длительных и тщательных поисков. На расстоянии 15 км после тщательных поисков ни гальки, ни гравия кимберлитов не обнаружено (рис. 49). Таким образом, находки кимберлита в аллювии могут свидетельствовать о наличии алмазов в россыпях. Однако такое предположение не всегда подтверждается, так как большинство кимберлитов алмазов не содержит.

Обломочно-речной метод используется и для установления степени участия промежуточных коллекторов в россыпях различного возраста дальности переноса алмазоносного материала, определения местонахождения первоисточников (Прокопчук, Скосырев, 1974).

При изучении аллювиальных отложений рек составлена карта петрографического состава обломочного материала (рис. 50). На ней выделено 20 петрографи-

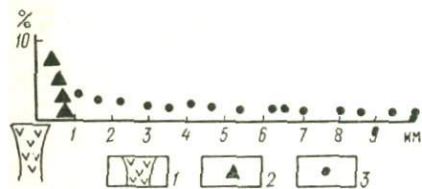


Рис. 49. График дальности переноса обломков кимберлитов речным потоком.

1 — кимберлитовая трубка; 2 — валуны и крупные обломки кимберлитов; 3 — гальки и щебель кимберлита

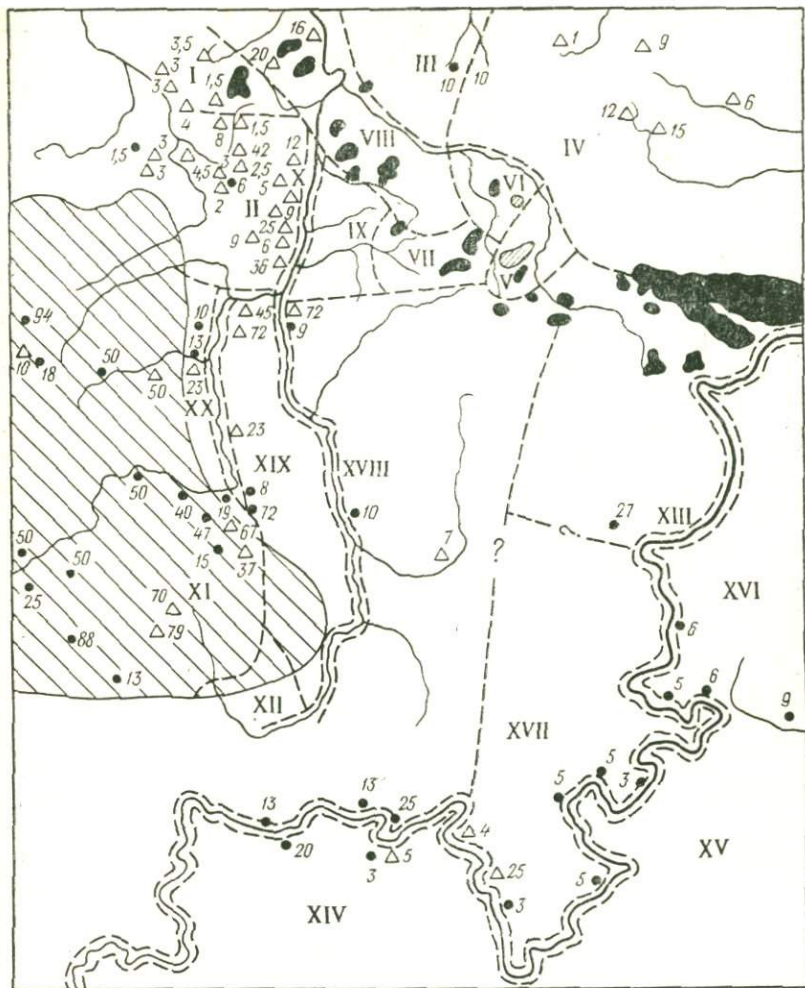


Рис. 50. Схема петрографических провинций грубообломочного материала четвертичных отложений Сибири и распространение в них обломков гранитов, гнейсов и кристаллических сланцев архея (процент от общего количества обломков).

1 — условные границы провинций; 2 — архей; 3 — выходы нефелиновых сиенитов; 4 — выходы траппов. Содержание обломков (в %): 5 — гранитов, гнейсов и кристаллических сланцев, 6 — нефелиновых сиенитов.

Номера провинций: I — доломит-песчаник-долеритовая; II — существенно карбонатная; III — песчаник-кремневая; IV — песчаник-кварцит-кремневая; V — сиенит-карбонат-кремневая; VI — песчаник-кремневая; VII — карбонат-долерит-кремневая; VIII — песчаник-долеритовая; IX — кремнево-доломитовая; X — кварцит-гранит-карбонатная; XI — гранит-гнейсовая; XII — кремнево-карбонатная; XIII — гранит-кварцит-карбонатная; XIV — карбонатная; XV — кремнево-карбонатная; XVI — кремнево-долерит-карбонатная; XVII — кремнево-кварцит-карбонатная; XVIII — гранит-гнейсо-карбонатная; XIX — существенно карбонатная; XX — гранит-гнейсо-кварцит-карбонатная

Среднее содержание состава обломков пород в четвертичных отложениях

Номер провинции	Доломиты	Известняки	Карбонатные породы	Кремнистые породы	Кварц	Кварцит	Песчанки	Кварцевый песчанк	Кварцито-песчанк	Кремний	Халцедон
I	15,9	—	—	—	1,0	5,7	2,8	—	8,0	7,7	—
II	51,0	4,6	1,4	1,0	1,3	2,4	5,3	—	10,4	5,6	—
III	1,6	4,8	—	47,7	4,6	12,5	6,75	—	1,9	8,9	2,1
IV	1,3	6,7	—	30,0	8,9	11,9	13,2	0,3	0,2	11,4	4,8
V	0,9	17,5	6,1	25,5	3,7	1,3	10,2	—	—	10,4	4,4
VI	—	3,7	2,1	—	0,8	12,2	11,7	—	—	38,3	3,4
VII	5,5	19,1	3,6	29,5	1,6	3,2	0,07	0,2	—	21,9	0,3
VIII	4,3	15,6	—	3,7	6,7	5,4	5,4	—	0,8	16,6	0,006
IX	40,5	29,4	2,4	5,6	2,9	10,7	2,1	—	—	4,7	—
X	4,5	52,9	—	6,8	—	3,4	2,1	—	—	4,6	—
XI	6,4	4,6	0,5	1,4	1,2	1,2	5,7	—	—	—	—
XII	21,1	41,6	14,7	—	—	—	—	—	—	4,2	—
XIII	0,3	79,2	0,3	2,4	1,9	3,6	1,1	—	0,6	1,3	0,07
XIV	—	84,9	11,5	1,0	—	1,2	—	—	—	1,4	—
XV	—	73,6	0,9	4,0	1,0	3,5	2,0	—	—	6,4	0,2
XVI	—	39,2	15,0	8,3	2,0	1,5	2,8	—	—	11,2	—
XVII	0,9	36,5	27,9	8,5	0,4	3,5	5,5	—	0,6	5,0	—
XVIII	—	73,3	—	—	1,8	1,9	6,8	—	0,1	0,7	—
XIX	22,1	42,3	7,0	1,7	1,0	2,6	1,3	—	—	0,6	1,1
XX	5,5	50,8	25,9	—	0,6	2,7	2,1	—	—	4,75	—

ческих провинций. Эта карта в совокупности с другими данными в ряде случаев помогла восстановить палеогеографическую обстановку отдельных эпох образования алмазных россыпей. Для ее составления использованы данные ситовых анализов проб, взятых равномерно со всей площади, охватывающей основные водотоки и мелкие притоки. Содержание типов пород в каждой пробе определялось по трем фракциям размером 1—3, 3—5, и более 5 см. Окатанность пород установлена по методу А. В. Хабакова. Результаты изучения обломочного материала нанесены на карту в виде круговых диаграмм. На рис. 50 приведена упрощенная схема карты петрографических провинций. Выходы архейских пород щита, нефелиновые сиениты и траппы использовались в качестве маркирующих при определении направлений сноса (Дополнения к карте приведены в табл. 23.) Наибольшее количество обломков пород архея содержится в руслах рек, где коренные их выходы в настоящее время размываются. Крупные реки района транспортируют эти обломки на значительные расстояния (более 300 км). В мелких реках содержание обломков уменьшается, и на расстоянии 10—15 км от источников сноса они встречаются в единичных экземплярах. Присутствие гальки кристаллических пород щита в аллювии реки, которая в настоящее время их не размывает, свидетельствует о том, что в нижнечетвертичное время притоки этой

по провинциям (% от общего числа обломков)

Битуминозные известняки	Горючие сланцы	Окремненные известняки	Гранитоиды	Гнейсы, графитовые сланцы	Архей кристаллические породы	Долериты	Нефелиновые сиениты	Кварц порф., порфириты	Туфы основных пород	Эпидиот содер. жаше породы	Прочие породы
—	—	—	—	2,4	—	47,6	—	—	5,1	—	3,8
—	—	—	—	2,4	0,3	13,4	—	—	1,4	—	0,5
—	—	—	—	—	—	7,4	—	2,75	—	—	—
—	1,2	—	0,3	1,8	0,2	4,5	1,8	1,3	0,2	—	—
15,2	—	—	—	—	—	1,7	—	3,1	—	—	—
15,4	—	—	—	—	—	—	12,4	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	15,0	0,4	—	—	—	—
—	—	2,4	—	0,5	0,5	32,0	1,0	0,1	0,6	—	—
—	0,4	—	—	—	—	0,3	1,4	—	—	0,3	—
—	1,4	—	—	10,2	—	2,3	—	—	—	—	—
—	—	—	21,9	10,7	39,9	3,8	—	1,2	1,5	0,4	—
—	—	—	2,2	—	—	—	—	1,2	—	—	—
0,2	—	0,5	2,5	2,7	0,4	2,7	0,6	1,8	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1,4	—	4,6	—	0,4	2,0	—	—	—	—	—
—	1,0	4,2	—	—	13,5	1,3	—	—	—	—	—
—	0,9	0,4	4,2	0,1	2,8	0,9	0,1	1,8	—	—	—
0,7	5,4	—	2,1	—	—	7,2	—	—	—	—	—
—	1,8	—	0,9	7,6	4,1	1,3	—	4,6	—	—	—
—	—	—	1,5	0,96	3,25	1,0	—	0,92	—	—	—

реки дренировали территорию антеклизы. Это подтверждается и уменьшением содержания архейских пород от верхних террас к более низким. Обнаружение обломков кристаллических пород севернее шита только в аллювии глубоко врезанной долины и отсутствие их в мелких притоках объясняется тем, что положение долины этой реки в плане на протяжении четвертичного времени почти не менялось.

Редкие гальки пород архея в бассейне реки связаны с размывом юрских пород, содержащих гальки. Обломки нефелиновых сиенитов встречаются в основном в аллювии рек севернее и восточнее (рис. 51). Они известны в составе развитых здесь юрских терригенных толщ. Следовательно, поднятие было размывто уже в юрское время. Наличие среди обломочного материала пород трапповой формации, характерных разновидностей пород кембрия и протерозоя использовалось для определения направлений сноса на локальных участках.

Изучение состава обломочного материала одной из алмазонасных россыпей, коренные источники которой не известны, позволило установить, за счет каких отложений эта россыпь образовалась. Для решения данного вопроса было проведено более 500 ситовых анализов с точным подсчетом всех петрографических разновидностей пород крупных фракций. Эти исследования показали, что грубооб-

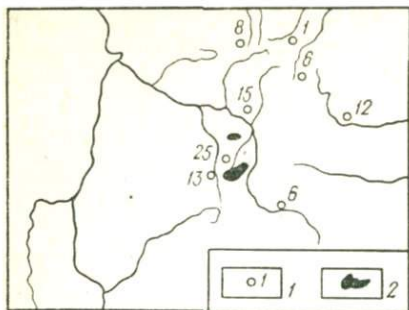


Рис. 51. Схема распространения обломков нефелиновых сиенитов в четвертичных отложениях одного из районов Сибирской платформы.

1 — места находок и содержания обломков нефелиновых сиенитов (процент от общего количества обломков); 2 — площадь современных выходов нефелиновых сиенитов

лями *Ungdarella* (определение К. Б. Кордэ), характерные для отложений карбона.

Отсутствие галек кристаллических пород свидетельствует о том, что сноса оттуда не было. Не поступал грубообломочный материал также с северной части поднятия, так как в россыпи отсутствуют гальки нефелиновых сиенитов. Несмотря на широкое развитие пород трапповой формации в северной части района, галек траппов в описываемой россыпи не обнаружено, следовательно, отсутствовал снос с севера. При сопоставлении состава грубообломочного материала россыпи с составом из других терригенных толщ установлено, что россыпь образовалась за счет размыва местных отложений мелового и карбонового возраста, и ее коренные источники — не кимберлиты, возраст которых триас-нижнеюрский, а еще не открытые докарбоновые кимберлиты. Они, вероятно, расположены на южной окраине поднятия, что подтверждается наличием грубообломочного материала из этого района в конгломератах карбона.

В результате анализа установлено, как разносился грубообломочный аллювий реками различных размеров. Очень крупные реки (тип I, см. раздел I) переносят обломочный материал на большие расстояния (более 500 км). Грубообломочный местный материал в этих реках смешивается с транзитным. Влияние боковых притоков сказывается на незначительных участках, поэтому в аллювии рек этого типа богатых россыпей образоваться не может. В реках крупного размера (тип II) мощный водоток переносит грубообломочный материал на большие расстояния. Так, валуны кристаллических пород встречены на расстоянии более 300 км от места их размыва, а гальки и гравий обнаружены еще дальше. Породы боковых притоков оказывают влияние на расстоянии 3—5 км, а затем происходит нивелировка транзитным материалом. Алмазнос-

ломочный материал в основном представлен местными доломитами (70—90%) и кремнистыми породами. Часть кремней поступала в аллювий из прожилков и конкреций, развитых среди близлежащих доломитов. Происхождение остальной части кремней удалось установить при просмотре более 300 шлифов. В 67 шлифах были обнаружены онколиты *Osagia tenuilamellata* Reitl., катаграфии *Vermiculites* и водоросли, указывающие на синийский возраст кремней. Встречены единичные гальки кремней с водорослями нижнего кембрия, похожими на *Renalcus jacuticus* Corde и песчаники с водорос-

ные россыпи могут образоваться в результате обогащения аллювия тяжелой фракцией и выноса легких составляющих на участках с энергичными эрозийными процессами — в областях, испытывающих поднятия. В реках среднего размера (тип III) грубообломочный материал переносится на незначительные расстояния. Примером может служить одна из рек Сибири, где основная масса галек долеритов концентрируется в 5—8 км от источников размыва, а в 15—20 км встречаются лишь единичные гальки этих пород. Боковые притоки рек этого типа оказывают уже большее влияние на состав аллювия главной реки и ее алмазоносность. Для мелких рек и маломощных временных притоков характерен перенос основной массы обломочного материала на незначительные расстояния: десятки и сотни метров. Это хорошо видно при размыве даек траппов в бассейне одной из рек Сибири. Поэтому установленная повышенная алмазоносность в аллювии рек такого типа свидетельствует о том, что первоисточник следует искать поблизости.

Обломочно-речной метод применяется на всех стадиях поисков алмазных россыпей. При маршрутных мелкомасштабных поисках ведется отбор ситовых проб из аллювия рек, по которым проходит маршрут. Пробы аллювия объемом 10 л рассыпаются на ситах, размер ячеек которых 1, 2, 4 и 8 мм. Объем фракций замеряется. Фракция более 8 мм визуальнo классифицируют на 0,8—3, 3—5 и 5 см и подсчитывают их процентное содержание в общей массе аллювия. В этих фракциях определяют петрографический состав. Не определенные породы изучают в шлифах. Редкие пробы отбирают из разновозрастных конгломератов, гравелитов и галечников, выходящих на дневную поверхность в коренных обнажениях. В среднем на 100 км² площади необходимо отобрать 5—10 ситовых проб.

При крупномасштабных поисках и площадной геологической съемке ситовые пробы отбирают из всех грубообломочных горизонтов. Из аллювия их берут через 5—10 км, причем опробуют главные реки и их притоки. Из древних конгломератов и галечников пробы отбирают из естественных обнажений и проходных горных выработок. Из материала фракций размером менее 8 мм отмывают шлик. Результаты ситовых анализов наносят на карты в виде круговых диаграмм.

Обломочно-речным методом получены хорошие результаты при изучении и поисках древних прибрежно-морских россыпей алмазов на Сибирской платформе. Здесь базальные алмазоносные конгломераты выходят на дневную поверхность в виде полосы длиной около 400 км. Равномерно были отобраны ситовые пробы. Состав грубообломочного материала на отдельных участках различен. Так, на юге рассматриваемой территории в составе гальки преобладают местные нижне- и среднеюрские песчаники (70—75% от общего количества галек), затем идут разноцветные кремни (18—20%). Очень редко встречается галька халцедона, кварца, опоконидных пород, долеритов, кембрийских и ордовикских известняков и доломитов, кварцевых порфиров, гранитоидов. В бассейне одной

из рек состав галек несколько беднее. Нет галек кварцевых порфиров, ордовикских известняков и битуминозных сланцев кембрия. Севернее галька и гравий представлены только местными породами: ниже- и среднеюрскими песчаниками и кварцем. Такой состав грубообломочного материала позволил прийти к заключению о средне-верхнеюрском возрасте кимберлитов, сформировавших нижеволжские алмазонасные конгломераты (Прокопчук, 1964).

Итак, приведенные примеры свидетельствуют о большой эффективности обломочно-речного метода при поисках алмазных месторождений различных генетических типов.

МЕЛКООБЪЕМНОЕ ОПРОБОВАНИЕ

Мелкообъемное опробование проводят с целью установления минералов-спутников алмаза в различных генетических типах рыхлых отложений, а в районах с высоким содержанием мелких алмазов и для констатации алмазов. Оно ведется не на всех этапах геологопоисковых работ на алмазы.

Мелкообъемные пробы отбирают на участках, наиболее обогащенных минералами-спутниками алмаза; эти участки намечают по данным шлихового опробования. Объем отдельных проб составляет 0,5—1,5 м³ в зависимости от характера опробуемых отложений и степени их алмазонасности. Пробы отбирают с помощью шурфов и канав (надводных и подводных). Последние проходят с помощью пахаря или легкого экскаватора. Пробы следует брать по возможности из нижних горизонтов аллювия на наиболее благоприятных в геоморфологическом отношении участках. Мелкообъемные пробы чаще всего берут из русловых отложений на выпуклой стороне излучин и в головной части кос.

Обработка мелкообъемных проб ведется по упрощенной схеме и состоит из следующих операций: мокрого грохочения, концентрации (отсадки) и извлечения минералов-спутников и алмазов. Грохочение осуществляют на ручном грохоте с набором сит 1, 2, 4, 8 мм под струей воды, которая подается вручную. Материал пробы постепенно загружают на верхнее сито (с отверстиями 8 мм), промывают струей воды (грохот при этом постоянно раскачивают), материал все время перемешивают. Объемы выделенных классов измеряют. Класс крупностью более 8 мм просматривают визуально для обнаружения и отбора крупных зерен минералов-спутников и алмаза. Классы —8+4, —4+2 и —2+1 мм обогащаются на ручных отсадочных машинах. Из класса —1 мм смывают крупнообъемный шлик. Концентрация зернистого минерала каждого класса крупности осуществляется при особом режиме работы отсадочных машин.

Концентрируют зернистый материал на отсадочных машинах следующим образом. Зернистый материал отдельных классов крупности, выделенных при расसेве на грохоте, небольшими порциями

(5—7 л) засыпаются в бункер отсадочной машины. Выпускное отверстие в бункере регулируют в соответствии с размером обрабатываемого класса. В процессе концентрации тяжелая фракция, в том числе минералы-спутники и алмазы, скапливается на решетке отсадочной машины, а легкая фракция смывается водой. Степень отсадки контролируется визуальным просмотром материала, смываемого водой. В смывных водах должны отсутствовать минералы плотностью более 2,9. Концентраты отсадки сушат и в рентгеновской лаборатории извлекают из них алмазы. Последнее производят на специальных рентгенолюминесцентных аппаратах или на аппаратах, где используется излучение некоторых радиоактивных изотопов. Извлеченные алмазы взвешивают и изучают их минеральный состав. Для определения содержания минералов-спутников из концентратов классов $-4+2$ и $-2+1$ мм (после извлечения из них алмазов) отбирают одну среднюю пробу соответственно 0,5 и 0,25 л. Часть материала средних проб (около половины их объема) на месте тщательно разбирается, при этом отбирают пироп и хромдиопсид и определяют их содержание в пересчете на исходный объем пробы (Буров, Воларович, 1952). Остальной материал средних проб изучают в шлихо-минералогической лаборатории. Крупнообъемный шлик, отмытый из класса -1 мм, отправляют в шлихо-минералогическую лабораторию для детального изучения минерального состава тяжелой фракции мелкообъемной пробы, в том числе и минералов-спутников.

Для анализа данных мелкообъемного опробования удобно пользоваться картой, на которую наносят место взятия пробы, ее номер, генетический тип опробованных отложений, содержание алмазов в пробе и среднюю массу алмазов, содержание минералов-спутников алмаза.

КРУПНООБЪЕМНОЕ ОПРОБОВАНИЕ

Крупнообъемное (валовое) опробование при поисках проводится с целью констатации и предварительного определения содержания алмазов в наиболее перспективных россыпях. Работы по крупнообъемному опробованию включают три самостоятельные операции, нередко разделенные по времени выполнения: 1) отбор проб; 2) перевозку проб к месту расположения обогатительной установки; 3) обогащение проб на обогатительной установке.

Участки и отдельные объекты для крупнообъемного опробования выбирают на основании результатов геолого-геоморфологических и геофизических исследований, шлихового и мелкообъемного опробования. Для крупнообъемного опробования намечают те места в пределах кимберлитовых тел, где в мелкообъемных пробах было найдено наибольшее количество алмазов.

Для крупнообъемного опробования аллювиальных отложений намечают места наибольшей концентрации в аллювии минералов-спутников алмаза с хорошим гранулометрическим составом аллю-

вия и благоприятной геоморфологической позицией. Учитывают возможные масштабы будущего месторождения.

Для крупнообъемного опробования древних грубокластических толщ как возможных промежуточных коллекторов алмазов и ископаемых россыпей выбирают участки, в которых преобладает песчано-гравийный материал мономиктового (кварцевого) состава, с подчиненным количеством гальки среднего размера. Принимается во внимание также степень выветрелости породы.

В связи с незначительным содержанием алмазов в россыпях объем представительных проб довольно значительный, поэтому при крупнообъемном опробовании на алмазы следует прибегать к проходке горных выработок. Тип и размеры горных выработок определяются характером опробуемых отложений и объемом пробы.

Отбор проб из русловых отложений осуществляется при помощи подводных канав, проходимых при поисках пахарем или экскаватором. При отборе проб пахарем или экскаватором необходимо тщательно подчищать плотик, а также предупреждать обвалы стенок подводных канав. Ширина подводных канав обычно 1 м, длину устанавливают в зависимости от объема представительной пробы и мощности песков. Если алмазоносность русловых отложений не определена и крупнообъемные пробы предназначены для констатации алмазов, то пробы отбирают выборочно в наиболее благоприятных местах, но в различных частях опробуемого объекта. Количество проб зависит от размера участка, но их должно быть не меньше трех — пяти.

В Сибири крупнообъемные пробы из русловых отложений отбирают при помощи шурфов или коротких канав, размеры которых устанавливают в зависимости от объема пробы и мощности песков. Шурфы и канавы обычно проходят зимой на проморозку, что обеспечивает значительно более высокое качество отбора проб, чем при опробовании пахарем.

Отбор проб из пойменных и террасовых отложений Сибири производят шурфами сечением 2 м², на Урале — шурфами с рассечками или несколькими спаренными шурфами большого сечения (до 10 м²). При мощности песков до 4 м представительная проба отбирается со всей мощности, если больше, то с каждых 4 м мощности берется отдельная представительная проба.

При отборе проб из террасовых отложений очень важно тщательно зачищать плотик, который должен быть «задран» на глубину не менее 10—20 см в зависимости от характера пород плотика и степени их трещиноватости. При поисках отдельно плотик не опробуется и весь материал, полученный при его задирке, присоединяют к пробе, взятой из нижнего горизонта песков.

Крупнообъемное опробование пойменных и террасовых отложений проводится в том случае, если алмазоносность русловых отложений уже установлена или при незначительном распространении русловых отложений.

Отбор проб из ископаемых россыпей и промежуточных коллекторов алмазов ведется так же, как из террасовых россыпей.

После того как алмазоносность русловых отложений (в некоторых случаях и отложений поймы и нижних надпойменных террас) установлена, необходимо выяснить степень алмазоносности опробованных отложений, т. е. при помощи крупнообъемных проб предварительно определить содержание алмазов. Такое опробование проводят в заключительную стадию поисков, которую часто называют поисковой разведкой. На этой стадии крупнообъемные пробы отбирают не выборочно, а по системе, для того, чтобы более надежно определить алмазоносность изучаемой территории.

Алмазоносность элювия трубок в начальной стадии поисков устанавливают мелкообъемными пробами. На второй стадии поисков (поисковой разведке) из более крупных трубок, в которых часто встречаются алмазы, отбирают крупнообъемные пробы для предварительного определения содержания алмазов. Для этой цели проходят шурфы сечением 1,25—2 м² по всей мощности делювия и элювия и углубляются в выветрелый кимберлит не более чем на 1—2 м. Пробы берут из делювия, элювия и выветрелого кимберлита. Шурфы с пробами должны охватывать все основные разновидности кимберлитов, слагающих трубку. На каждой опробуемой кимберлитовой трубке в зависимости от ее размеров и сложности строения при поисковой разведке проходят от двух до пяти шурфов. При поисковой разведке обогащают только пробы, взятые из элювия кимберлита. Обогащение проб проводится без дробления, т. е. по той же схеме, что и обогащение проб из россыпей.

Схема обогащения крупнообъемных проб из россыпей состоит из четырех основных операций: 1) промывки, 2) мокрого грохочения, 3) гравитационного обогащения (концентрации) и 4) извлечения алмазов из гравитационных концентратов (рис. 52). Верхний предел крупности обогащения при поисках 16 мм, нижний — 1 мм.

Промывка песков ведется на обычном старательском вашгерде. Если пески слабоглинистые, т. е. легкомывкие (например, русловый аллювий), то они, минуя вашгерд, сразу идут на грохочение. Если же они трудномывкие, то перед поступлением на вашгерд их размачивают в колоде. В результате промывки на вашгерде остается три вида материала: 1) крупнее 16 мм отмытая галька, 2) зернистый, класса —16+1 мм и 3) мельче 1 мм (шламы и мелкий песок, сносимые сливными водами).

Материал крупнее 16 мм дальнейшей обработке не подлежит и направляется в отвал. Он используется для изучения петрографического состава опробуемых отложений и степени окатанности гальки. Кроме того, по нему проверяют качество промывки. Из материала —1 мм отмывают крупнообъемный шлик для определения попутных полезных компонентов и изучения минерального состава отложений. После отмывки шлик мельче 1 мм направляют в отвал.

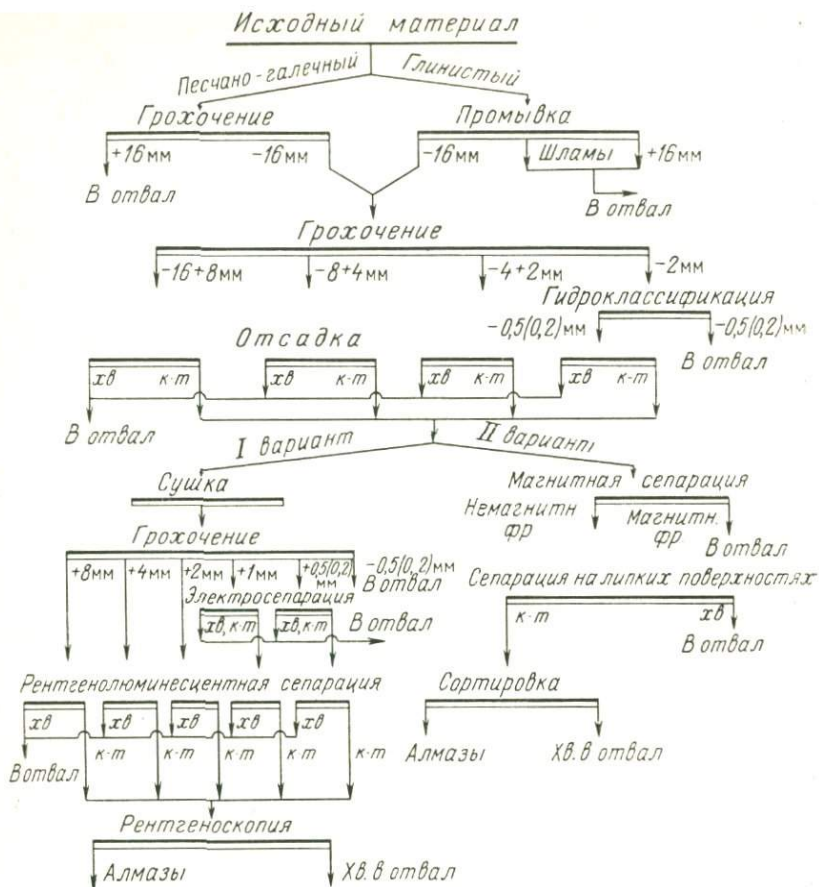


Рис. 52. Типовая качественная схема обогащения проб песков

Зернистый материал класса $-16+1$ мм идет на грохочение, проводимое на шейкере или понсковом вибрационном грохоте ГР-130 (Маланьин и др., 1961 г.) под обильной струей воды. Шейкер и виброгрохот имеют четыре сита с отверстиями 8, 4, 2 и 1 мм. В результате грохочения зернистый материал разделяется на пять классов крупности: $-16+8$, $-8+4$, $-4+2$, $-2+1$, и -1 мм.

Расклассифицированный зернистый материал направляют на концентрацию на поршневые отсадочные машины типа ОМ-01 (М. И. Маланьин и др., 1961 г.). В процессе отсадки зернистый материал разделяется по плотности на фракции: легкую (хвосты) и тяжелую (концентрат) с плотностью более 2,9; в последней концентрируются и алмазы. Отсадке отдельно подвергаются классы: $-16+8$, $-8+4$, $-4+2$, $-2+1$ мм. Из класса -1 мм отмывают шлих, после этого он идет в отвал.

Хвосты отсадки вместе со сливными водами направляются в отвал. Концентраты отправляются на извлечение алмазов в «блок конечной обработки» (М. И. Маланьин и др., 1961 г.). Здесь гравитационные концентраты высушивают и рассеивают на те же классы крупности, что и при грохочении перед отсадкой. Извлекают алмазы на рентгенолюминесцентных аппаратах ЛШ-2М или ПАСА-1. Концентраты классов —4 мм просматривают на рентгеновских аппаратах дважды, причем вторичный просмотр проводит другой оператор.

Обогащительные аппараты, обрабатывающие крупнообъемные пробы, комплектуются в передвижные обогащительные установки, ручные или частично механизированные. Описание этих установок приведено в работе М. И. Маланьина (Маланьин и др., 1961 г.).

Все операции обогащительного процесса тщательно контролируются. Качество промывки устанавливают по присутствию среди крупной гальки зернистого материала, а также по содержанию в ней глины. Для этого отбирают пробу объемом 0,1—0,2 м³, тщательно ее промывают в специальном сосуде и рассеивают на контрольном сите, диаметр отверстий которого 16 мм. Объем зернистого материала и шлама замеряют. Качество промывки и крупного грохочения считается хорошим, если содержание зернистого материала в отвальной гальке не превышает 1—2%, а глины содержится не более 1%.

Грохочение контролируется определением замельченности всех полученных при грохочении классов, направляемых на отсадку. Для этого из каждого класса крупности отбирают пробы, которые рассеивают на контрольных ситах с диаметром ячеек, соответствующим нижнему размеру класса. Просев каждого класса (в процентах) определяется замельченностью класса. Для класса —16+8 мм замельченность не должна превышать 30%, для класса —8+4 мм — 50%, для класса —4+2 мм — 8% и для класса —2+1 мм — 10%.

Качество рентгенопросмотра проверяют, определяя полноту извлечения минералов-индикаторов. Контролируется также работа аппаратчиков. Для этого хвосты, прошедшие рентгенопросмотр одним оператором, передают на просмотр другому оператору. В случае обнаружения в хвостах даже 1—2 алмазов все хвосты необходимо просмотреть заново.

При обогащении крупнообъемных проб из конгломератов и гравелитов большое значение имеет степень сцементированности породы. Поэтому пробы следует отбирать из дезинтегрированного или слабо сцементированного материала. Если при промывке на вашгерде порода не дезинтегрируется, то ее перед промывкой необходимо раздробить в три приема: по щели 16, 8 и 2 мм. После каждой стадии дробления материал проходит полный цикл обогащения: от мокрого грохочения до просмотра концентратов отсадки на рентгеновских аппаратах. Дробление производят на щековых и валковых дробилках. При обогащении крупнообъемных проб из элювия и выветрелой зоны кимберлитов иногда прихо-

дится дробить небольшое количество материала. Дробление сильно осложняет обработку крупнообъемных проб при поисках, и его по возможности следует избегать.

МАРШРУТНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Маршрутные геолого-геоморфологические исследования предназначены для выявления общих перспектив поисков алмазов на данной территории и выбора площадей для поисков россыпных месторождений алмазов. Основные масштабы маршрутных исследований 1 : 500 000 и 1 : 100 000.

Маршрутные геолого-геоморфологические исследования в м-бе 1 : 500 000 проводят в районах, покрытых только геологической съемкой м-ба 1 : 1 000 000. Основная задача этих работ — изучение геологического и геоморфологического строения территорий с целью выделения районов возможного нахождения алмазных россыпей. Эта задача решается геолого-геоморфологическими наблюдениями и специализированным шлиховым опробованием.

Геолого-геоморфологические наблюдения проводят по маршрутам, намечаемым на основе тщательного анализа всех материалов предыдущих геологических исследований, геофизических работ и аэрофотосъемки. Маршруты строятся так, чтобы они пересекали поля развития ультраосновных и основных пород, зоны сопряжения платформенных структур (синеклизы и антеклизы, поднятия и мульды), террасовые отложения различных уровней, русла основных рек и некоторых их притоков. Маршруты прокладывают в основном по долинам рек и ручьев, характеризующихся хорошей обнаженностью, а также наличием аллювия, в котором легко установить присутствие минералов-спутников алмаза. Значительно реже маршруты прокладывают по пересечению водоразделов.

По маршрутам ведется систематическое изучение геологического строения, в результате составляются маршрутные геологическая и геоморфологическая карты в м-бе 1 : 500 000. На геологической карте должны быть показаны разновозрастные осадочные и изверженные породы, причем среди них условными знаками выделяют и немасштабные горизонты, интересные в отношении алмазонасности (конгломератовые, галечные, гравийные образования, ультраосновные и щелочно-базальтовые породы). Особое внимание следует уделять общему характеру структуры района, региональным разломам, корам выветривания, литологии осадочных образований. Необходимо отмечать, к какой части разреза приурочены грубообломочные образования, образуют ли они линзы или выдержанные прослои. Нужно определить их мощность и изучить вещественный состав, обратив особое внимание на горизонты мономиктового состава.

При геоморфологических наблюдениях необходимо полностью использовать материалы аэрофотосъемки. Сплошное дешифрирование аэрофотоснимков по маршруту обязательно. В результате

геоморфологических наблюдений следует установить связь основных форм рельефа между собой, форм рельефа с геологическим строением и современными климатическими особенностями района. При пересечении маршрутами водоразделов необходимо установить наличие рыхлых образований, особенно галечниковых, следов древней речной сети, приуроченность водораздела к той или иной геологической структуре, их дешифрируемость.

При изучении долин определяют их форму и размеры, гипсометрическое положение, глубину вреза, характер склонов, наличие террас с детальной характеристикой их размеров, гипсометрические уровни, микрорельеф и др. В результате изучения водоразделов и речных долин должны быть выяснены основные этапы развития рельефа.

Геоморфологические наблюдения способствуют изучению рыхлых отложений — возможных коллекторов алмазов. Рыхлые отложения следует расчленять на генетические типы и стратиграфические горизонты, изучать на аэрофотоснимках для возможного выделения их на территориях, не охваченных маршрутами. При изучении четвертичных отложений маршрутные геолого-геоморфологические наблюдения м-ба 1 : 500 000 следует проводить только по обнажениям. Необходимо принять все меры к тому, чтобы не пропустить редко встречающиеся по маршруту обнажения.

Геолого-геоморфологические маршруты сопровождаются специализированным шлиховым опробованием. Опробуют в основном русловые отложения рек. Расстояния между точками отбора шлихов в зависимости от конкретной обстановки могут меняться от 1000 до 200 м. Шлиховое опробование проводят по методике, рассмотренной в разделе V в подразделе «Шлиховое опробование».

Пробы террасовых, склоновых и отложений других генетических типов берут лишь в тех случаях, если с их помощью можно выяснить конкретный источник сноса минералов-спутников алмаза.

Маршрутные геолого-геоморфологические исследования в масштабе 1 : 100 000 проводятся в перспективных районах, где кондиционная геологическая съемка более мелких масштабов уже проведена, но без попутных поисков алмазов. Эти исследования включают следующие виды работ: геолого-геоморфологические маршрутные наблюдения, специализированное шлиховое опробование, мелко- и крупнообъемное (иногда) опробование и геофизические работы.

Геолого-геоморфологические маршруты прокладывают по долинам рек, склонам и водоразделам. В процессе маршрутов составляют геологическую и геоморфологическую карты в м-бе 1 : 100 000. Отдельные геологические объекты, представляющие интерес для выяснения алмазоносности, но не выражающиеся в масштабе карты, наносят на аэрофотоснимки или на карту немасштабными знаками.

Маршруты следует начинать с района, где известны проявления алмазоносности или уже найдены кимберлиты. В этих районах необходимо выяснить приуроченность минералов-спутников

алмаза к определенным стратиграфическим горизонтам или типам пород, обращать на них особое внимание при геологических исследованиях. Изучают крупность и морфологические особенности минералов-спутников. По маршруту должны быть собраны данные по геоморфологии, достаточные для составления геоморфологической карты м-ба 1:100 000. Если в наличии имеется топографическая основа м-ба 1:50 000, то полевую геоморфологическую карту составляют на ней. На картах (по маршруту) выделяют аккумулятивные, денудационные и цокольные равнины, нагорья, основные элементы речных долин. Равнины и нагорья (если они пересекаются маршрутами) изучают для того, чтобы ответить на вопрос о ходе эрозионно-денудационных процессов на территории отдельных районов. Наиболее детально изучают долины. Необходимо получить ясное представление о продольном и поперечном профиле долин. По маршруту отмечают все плёсы и перекаты рек, их протяженность и характер поверхности плотика. В поперечном профиле долины изучают характер поймы и всех надпойменных террас (высоту, ширину, длину, мощность аллювия и его строение). С этой целью на отрезках долины, характеризующихся различным строением, прокладывают поперечные профили с отдельными горными выработками для вскрытия разрезов террас.

Геолого-геоморфологические маршруты сопровождаются специализированным шлиховым опробованием — ведущим методом полевых исследований при поисках алмазов. Шлиховому опробованию подвергаются преимущественно аллювиальные отложения водотоков, по которым проходят маршруты. Реже опробуют склоны речных долин и элювиально-делювиальные образования. Расстояния между точками отбора проб при опробовании аллювия крупных рек могут составлять 500—1500 м. При этом обязательно берут пробы в приустьевой части притоков реки, по которой проложен основной маршрут.

Шлиховое опробование делювиальных и делювиально-аллювиальных образований проводят только при детализации выявляемых в процессе работ перспективных участков, характеризующихся повышенным содержанием минералов-спутников алмаза. Расстояние между шлиховыми пробами на таких участках 500 м, а расстояние между точками отбора шлиховых проб по отдельным профилям 250 м.

Маршрутные исследования сопровождаются отбором мелкообъемных проб, предназначенных для констатации минералов-спутников алмаза и, в некоторых случаях, самого алмаза в россыпях, выявленных в процессе маршрутных поисков. Мелкообъемным опробованием пользуются только для констатации алмазов в россыпях с более или менее высоким содержанием алмазов. В районах с низким и убогим содержанием алмазов проводить мелкообъемное опробование нецелесообразно, так как только им нельзя решить вопрос о наличии алмазов в россыпях. При маршрутных исследованиях мелкообъемную пробу берут из аллювия водотоков, в отложениях которого установлены минералы-спутники алмаза,

причем опробуют места, где они наиболее часто встречаются. Объем мелкообъемных проб 0,5—1,5 м³, зависит от конкретных районов.

Крупнообъемное опробование при маршрутных поисках в м-бе 1 : 100 000 проводят только на перспективных площадях, где мелкообъемным опробованием определено повышенное содержание минералов-спутников или установлены алмазы. Оно планируется заранее, так как для проведения крупнообъемного опробования необходимо привезти специальное обогащательное оборудование, а также организовать работы по обогащению. Объем опробования определяют в каждом конкретном случае отдельно, а методика его проведения описана раньше (см. «Крупнообъемное опробование»). Обычно при маршрутных поисках м-ба 1 : 100 000 крупнообъемную пробу берут из русловых и ложковых отложений.

При маршрутных поисках часто используют наземные магнитометрические работы. Обычно проводится магнитная съемка м-ба 1 : 10 000 для проверки группы аэромагнитных аномалий трубчатого типа или для поисков кимберлитовых тел на локальных участках, выделенных при помощи шлихового опробования.

ПЛОЩАДНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Для решения различных задач, связанных с изучением и оценкой алмазоносных районов и отдельных месторождений, проводят геолого-геоморфологические съемки разного масштаба. Съемки мелких (1 : 500 000) и средних (1 : 200 000, 1 : 100 000) масштабов проводятся планомерно по всей территории Советского Союза (методика их приведена в соответствующих инструкциях). Съемки крупных масштабов как специальный метод поисков алмазных месторождений ставятся в перспективных районах. Масштабы этих съемок (от 1 : 50 000 до 1 : 1 000) зависят от поставленных задач, а также от природных особенностей районов и месторождений.

Съемки м-бов 1 : 50 000 и 1 : 25 000 проводят при изучении значительных площадей с многочисленными проявлениями алмазности и при наличии промышленных месторождений алмазов. В результате этих съемок разрешают главным образом вопросы общей геологии россыпных полей, связанных с поисками и предварительной разведкой. Съемки м-бов 1 : 10 000, 1 : 5 000, 1 : 2 000 и 1 : 100 проводят при предварительной и детальной разведке, а также при изучении отдельных месторождений.

Геологические съемки м-бов 1 : 50 000 и 1 : 25 000 предназначены для выяснения перспективы промышленной алмазности данного района и выделения конкретных участков для постановки поисково-разведочных работ. Для решения этих задач проводят специализированный поиск, изучают геологическое и геоморфологическое строение района.

Методика проведения съемки описана в «Инструкции по организации и производству геологосъемочных работ м-ба 1:50 000 и 1:25 000» (М., Госгеолтехиздат, 1960), поэтому остановимся лишь на некоторых особенностях сбора дополнительных геологических материалов для решения вопросов алмазности и на специализированных поисках.

В процессе съемки следует обратить внимание на щелочно-базальтоидные и щелочно-ультраосновные породы и определить их пространственную и генетическую связь с кимберлитами. В алмазных районах тщательно изучают тектонические и структурные особенности, разрывные нарушения, трещиноватость, флексуры и др., так как они играют важную роль при локализации кимберлитов и россыпей. В районах, перспективных на поиски россыпных месторождений алмазов, обязательно составляют геоморфологическую карту и карту четвертичных отложений. Главная задача геоморфологических исследований — изучение истории развития рельефа и формирования рыхлых отложений — возможных коллекторов алмаза. Детально изучают коры выветривания и грубообломочные (конгломератовые, галечниковые) отложения, которые следует проследить по простиранию и по возможности оконтурить; кроме того, с их помощью можно определить направление сноса, выявить закономерности распределения обломков, минералов-спутников и др. Необходимо собрать материал, достаточный для составления палеогеографических карт.

Специализированные поисковые работы при съемке в м-бах 1:50 000 или 1:25 000 включают: изучение обломков и галек в речных отложениях, шлиховое опробование, мелко- и крупнообъемное опробование и геофизические исследования.

Изучение обломков в руслах рек следует вести систематически, причем детально описывать их через 1—0,5 км. Во всех притоках длиной более 0,5 км обломки изучают обязательно. На основании этих данных должны быть составлены карты распространения обломков различного состава. При съемке м-ба 1:50 000 проводят площадное шлиховое опробование речной сети. Средние расстояния между пробами 0,5 км. Опробуют также рыхлые элювиально-делювиальные и пролювиальные отложения, грубообломочные горизонты коренных пород, элювий кимберлитов. Отбирают пробы на протолочку из плотных конгломератов, кимберлитов, ультраосновных и щелочно-базальтовых пород. На 100 км² съемки достаточно отобрать 200—400 шлихов.

Объем мелко- и крупнообъемного опробования зависит от площади съемки, сложности геологического строения и перспективности ее в отношении алмазности. Обычно на 100 км² съемки в районах с известными кимберлитовыми телами и разновозрастными россыпями приходится отбирать 20—30 мелкообъемных и 200—300 м³ крупнообъемных проб.

Съемке м-ба 1:50 000 обязательно должна предшествовать аэромагнитная съемка м-ба 1:25 000. Выделенные в результате этой съемки аномалии трубчатого типа следует проверять назем-

ной магнитометрической съемкой. Объемы геофизических работ проектируют на каждую конкретную площадь в зависимости от размеров площади съемки и конкретной геологической обстановки (количество предполагаемых аномалий трубчатого типа и их размеров).

При съемке м-ба 1:50 000 в районах с широким развитием россыпей могут применяться геофизические методы в различных вариантах для определения мощности рыхлых отложений. Объем этих работ определяют по аналогии с объемом работ в близлежащих районах или на основании тщательного анализа материалов предыдущих работ.

Объем и тип горных и буровых работ зависят от обнаженности и сложности геологического строения. Кроме объемов, которые нужны для общегеологических целей, необходимо предусмотреть аномалии трубчатого типа, подтвержденные наземной магнитной съемкой.

Детальная геологическая съемка в м-бах 1:10 000, 1:50 000 и 1:1 000 проводится на стадии предварительной и детальной разведки.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Метод поисков месторождений алмазов с помощью дешифрирования материалов аэрофотосъемки разработан советскими геологами при изучении алмазоносности Сибири. Им пользуются при поисках коренных и россыпных месторождений.

Применение материалов аэрофотосъемки при поисках алмазных россыпей сводится к дешифрированию отложений различных генетических типов как возможных коллекторов алмазов, к определению их геоморфологической позиции, примерной мощности, выбору мест для опробования, оценке масштабов россыпной алмазоносности и др. Если в результате предварительного дешифрирования были выделены участки возможных кимберлитовых тел или уже известные кимберлитовые трубки, то очень важно установить мощность и состав элювиального плаща, который может представлять интерес как элювиальная россыпь алмазов. Работы Б. Н. Леонова и М. В. Сусова (1958 г.) позволили выбрать дешифровочные признаки элювия разных типов на кимберлитах. Так, если элювий представлен глиной, то на аэрофотоснимке получается пестрый пятнистый рисунок. В результате интенсивного заболачивания на глинах образуются мелкие озера — черный фототон, и кустарники — черный точечный рисунок. Если элювий представлен щебенкой и на нем растет редкий крупноствольный лиственный лес, то на аэрофотоснимке это передано светлым, иногда беловато-серым рисунком.

Для россыпей алмазов в основном представляет интерес элювий, сложенный глиной, так как в нем алмазы высвобождены из вмещающей породы. Здесь может образоваться обогащенный при-

плотиковый слой. По аэрофотоснимкам можно оценить ориентировочные мощности элювия. Если дельты не подходят близко к кимберлитовой трубке, что хорошо видно на аэрофотоснимках, то можно считать мощность элювия полной, если часть делей захватывает кимберлит — мощность элювиального слоя неполная, так как часть его размыта. Зная порядки мощностей элювия в различных климатических поясах, можно предположить мощность элювиальной россыпи.

При изучении и оценке делювиальных россыпей важно знать состав делювия, его мощность и направление сноса материала от коренного месторождения. Состав делювия определяется так же, как и состав элювия. Направление сноса и конус выноса алмазного материала по направлению делей четко оконтуривают на аэрофотоснимках. На снимке видны вершинки делей, площади захвата делями кимберлитовых тел и неалмазонасной породы. Это дает возможность выделить наиболее перспективные участки делювиальных отложений как возможных делювиальных россыпей алмазов. Мощность делювия можно определить только весьма ориентировочно. По величине делей, например, можно сказать, что чем они шире и крупнее, тем мощность делювия больше. В некоторой степени при оценке мощности помогает и растительность. Так, согласно И. И. Букс, в Сибири на маломощном делювии обычно растет лес, на мощном глинистом делювии — кустарник и травяная растительность.

Аэрофотоматериалы при поисках русловых россыпей алмазов используются для того, чтобы на участках долин, перспективных по общегеологическим данным, выделить площади с накопленным аллювием и возможно большей концентрацией алмазов. Последняя зависит от гидродинамических особенностей потока, которые в свою очередь связаны с формой русла, геологическим строением ложа реки, характером берегов и др. Все это можно определить по аэрофотоснимкам.

Опытами (Разумихин, Тимашкова, 1960) и наблюдениями в поле (Б. И. Прокопчук, А. Г. Дьяков и др.) установлено, что места повышенной концентрации алмазов (исключая косы) приурочены к концу плёсовых участков на сопряжении с перекатами. Эти участки легко дешифрируются на аэрофотоснимках и на них в первую очередь следует вести опробовательские работы (рис. 53, 54).

На аэрофотоснимках хорошо выделяются прямолинейные участки русла и отрезки с излучинами. На этих участках условия накопления алмазов менее благоприятны: алмазы здесь могут концентрироваться лишь в углублениях дна. Поэтому для установления алмазонасности аллювия на прямолинейных участках следует отдешифрировать места, где преобладает неровное дно, и провести опробование аллювия из углублений. Полевыми работами доказано, что в углублениях плотика концентрация алмазов в 4—6 раз больше, чем на участках с ровной поверхностью дна (Прокопчук, 1961).

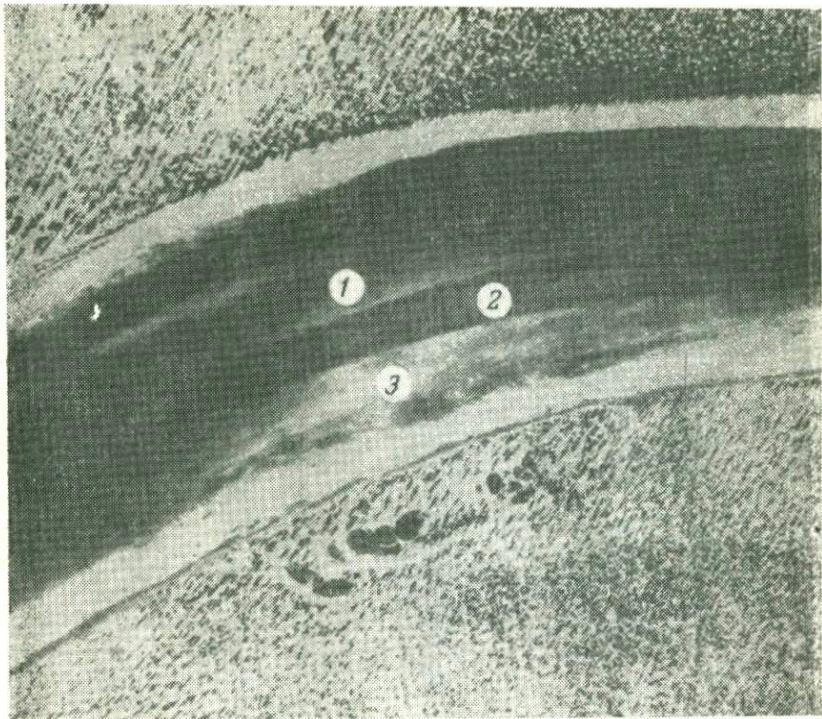


Рис. 53. Выделение струйчатости русловых алмазных россыпей при помощи крупномасштабных аэрофотоснимков.

1 — стрежневая зона русловой россыпи со слабо отсортированным галечником, сильно обогащенная тяжелыми минералами и алмазами; 2 — разубоженная полоса активного движения наносов, состоящих из гравия и мелкой гальки; 3 — прибрежная часть русловой россыпи со средним содержанием минералов тяжелой фракции и алмазов

Важно отметить на аэрофотоснимках участки русла с порогами, так как благодаря особенностям циркуляции речного потока происходит повышенная концентрация алмазов. Пороги на снимках видны четко — узкая полоса, пересекающая русло. Дайка, вызвавшая образование порога, на аэрофотоснимке дешифрируется по обе стороны от русла в виде прямой линии, а в русле имеется ряд островов и отмелей.

На аккумуляцию алмазов в речном русле влияет также состав пород, слагающих ложе. Наиболее благоприятны в этом отношении глины и карбонатные породы, которые, размываясь, образуют углубления и ямы-ловушки. Если породы с различной сопротивляемостью к размыву пересекаются рекой вкрест простирания и в результате возникают условия для образования карманов и щеток, то содержание алмазов на этих участках будет большее, чем на других.

На косах алмазы скапливаются в основном в головной и средней частях, сложенных галечниковым материалом. Песчаные косы

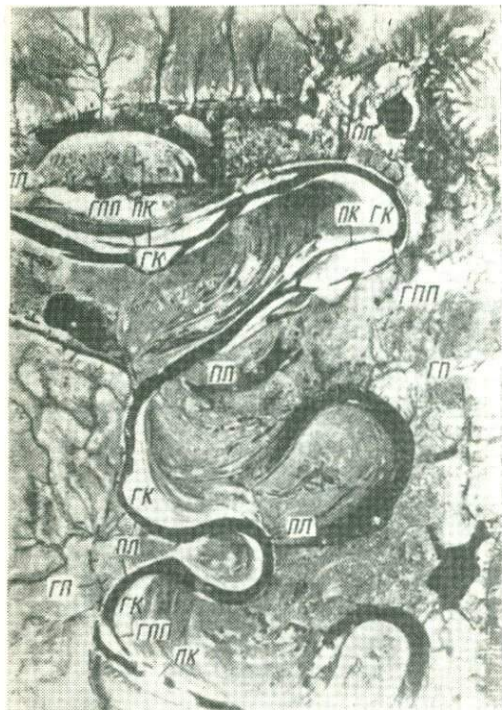


Рис. 54. Выделение по аэрофотоснимкам мест, наиболее благоприятных для поиска россышных алмазов (ПЛ — плёс, ПЛК — перекат, ГЛК — галечные косы, ГЛП — головные побочки перекатов, ГП — граница поймы)

самым определить площадь ее распространения. Аэрофотоснимок, на котором подробно запечатлен микрорельеф поймы, — прекрасный материал для восстановления положения древнего русла. По снимку можно установить, где форма древнего русла была прямолинейной, а в каких местах были меандры. Поисковые работы в первую очередь следует проводить на участках с бывшими меандрами.

На основе данных о происхождении микрорельефа поймы разработан способ восстановления прежних положений речного русла. Если предположить, что каждая гряда на поверхности поймы возникла в процессе меандрирования, то по очертаниям гряд-валов можно определить прежнее положение бровки выпуклого берега, а следовательно, и место захоронения галечников древней долины. По аэрофотоснимку можно установить, какая часть древней косы сфотографирована, а это важно, так как алмазы концентрируются в основном в головной и средней частях косы.

Аэрофотоснимки помогают найти следы древних сухих русел и ложбин стока, в которых также могут быть обнаружены алмазы.

содержат незначительное количество алмазов. Исходя из этого при предварительном дешифрировании на аэрофотоснимках м-ба 1:25 000 и крупнее можно выделить косы песчаные и галечниковые. Последние дают на снимках светло-серый точечный рисунок, а песчаные косы — темно-серый фон с характерным рисунком, связанным с перевеванием песков. Наибольшая концентрация алмазов приурочена к участкам кос, далеко вдающимся в русло (Леонов и др., 1966). Эти участки прекрасно видны на аэрофотоснимках.

Применение материалов аэрофотосъемки при поисках пойменных россыпей также дает хорошие результаты. По аэрофотоснимкам можно точно отграничить пойму от надпойменных террас и коренных склонов и тем

В. Н. Орлянкин, изучая аэрофотоснимки, путем специальных гидрогеологических расчетов, определяющих зависимость глубин русла от крутизны меандр, подсчитал мощности галечниковых накоплений, входящих в состав поймы. Точность подсчетов подтверждена проходкой горных выработок и бурения. Сущность метода В. Н. Орлянкина сводится к следующему. На поворотах русла реки вогнутый берег обычно подмывается водным потоком, а у выпуклых берегов намываются косы из руслового аллювия. Чем больше кривизна реки, т. е. чем круче поворот реки, тем глубже русло у вогнутого берега и, соответственно, больше мощность руслового аллювия на отмели на противоположном выпуклом берегу. При этом мощность аллювия определяют как сумму максимальной глубины плёса на повороте русла и высоты кос над урезом воды в межень. В качестве показателя кривизны принимается отношение B/r , где B — средняя ширина реки в метрах и r — радиус кривизны динамической оси потока в метрах. Исследованиями В. Н. Орлянкина доказано, что на величину мощности руслового аллювия на косах у выпуклых берегов кроме кривизны русла влияют также размер реки (B — средняя ширина реки), степень меандрирования (коэффициент свободного меандрирования K — отношение длины реки к длине долины на определенном участке), длина дуги поворота русла (угол поворота в градусах).

С учетом этих факторов полная формула мощности M (в метрах) руслового аллювия у выпуклых берегов следующая:

$$M = 2,2 \sqrt{K} \left[\frac{(\lg B)^2 \frac{B}{r}}{1 + 0,5 \left(\frac{B}{r} \right)^2} + 0,02 \sqrt{B} \right].$$

Практически для массовых определений M достаточно коэффициент K считать равным 2, а угол поворота не принимать во внимание.

Для этих условий составлена номограмма зависимости мощности M руслового аллювия у выпуклых берегов от ширины B реки и относительной кривизны русла $\frac{B}{r}$ рек с гравийно-галечным руслом. На номограмме (рис. 55) по оси ординат отложены значения кривизны русла $\frac{B}{r}$, а по оси абсцисс — мощность руслового аллювия M (кривые выражают различную ширину реки B). Например, при кривизне $\frac{B}{r} = 48$ и $B = 100$ м, $M = 6$ м.

Известно, что все русловые формы на выпуклых берегах рек при боковых смещениях русла полностью сохраняются, перекрываясь чехлом пойменного аллювия. По аэрофотоснимкам можно восстановить прежнее положение руслового аллювия в пойме. Определив по аэрофотоснимку циркулем или специальной палеткой кривизну прежнего русла в нескольких точках на каком-либо участке поймы, снимая с номограммы мощность M руслового аллю-

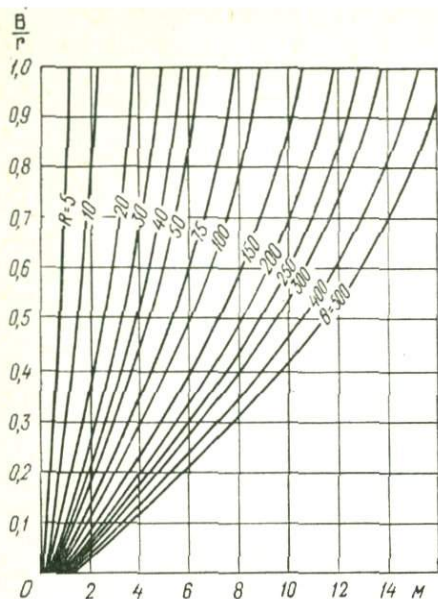


Рис. 55. Зависимость мощности M руслового аллювия от ширины водного потока $\frac{B}{r}$ и относительной кривизны русла $\frac{B}{r}$ для меандрирующих рек с гравийно-галечным руслом при $K=2$

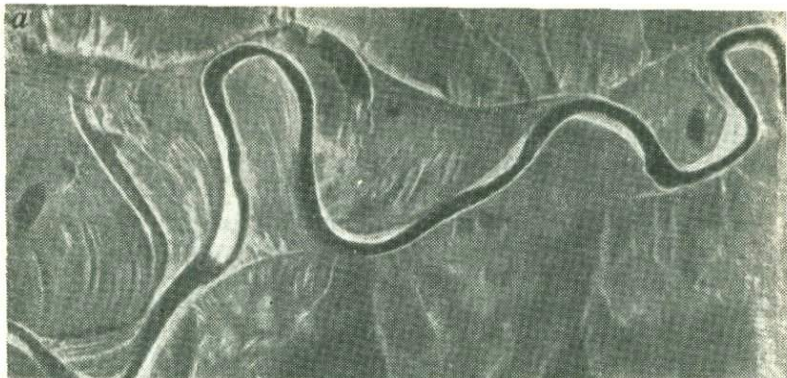
ной смыв их незначительный. При размыве галечников повсюду возникают крутые и четко выраженные уступы, которые прекрасно дешифрируются. Растительный покров на площадях, сложенных галечниками, наиболее разрежен и дает на аэрофотоснимках светлый фототон. На хорошо дренированных участках, представленных галечниками, образуются полигональные трещины с более густой растительностью. На аэрофотоснимке они дают четкий сеточный рисунок (рис. 57). По аэрофотоснимкам можно выделить участки террас с аллювием и без него, установить, имеет ли терраса коренной коколь, а с помощью топокарты определить примерную мощность аллювия. Полученные по аэрофотоснимкам данные о террасах дают возможность проводить поисковые работы на наиболее перспективных участках.

Аэрофотоматериалы можно использовать и при поисках древних и погребенных россыпей (Прокопчук, 1961).

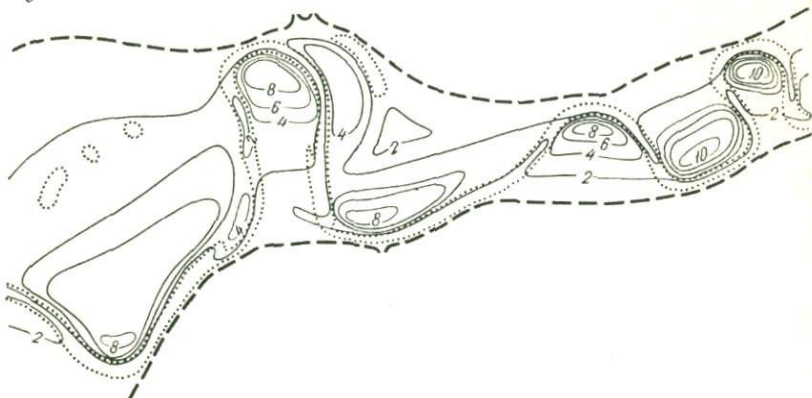
Так, одна из алмазонасных россыпей была с трудом обнаружена методом пироповой съемки, в результате большого объема горных работ. При анализе аэрофотоснимков (рис. 58) установлено, что россыпь, приуроченная к конгломератам небольшой (0,3—0,8 м) мощности, хорошо дешифрируется, так как залегает на границе средней и верхней юры, которые характеризуются

влия, можно составить карту мощности руслового аллювия в изолиниях на этом участке. В пределах высокой поймы можно достаточно точно определить также мощность торфов (рис. 56).

При поисках террасовых россыпей дешифрирование аэрофотоснимков дает возможность установить распространение террас. Использование топоосновы позволяет определить их высотные уровни. Распространение галечников на террасах в том случае, если они залегают непосредственно на поверхности террасы и не перекрыты суглинками или песками, устанавливается по характерным дешифровочным признакам. В связи с тем, что галечники представлены грубым материалом, а также из-за большой глубины протаивания плоскост-



б



в

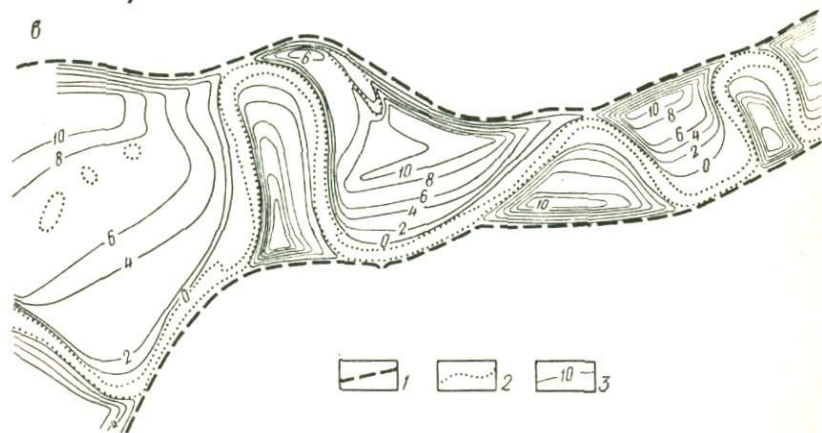


Рис. 56. Выделение при помощи аэрофотоснимка мощностей песков и торфов аллювиальных россыпей.

а — аэрофотоснимок участка долины реки, б — схема мощностей галечников поймы, в — схема мощностей торфов поймы
 1 — граница поймы; 2 — граница русла; 3 — изогипсы мощности (в м) галечников (б), торфов (в)

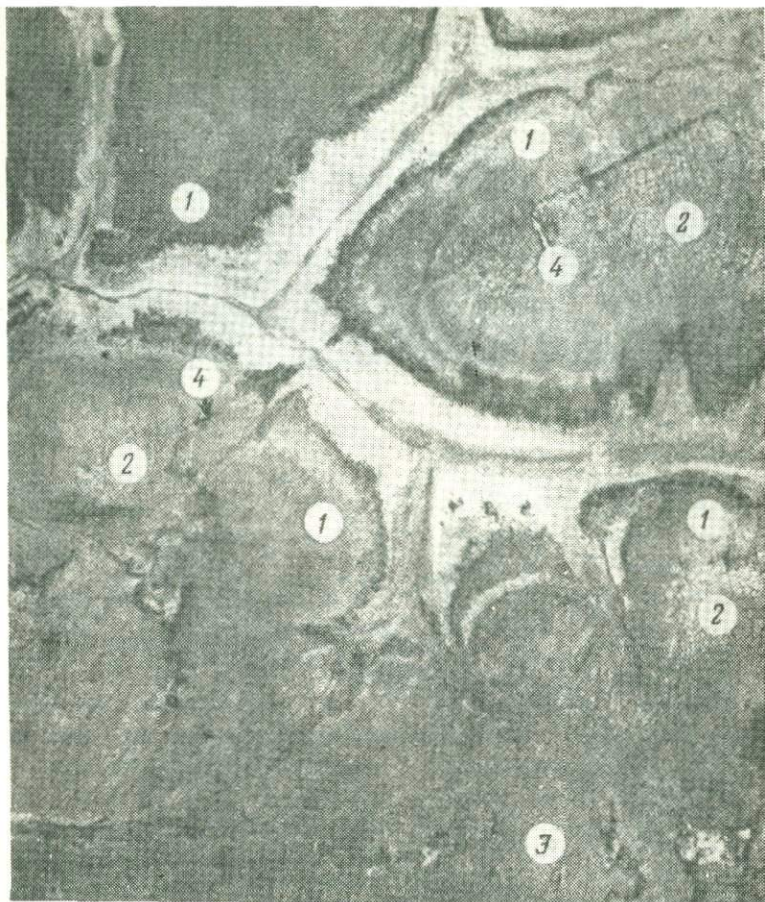


Рис. 57. Дешифрирование террасовых алмазных галечников.

1 — карбонатные породы палеозоя; 2 — террасовые галечники; 3 — озерно-болотные образования; 4 — дайки траппов

различными литологическими особенностями: породы средней юры, представленные песками, дают на снимках светло-серый фон, а алеврит-песчанистые породы верхней юры — темно-серый фон. Используя этот дешифровочный признак, удалось проследить алмазоносные конгломераты на протяжении более 300 км. Без применения аэрофотоснимков потребовался бы колоссальный объем горных работ. В настоящее время опробование выделенного участка конгломерата можно провести в любой точке, так как он очень точно нанесен на карты и может быть опознан по аэрофотоснимкам на местности. Таким образом, при обнаружении древних россыпей следует просматривать аэрофотоснимки для установления конкретных для них дешифровочных признаков.



Рис. 58. Дешифрирование по аэрофотоснимкам древних россыпей (ПО — песчаные отложения, ГО — глинистые отложения, ЛВК — линия выхода на дневную поверхность алмазосных конгломератов)

ПОПУТНЫЕ ПОИСКИ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

Попутные поиски алмазов можно проводить как при региональных геологических съемках различных масштабов, так и при поисково-разведочных работах на другие полезные ископаемые. Их ставят в районах с известными уже проявлениями алмазности, а также в новых районах, где находки алмазов еще не известны, но геологическое строение которых позволяет предположить возможность обнаружения в них алмазов.

Для попутных поисков при комплексной региональной геологической съемке необходимо предусмотреть увеличение объемов некоторых видов работ, планируемых для собственно геологического картирования, проведение некоторых дополнительных видов исследований, обусловленных особенностями алмаза как полезного ископаемого. Задачи попутных поисков на алмазы, дополнительные объемы работ изменяются в зависимости от масштаба геологической съемки.

Основные масштабы государственной геологической съемки в настоящее время 1 : 200 000 и 1 : 50 000. В отдельных случаях, главным образом для поисково-разведочных работ, составляют геологические карты м-ба 1 : 100 000 и 1 : 25 000. Для перспективной оценки больших территорий также пользуются геологическими картами м-ба 1 : 500 000. Их составляют на основе геологических карт

м-ба 1:200 000 или по материалам геологической съемки м-ба 1:1 000 000, дополнительным материалам региональной аэромагнитной съемки, аэрофотосъемки и увязочных маршрутов, пройденных специально для составления карты.

Попутные поиски алмазов при геологической съемке м-бов 1:200 000—1:100 000 в районах с неустановленной алмазонасностью предназначены для нахождения минералов-спутников алмаза, выяснения перспектив обнаружения коренных источников и промежуточных коллекторов алмазов и выбора площадей для постановки специальных поисковых работ на алмазы. Они не требуют дополнительных объемов работ и их выполняют отряды, которые проводят съемку. Эти отряды попутно собирают геологические данные, важные для установления перспектив алмазонасности, они же проводят шлиховое опробование. Выяснению перспектив алмазонасности уделяется внимание на всех этапах работ, начиная с подготовки к полевым работам и кончая камеральной обработкой материала.

В подготовительный период в первую очередь изучают материалы аэромагнитной съемки, на основании которых выделяют зоны крупных тектонических нарушений, выступов и прогибов, кристаллического основания платформы и по возможности устанавливают природу локальных магнитных аномалий. При сборе материалов по изверженным породам необходимо обращать внимание на ультраосновные кимберлитоподобные породы с повышенной щелочностью и щелочно-базальтоидные породы. Желательно на предварительной карте отметить места их обнаружения. При изучении стратиграфического разреза следует обратить особое внимание на наличие разновозрастных грубокластических пород, собрать возможно более полные данные о местах их выходов на дневную поверхность и вещественном составе. Нужно также собрать материал о распространении коры выветривания и ознакомиться с данными по геоморфологии. Кроме ознакомления с материалами предшествующих исследований, проводят дешифрирование аэрофотоснимков.

Если имеются коллекции шлихов, отобранных ранее в районе предстоящих исследований, часть из них необходимо повторно просмотреть на выявление минералов-спутников алмаза. Все работы ведут по маршрутам, предусмотренным проектом геологосъемочных работ. Собирают лишь дополнительные данные об алмазонасности.

Шлиховое опробование ведут также в объеме, предусмотренном для съемки указанных масштабов. При обнаружении минералов-спутников алмаза намечают дополнительные маршруты и проводят дополнительное шлиховое опробование с целью установления ореолов рассеяния минералов-спутников. При попутных поисках при съемке в м-бах 1:200 000—1:100 000 на территории с известной алмазонасностью необходимо: 1) установить минералы-спутники алмаза и примерные ореолы их рассеяния; 2) выяснить возможность обнаружения коренных источников и промежуточных

коллекторов алмазов; 3) выбрать площади для постановки поисково-разведочных работ на алмазы. В связи с этим следует увеличить количество маршрутов, объемы шлихового опробования и горных работ, предусмотреть мелкообъемное, а в некоторых случаях и крупнообъемное опробование, а при необходимости и геофизические работы. Поэтому, кроме отрядов, которые занимаются геологическим картированием, организуют специальный поисковый отряд.

Подготовка к полевым работам в данном случае проводится так же, как и для территорий с неизвестной алмазоносностью. Следует обязательно изучить шлихи, в которых ранее были обнаружены минералы-спутники алмаза. Необходимо обратить внимание на форму этих минералов, чтобы получить сведения о близости источников. По возможности алмазы должны быть детально изучены и сравнены с алмазами из близрасположенных районов.

Геологическое и геоморфологическое изучение необходимо начинать с участков, где ранее были обнаружены алмазы или их минералы-спутники. В этом случае прежде всего следует на месте ознакомиться с условиями залегания, вещественным составом и другими особенностями пород и рыхлых отложений, в которых найдены алмазы и их минералы-спутники. Если алмазы или их минералы-спутники обнаружены в отложениях различных генетических типов, то необходимо детально изучить каждый из этих типов.

Шлиховое опробование проводится в несколько большем объеме, чем при обычной съемке. В зависимости от сложности геологического строения исследуемого района (наличие разновозрастных промежуточных коллекторов, кимберлитоподобных пород) дополнительно отбирают 200—500 шлиховых проб, которые в поле обязательно предварительно просматривают для обнаружения минералов-спутников алмаза. Поисковый отряд должен начать работы с участков, где ранее были установлены минералы-спутники алмаза. Затем в его задачу входит детализация ореолов рассеяния минералов-спутников алмазов на участках, выделенных в результате шлихового опробования, проведенного съемочными отрядами. Общее руководство и координация работ по шлиховому опробованию должны осуществляться начальником геологосъемочной партии. Шлихи берут в основном из аллювиальных отложений. Делювиальные и элювиальные образования опробуют для установления локальных ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза и проверки аномалий трубочного типа. Эти работы чаще всего выполняет специальный отряд.

Мелкообъемное опробование в объеме 50—80 м³ за полевой сезон проводится специальным отрядом. Численность отряда устанавливается по СУСН и зависит от запланированного объема работ*.

* При незначительном количестве мелкообъемных проб или в небольшом объеме дополнительных шлихов может быть организован отряд, который будет проводить дополнительное шлиховое и мелкообъемное опробование.

Крупнообъемное опробование проводят только в тех случаях, когда в результате предыдущих работ обнаружены кимберлитовые трубки или кимберлитоподобные породы, алмазоносность которых необходимо установить, если нужно решить вопрос о степени алмазоносности отложений тех или иных генетических типов (см. «Крупнообъемное опробование»).

Из геофизических работ при попутных поисках обычно применяется магнитометрическая съемка в м-бе 1:10 000 с целью наземной проверки аэромагнитных аномалий трубочного типа, выявленных аэромагнитной съемкой. Объем этих работ должен быть небольшим. Проверяют только некоторые аномалии для установления их наземного характера (разной интенсивности, размеров и др.). Дополнительные горные работы применяют при отборе мелко- и крупнообъемных проб и в случае, если подтверждаются аномалии трубочного типа.

Задачи попутных поисков алмазов при геологической съемке м-бов 1:50 000 и 1:25 000 следующие: 1) уточнение ореолов рассеяния алмазов и его минералов-спутников и установление мест наибольшей их концентрации; 2) опробование на участках, благоприятных для концентрации алмазов; 3) выборочная проверка наиболее надежных магнитных аномалий на выявление кимберлитовых трубок; 4) опробование на алмазы элювия наиболее перспективных кимберлитовых тел; 5) выбор участков для постановки специальных поисково-разведочных работ на алмазы. Следовательно, для попутных поисков алмаза требуются дополнительные объемы шлихового, мелко- и крупнообъемного опробования, геофизических исследований и горных работ.

Материалы по алмазоносности собирают на всех этапах работ. В начальной стадии полевых работ осуществляют рекогносцировочный обзор (или облет) площади съемки для ознакомления с характером обнаженности, условиями залегания пород и их вещественным составом. При полевых работах следует обращать внимание на изучение и прослеживание грубокластических горизонтов, изверженных кимберлитоподобных пород щелочно-ультраосновного состава, кор выветривания и других геолого-геоморфологических особенностей района. В районах, перспективных в отношении россыпных месторождений, существенное значение имеет изучение происхождения и истории развития рельефа, особенно речной сети. Необходимо изучить формы рельефа, тектонические движения, в частности, поднятия и связанные с ними эрозионные процессы, историю развития древних и современных долин, условия формирования рыхлого покрова, стратиграфию и литологию рыхлых отложений, кору выветривания и др. Следует установить пути перемещения обломочного материала и места его аккумуляции на всех эрозионных уровнях долин, выяснить условия образования россыпей и их сохранность.

При геологической съемке м-ба 1:50 000 шлиховое опробование проводят на всей площади. В среднем на площади 100 км² отбирают 200—400 шлихов. Пробы берут из современных русловых

отложений, аллювия древних террас, рыхлых грубообломочных озерных и морских отложений. В случае положительного результата опробования аллювия следует обязательно опробовать в благоприятных местах делювиальные отложения склонов и элювий водоразделов. Объемные шлиховые пробы должны быть взяты из древних кор выветривания, выветрелых рыхлых конгломератов и гравелитов, древних галечников и крупнозернистых песков, а также из элювия кимберлитов.

Мелкообъемное опробование — обязательный вид работ. На 100 км² съемки обычно отбирают 20—30 проб. В первую очередь опробуют русловые отложения и элювий кимберлитов, затем выветрелые древние промежуточные коллекторы алмазов.

Крупнообъемное опробование проводят для констатации алмазов и предварительной оценки выявленных россыпей.

Для выборочной проверки наиболее надежных магнитных аномалий трубчатого типа используют наземную магнитную съемку. Проверяют только те аномалии, для которых характерны локальные ореолы рассеяния минералов-спутников алмаза. На этих локальных участках проводят магнитометрическую съемку м-ба 1 : 5 000. Площадь съемки устанавливают в зависимости от характера аномалии и ее размера. Дополнительные горные работы проводят при отборе мелко- и крупнообъемных проб и выяснении природы магнитных аномалий.

В результате попутных поисков при съемке м-ба 1 : 50 000 должны быть выбраны площади для постановки специальных поисково-разведочных работ: участки, в которых в результате опробования установлены повышенные содержания алмазов.

При попутных поисках алмазов при разведке россыпей на золото, платину и другие минералы, в районах, перспективных на алмазы, дополнительному валовому опробованию на алмазы должны быть подвергнуты разведочные горные выработки: шурфы, шахты и рассечки.

При разведке россыпей буровыми скважинами следует собирать шлихи для изучения минерального состава. Пробы отбирают на стадии предварительной разведки. Добытую массу из горных выработок тщательно промывают и весь класс —8+1 мм, прошедший через грохот, следует собрать в одну пробу по каждой линии, а затем подвергнуть дальнейшей обработке. В случае обнаружения алмазов необходимо провести контрольное опробование специально на алмазы.

Основные россыпные месторождения алмазов приурочены к древним платформам. В складчатых областях известны небольшие россыпи или единичные находки алмазов, которые привносились из территорий платформ.

Среди россыпей алмазов древних платформ выделяются две возрастные (докембрийские и фанерозойские) и две генетические (ближнего и дальнего сноса) группы, которые отличаются условиями формирования, масштабами алмазоносности и промышленной ценностью алмазов. Россыпи ближнего сноса пространственно привязаны к первоисточникам и представлены элювиальными, делювиальными, пролювиальными, аллювиальными и эоловыми генетическими типами. Они характеризуются небольшими масштабами и только в районах размыва промежуточных коллекторов и развития карста могут образовывать крупные месторождения. Промышленные концентрации алмазов в месторождениях происходят только на небольших участках в тех случаях, когда привнос алмазов преобладает над выносом. Россыпи дальнего сноса формируются в благоприятной тектонической и геолого-фациальной обстановках и удалены от первоисточников на десятки и даже сотни километров. Они представлены аллювиальными, озерными, морскими и ледниковыми генетическими типами, могут достигать больших масштабов и образовывать высокие промышленные концентрации. Формирование россыпей этой группы обусловлено высокой механической и химической прочностью алмазов, что обеспечивает их сохранность при длительной транспортировке и неоднократном переложении.

Промышленные месторождения алмазов образуются только при взаимодействии комбинации таких факторов россыпеобразования, как тип первоисточника, климатический, геолого-структурный, геоморфологический, литологический и фактор времени. Для россыпей ближнего сноса определяющие факторы — тип первоисточника и климатический. Выделяется шесть типов первоисточников (отдельная кимберлитовая трубка, группа кимберлитовых трубок, отдельная дайка, группа даек, промежуточный коллектор площадного развития, промежуточный коллектор линейной формы), из которых наиболее благоприятен промежуточный коллектор площадного развития. Последний даже при низкой степени алмазоносности приводит в определенной геологической обстановке к формированию богатых россыпей. Климатический фактор определяет характер интенсивности процессов россыпеобразования. В тропических зонах он обуславливает образование аллювиальных, делювиальных и пролювиальных россыпей, в арктических и умеренных — преобладание россыпей аллювиального типа. При

формировании россыпей дальнего сноса основные факторы россыпеобразования — тип первоисточника, климатический, геологоструктурный, геоморфологический, литологический и фактор времени. Первые три определяют количество и дальность переноса алмазов, три последних — зоны аккумуляции и тип месторождений. Аллювиальные промышленные месторождения дальнего сноса формируются за счет размыва группы кимберлитовых тел, или промежуточных коллекторов площадного развития в горно-равнинных реках. Зоны аккумуляции контролируются резкими перегибами продольных профилей рек и литологией плотика. Озерные и морские россыпи формируются за счет промежуточных коллекторов или групп кимберлитовых тел, расположенных как на побережье, так и на континенте при достаточной активности транспортировки реками алмазов к побережью.

Распределение алмазных россыпей на древних платформах по вертикали подчиняется зональности, выражающейся в закономерной смене алмазоносных терригенных формаций и существованием алмазоносных эпох, макроритмов, стадий и подстадий россыпеобразования, характеризующихся определенными типами месторождений и степенью алмазоносности. Алмазоносные эпохи, их число и степень алмазоносности на древних платформах зависят от возраста и продуктивности кимберлитопоявлений и периодов размыва промежуточных коллекторов. Общее для всех платформ — существование докембрийской, верхнепалеозойской, мезозойской и кайнозойской алмазоносных эпох. В состав алмазоносных эпох входят континентальные и морские макроритмы формирования россыпей. Континентальный макроритм состоит из двух стадий: корообразования (переотложения кор выветривания) и денудационного цикла. В первую стадию образуются элювиальные, делювиальные и пролювиальные россыпи ближнего сноса, во вторую — аллювиальные, озерные, золотые ближнего и аллювиальные дальнего сноса. В составе морского макроритма выделяются три стадии: трансгрессивная, устойчивого морского режима и регрессивная. Первая наиболее благоприятна для формирования россыпей, вторая — неблагоприятна, третья — благоприятна в условиях, когда размываются близрасположенные богатые первоисточники алмазов или алмазоносные нижележащие отложения трансгрессивной стадии.

Размещение алмазных россыпей на древних платформах подчинено латеральной зональности. Выделяются три макрзоны: антеклиз и щитов, синеклиз и крупных прогибов и зона сочленения антеклиз и щитов с синеклизмами и прогибами. В каждой из макрзон выделяются мезо- и микрзоны разной степени перспективности. В первой зоне концентрируются россыпи ближнего сноса, ко второй приурочены непромышленные месторождения дальнего сноса и к третьей — богатые месторождения дальнего сноса. В первой макрзоне мелкие месторождения приурочены к богатым первоисточникам, крупные формируются в пределах тектонических блоков с дифференцированными подвижками. Во время опусканий

в пределах этих блоков могут формироваться промежуточные коллектора площадного типа, во время поднятий — их размыв и образование крупных аллювиальных россыпей. Перспективными в таких макрizonaх могут быть также участки, где происходит замедление гидродинамических процессов и аккумуляция алмазов. В пределах второй макрizona наиболее перспективны участки интенсивных поднятий, где происходит вынос минералов легкой фракции и за счет этого происходит некоторое обогащение на месте. Наиболее благоприятна для формирования россыпей дальнего сноса третья макрizona. На всем протяжении она примерно одинаково перспективна.

Основа прогнозирования фанерозойских алмазных россыпей на древних платформах — закономерности формирования россыпей ближнего и дальнего сноса, вертикальная и латеральная зональности в размещении алмазных месторождений и практическая значимость отдельных генетических типов россыпей. Критерии прогноза докембрийских россыпей характеризуются своими отличительными особенностями: месторождения и алмазопоявления приурочены к основанию осадочного чехла протоплатформ, базальным горизонтам осадочного чехла близ выступов кристаллического фундамента, к платформенным окраинам миогеосинклинальных прогибов, развившихся на консолидированном нижнедокембрийском основании. Наиболее благоприятны для аккумуляции алмазов грубообломочные фации прибрежно-морского генезиса, отложения дельт и прибрежных аллювиальных равнин, а также флювиогляциальные фации ледниковых отложений. Для прогноза докембрийских отложений необходимо пользоваться критериями древности алмазов, под которыми понимаются специфические их свойства: пигментация, зеленый цвет, механический износ, высокая сортность.

Алмазы встречаются в россыпных месторождениях в рассеянном виде. Малая величина кристаллов и их ничтожное содержание, выражающееся в миллионных долях процента по отношению к вмещающей породе, требуют очень тонкой методики констатации и извлечения алмазов. Плотность алмаза (3,5) мало отличается от плотности породообразующих минералов, поэтому нужна очень надежная методика обогащения алмазоносных пород, чтобы при незначительной разнице в плотности выявить те немногочисленные кристаллы, которые содержатся в тоннах исходной породы.

Для установления алмазов в россыпях различных генетических типов необходимо брать пробы большого объема — от 1 до 60 м³ и более, в зависимости от содержаний алмазов и их крупности.

Основные методы поисковых работ — маршрутные геолого-геоморфологические исследования, крупномасштабная геологическая съемка, шлиховое, мелко- и крупнообъемное опробование.

Поиски алмазных россыпей должны вестись целенаправленно, а не попутно с поисками коренных месторождений или других полезных ископаемых. Только научный прогноз и целенаправленные поиски могут привести к обнаружению россыпей алмазов.

- Алмазные месторождения Якутии. М., Госгеолтехиздат, 1959. 526 с. Авт.: А. П. Бобрневич, М. Н. Бондаренко, М. А. Гневушев и др.
- Алмазоносные россыпи Западной Якутии. М., «Наука», 1967. 280 с. Авт.: И. С. Рожков, Г. П. Михалев, Б. И. Прокопчук, Э. А. Шамшина.
- Алмазы Сибири. М., Госгеолтехиздат, 1957. 159 с. Авт.: А. П. Бобрневич, М. Н. Бондаренко, М. А. Гневушев и др.
- Аглонов Б. А. Учение о реках. М., Изд. МГУ, 1963. 423 с.
- Арсеньев А. А. О закономерностях размещения кимберлитов в восточной части Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1961, т. 197, № 5, с. 1170—1173.
- Бартошинский З. В. Сравнительная характеристика алмазов из различных месторождений Западной Якутии. — «Геология и геофизика», 1961, № 6, с. 40—50.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., Изд-во АН СССР, 1955. 471 с.
- Бобрневич А. П., Смирнов Г. И., Юрк Ю. Ю. О россыпной алмазоносности юго-западной части Русской платформы. — В кн.: Алмазоносность юго-западной окраины Русской платформы. Киев, «Наукова думка», 1970, с. 136—160.
- Бондаренко Н. Г. Некоторые вопросы геологии россыпей. Магадан, ОНТИ Магаданского Совнархоза, 1957. 58 с.
- Бондаренко Н. Г. Образование, строение и разведка россыпей. М., «Недра», 1975. 56 с.
- Брафогель Ф. Ф., Ковальский В. В. О денудационном срезе на территории основных кимберлитовых полей Якутии. — В кн.: Материалы по геологии Западной Якутии. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1973, с. 46—53.
- Буров А. П., Воларович Г. П. Инструкция по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых к россыпным месторождениям алмазов. М., Госгеолтехиздат, 1952. 40 с.
- Васильев В. Г., Ковальский В. В., Черский Н. В. Происхождение алмазов. М., «Недра», 1968. 260 с.
- Великанов М. А. Динамика русловых потоков. Л., «Гидрометеониздат», 1949. 473 с.
- Великанов М. А. Динамика русловых потоков. Т. 2. Наносы и русло. М., Гостехиздат, 1955. 323 с.
- Вербицкая Н. П., Плотнокова М. И. Региональные и локальные закономерности размещения экзогенных месторождений алмаза. Л., «Недра», 1971. 80 с.
- Владимиров Б. М., Твердохлебов В. А., Колесников Т. П. Геология и петрография изверженных пород юго-западной части Гвинеиско-Либерийского щита. М., «Наука», 1971. 242 с.
- Воскресенский С. С. Формирование приплотиковых горизонтов аллювиальных отложений. — В кн.: Вопросы морфолитогенеза в речных долинах. Чита, Читинское книжное изд-во, 1974, с. 8—10.
- Геологическое строение и алмазоносность юго-западной части Сибирской платформы. М., Изд-во АН СССР, 1960. 98 с. Авт.: В. Е. Дибров, И. К. Мионов, Ф. И. Холь и др.
- Гневушев М. А. Алмазы Западной Якутии. Л., Автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. геол.-минерал. наук, 1958. 15 с.
- Гневушев М. А., Бартошинский З. В. К морфологии якутских алмазов. — «Труды ЯФ СО АН СССР», 1959, сб. 4, с. 74—92.
- Гневушев М. А., Шеманина Е. М. Опыт классификации кристаллов алмаза. — «Минерал. сб. Львовского гос. ун-та», 1970, № 24, вып. 1, с. 45—51.
- Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков. Л., Гидрометеониздат, 1962. 374 с.
- Горбунов Е. З. К вопросу о дальности переноса россыпного золота от коренных источников. — «Советская геология», 1959, № 6, с. 98—105.

Горбунов Е. З. Особенности развития гидросети и вопросы россыпной золотоносности на Северо-Востоке СССР. — «Советская геология», 1963, № 4, с. 73—84.

Гришанин К. В. Динамика русловых потоков. Л., Гидрометеониздат, 1969. 428 с.

Докембрийские алмазоносные формации мира. М., «Недра», 1976. 133 с. Авт.: М. П. Метелкина, Б. И. Прокопчук, О. В. Суходольская и др.

Дьяков А. Г. Закономерности размещения молодых алмазных россыпей Сибирской платформы. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 4. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 27—32.

Дьяков А. Г. Некоторые особенности формирования алмазных россыпей. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1961, с. 96—97. (Тезисы совещ. по геол. алмазных месторождений Якутии.)

Дьяков А. Г. Методика поисков и разведки алмазных месторождений. — В кн.: Алмазоносность юго-западной окраины Русской платформы. Киев, «Наукова думка», 1970, с. 92—99.

Дьяков А. Г., Бартошинский Э. В. Транспортировка и характер износа алмазов аллювиальных россыпей Якутии. — «Труды ЯФ СО АН СССР», 1961, сб. 6, с. 123—135.

Дьяков А. Г., Шукун В. Н. Геология, алмазоносность и закономерности размещения коренных месторождений алмазов Якутии. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1961, с. 103—104. (Тезисы совещ. по геол. алмазных месторождений Якутии.)

Дю-Тойт. Геология Южной Африки. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1957. 489 с.

Елисеев В. И. О перспективах алмазоносности Народной Республики Конго (Браззавиль). — «Советская геология», 1971, № 6, с. 26—29.

Ерофеев Б. Н., Коничев М. И. О брошюре Н. Г. Бондаренко: «Некоторые вопросы геологии россыпей». — «Колыма», 1958, № 5, с. 47—50.

Жуков В. В. Условия формирования прибрежно-морских россыпей алмазов на юго-западе моря Лаптевых. — В кн.: Россыпная алмазоносность Средней Сибири. Л., Изд. НИИГА, 1973, с. 27—28.

Жуков В. В., Горина И. Ф., Пинчук Л. Я. Кайнозойские алмазоносные россыпи Анабаро-Оленекского междуречья. Л., «Недра», 1968. 143 с.

Зведер Л. Н. О роли тектонической трещиноватости при формировании взрывных воронок кимберлитовых трубок в Западной Якутии. — «Геология и геофизика», 1967, № 12, с. 106—108.

Зимин Л. А. К проблеме установления закономерностей возникновения и пространственного размещения кимберлитов на Сибирской платформе. — В кн.: Тектоника Восточной Сибири и Дальнего Востока СССР. Новосибирск, «Наука», 1967, с. 36—45.

Зольников Г. В., Егоров О. С. Полосатые текстуры в кимберлитовых породах из кимберлитовых трубок Якутии. — «Геология и геофизика», 1970, № 5, с. 64—71.

Иванкин П. Ф. О системном подходе в геологических исследованиях. — «Советская геология», 1973, № 8, с. 1—13.

Илупин И. П. Особенности минералогического состава кимберлитов из разных алмазоносных районов Западной Якутии. — В кн.: Геология алмазных месторождений. — «Труды ЯФ СО АН СССР», 1963, сб. 9, с. 54—64.

Илупин И. П. О содержании пиропы и пикроильменита в кимберлитах Якутии. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1971, ч. 100, вып. 4, с. 509—512.

Имишенецкий А. И. О концентрациях тяжелых минералов в аллювии по данным экспериментальных работ. — «Советская геология», 1959, № 7, с. 81—88.

Имишенецкий А. И. Об экспериментальном изучении зависимости между донными скоростями течения и величиной транспортируемых обломков различного удельного веса. — «Минеральное сырье», 1960, вып. 1, с. 205—224.

Казакевич Ю. П. Условия образования и сохранения сложных погребенных россыпей золота. М., «Недра», 1972. 216 с.

Каминский Ф. В. Закономерности размещения кимберлитовых тел и родственных пород на Сибирской платформе. — «Докл. АН СССР», 1972, т. 204, № 5, с. 1187—1190.

Карташев И. П. Оценка влияния геоморфологических условий при поисках аллювиальных россыпей. — «Разведка и охрана недр», 1966, № 9, с. 6—12.

Казн Л. Геология Бельгийского Конго. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1958. 460 с.

Ковальский В. В. Кимберлитовые породы Якутии и основные принципы их генетической классификации. М., Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.

Ковальский В. В., Брахфогель Ф. Ф., Никишев К. Н. Кембрийская фауна в ксенолитах из кимберлитовых трубок Восточного склона Анабарского поднятия. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 211, № 5, с. 1161—1164.

Ковальский В. В., Никишев К. Н., Егоров О. С. Кимберлитовые и карбонатитовые образования юго-восточного склона Анабарской антеклизы. М., «Наука», 1969. 288 с.

Колотухина С. Е. Стратиграфия докембрия Африканской платформы. — «Бюлл. МОИП. Отд. геол.», т. 39, вып. 2, 1964, с. 24—51.

Колотухина С. Е., Первухина А. Е., Рожанцев А. В. Геология месторождений редких элементов Африки. М., «Наука», 1964. 304 с.

Кострюков М. С., Прокопчук Б. И. Условия формирования покровных (эйкских) отложений Приленской алмазоносной области. — «Советская геология», 1966, № 7, с. 127—132.

Кривонос В. Ф., Прокопчук Б. И. Эпохи кимберлитового вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы. — «Советская геология», 1973, № 3, с. 11—20.

Кришнам М. С. Стратиграфия докембрия Индии. — В кн.: «Труды XXI Международного геол. конгресса», М., 1963, вып. 1, с. 363—379.

Крутойрский М. А. Рациональный метод составления шлиховых карт. — «Информ. бюлл. НИИГА», 1960, вып. 21, с. 52—61.

Крюков А. В. Основные черты алмазоносности Красноярского края. — В кн.: Материалы по металлогении и полезным ископаемым Красноярского края. Красноярск, Красноярское книжное изд-во, 1968, вып. 5, с. 155—171.

Кухаренко А. А. Алмазы Урала. Л., Госгеолтехиздат, 1955. 507 с.

Леонов Б. Н., Прокопчук Б. И. К вопросу о возрасте кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы. М., «Недра», 1962, с. 80—84. (Труды Всесоюз. аэрогеологического треста).

Леонов Б. Н., Прокопчук Б. И. Россыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы и некоторые вопросы методики их поисков. — В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 303—311.

Леонов Б. Н., Прокопчук Б. И., Орлов Ю. Л. Алмазы Приленской области. М., «Наука», 1966. 279 с.

Ли Л. В. Антропогенные россыпи золота бассейна правобережья Верхней Колымы, закономерности их размещения и условия образования. — В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 131—139.

Лопатин Г. В. Наносы рек СССР (образование и перенос). — «Зап. Всесоюз. географ. о-ва. Нов. серия», т. 14, М., Госгеографиздат, 1952, с. 16—28.

Меняйлов А. А. Туфы и кимберлиты Сибирской платформы и их происхождение. — «Труды ЯФ СО АН СССР», 1962, № 10, с. 200—228.

Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Недра», 1965. 390 с.

Милашев В. А. Физико-химические условия образования кимберлитов. Л., «Недра», 1972. 176 с.

Милашев В. А. Кимберлитовые провинции. Л., «Недра», 1974. 238 с.

Михайлов М. В., Гридасов Н. В. К вопросу о возрасте кимберлитовой трубки Мир. — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1963, с. 64—70.

Мягков В. Ф., Баталов В. А. О методике выявления минералов-спутников алмаза, предложенной Ю. В. Шурубором. — «Советская геология», 1967, № 1, с. 164—170.

Наливкин Д. В. Учение о фациях. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1956. 534 с. (т. 1), 393 с. (т. 2).

Никишев К. Н., Ковальский В. В., Брахфогель Ф. Ф. Вертикальная зональность проявлений кимберлитового магматизма. — В кн.: Материалы по геологии Западной Якутии. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1973, с. 12—20.

Новые данные по геологии и разработке алмазных месторождений за рубежом. М., «Недра», 1966. 49 с.

Одинцов М. М. Основные черты геологии Сибирской алмазоносной провинции. — «Изв. Вост.-Сиб. фил. СО АН СССР», Иркутск, 1957, № 1, с. 27—34.

Одинцов М. М. Материалы по геологии и алмазоносности Сибирской платформы. — «Труды Вост.-Сиб. фил. СО АН СССР», Иркутск, 1958, вып. 14, с. 37—75.

Одинцов М. М. Геологические предпосылки и перспективы алмазоносности юго-западной части Сибирской платформы. — «Советская геология», 1965, № 5, с. 71—82.

Одинцов М. М., Владимиров Б. М. Некоторые общие закономерности пространственного размещения кимберлитов и алмазных месторождений в земной коре. — В кн.: Вопросы генезиса и закономерности размещения эндогенных месторождений. М., «Наука», 1966, с. 34—51.

Оливейра А. И. Бразилия. — В кн.: Очерки по геологии Южной Америки. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1959, с. 120—131.

Орлова М. Т. Минералогические критерии оценки перспектив алмазоносности древних толщ западного склона Урала. — «Советская геология», 1971, № 9, с. 109—117.

Орлов Ю. Л. Морфология алмаза. М., Изд-во АН СССР, 1963. 235 с.

Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. М., «Наука», 1973. 223 с.

Орлов Ю. Л., Прокопчук Б. И. Алмазы из русловых отложений р. Моторчунь. М., «Наука», 1963, с. 155—165. (Труды Минерал. музея АН СССР. Вып. 16.)

Орлянкин В. Н. Дешифрирование аэрофотоснимков при изучении россыпных месторождений алмазов. М., 1962, с. 42—48. (Труды Всесоюз. аэрогеологического треста. Вып. 8.)

Осипова З. В. Литология базальных горизонтов среднелайасовых отложений северо-восточной части Сибирской платформы в связи с их алмазоносностью. — «Учен. зап. НИИГА», 1963. Вып. 1, с. 101—123.

Осипова З. В. Минералогические критерии литостратиграфического расчленения алмазоносных мезозойских отложений Якутии. — В кн.: Геология и прогнозирование месторождений алмазов. М., Изд. ВИЭМС, 1974, с. 100—101.

Павлов С. Ф. Геология и палеогеография верхнепалеозойских и нижнетриасовых отложений юга Тунгусской синеклизы. М., «Наука», 1968. 173 с.

Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М., «Недра», 1964. 190 с. Авт.: А. П. Бобриневич, И. П. Илупин, И. Т. Козлов и др.

Пейве А. В. Общая характеристика, классификация и пространственное положение глубинных разломов. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1956, № 1, с. 90—105.

Плотникова М. И., Салтыков О. Г. Принципы и методика составления среднемасштабных минералогических и прогнозных карт алмазных россыпей Западной Якутии. — «Советская геология», 1968, № 1, с. 78—91.

Плотникова М. И., Салтыков О. Г., Кардопольцева О. И. Закономерности размещения алмазоносных россыпей Приленского района (Западная Якутия). — «Геология и геофизика», 1967, № 11, с. 31—37.

Прокопчук Б. И. Применение материалов аэрофотосъемки при поисках россыпных месторождений алмазов в северо-восточной части Сибирской платформы. — «Вестн. Моск. ун-та. Серия геогр.», 1961, № 6, с. 35—40.

Прокопчук Б. И. Неотектоника Лено-Оленекского междуречья и ее влияние на размещение и обогащение аллювиальных россыпей алмазов. — «Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1962, № 5, с. 48—54.

Прокопчук Б. И. Первая находка алмазов в келловейских отложениях северо-восточной части Сибирской платформы. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1964, № 9, с. 94—95.

Прокопчук Б. И. Кора выветривания оксфорд-киммериджского возраста на северо-востоке Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1965, т. 164, № 6, с. 1382—1385.

Прокопчук Б. И. К истории формирования разновозрастных россыпей алмазов на северо-востоке Сибирской платформы. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1966, № 4, с. 41—55.

Прокопчук Б. И. О приплотиковом элювии на северо-востоке Сибирской платформы и влиянии его на концентрацию алмазов в россыпях. — «Литология и полезные ископаемые», 1966, № 3, с. 126—128.

Прокопчук Б. И. Некоторые закономерности размещения алмазов в русловых россыпях заполярной части северо-востока Сибирской платформы (Приленская алмазоносная область). — «Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1967, № 4, с. 62—68.

Прокопчук Б. И. Об условиях необходимых для образования богатых аллювиальных россыпей алмазов в Западной Якутии (на примере Эбеляхской русловой россыпи). — «Докл. АН СССР», 1969, т. 189, № 6, с. 1355—1358.

Прокопчук Б. И. Применение метода палеогеоморфологического анализа при поисках и изучении юрских россыпей алмазов в северо-восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Проблемы палеогеоморфологии. М., 1970, с. 285—290.

Прокопчук Б. И. Зональность в распределении алмазных россыпей на древних платформах. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 212, № 5, с. 1188—1191.

Прокопчук Б. И. Формирование алмазных россыпей в условиях арктического климата и многолетней мерзлоты. Доклады и сообщения. — В кн.: Генезис, состав и строение мерзлых толщ и подземные льды. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1973, с. 82—85. (Материалы II международной конференции по мерзлотоведению. Вып. 2.)

Прокопчук Б. И. Зональность размещения алмазных россыпей на древних платформах. — В кн.: Минеральные месторождения. М., «Наука», 1976, с. 186—196. (Тр. Международного геол. конгресса, 25 сессия, докл. советских геологов.)

Прокопчук Б. И., Дорганов Г. Ф. О зависимостях между содержаниями алмазов и мощностями аллювия в русловых россыпях. — «Советская геология», 1970, № 9, с. 96—106.

Прокопчук Б. И., Израилев Л. М. Первые находки алмазов в нижнеюрских базальных конгломератах западного склона Приверхоянского краевого прогиба. — «Докл. АН СССР», 1962, т. 147, № 4, с. 906—907.

Прокопчук Б. И., Израилев Л. М. Алмазы северо-восточной части Сибирской платформы, приуроченные к интрузивному галечнику нижнеюрского возраста. — «Советская геология», 1964, № 2, с. 146—149.

Прокопчук Б. И., Израилев Л. М. Направления сноса грубообломочного материала и алмазов на северо-востоке Сибирской платформы в нижнеюрское время. — «Изв. Высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1965, № 5, с. 19—28.

Прокопчук Б. И., Кострюков М. С., Королева Н. М. Сохранность пиропса в зависимости от условий транспортировки рыхлых отложений. — «Изв. Высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1964, № 5, с. 58—63.

Прокопчук Б. И., Метелкина М. П. Условия формирования прибрежно-морских россыпей алмазов юрского возраста на северо-востоке Сибирской платформы. — «Морская геология и геофизика», 1976, № 5, с. 64—72.

Прокопчук Б. И., Метелкина М. П. Основные эпохи формирования алмазных россыпей на древних платформах. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1976, № 9, с. 133—146.

Прокопчук Б. И., Сергиенко В. М., Макарова Н. В. Алмазы северо-восточной части Сибирской платформы (Приленская алмазоносная область). — «Докл. АН СССР», 1964, т. 154, № 3, с. 610—612.

Прокопчук Б. И., Скосырев В. А. Состав грубообломочного аллювия рек Анабарского района в связи с проблемой алмазоносности. — «Литология и полезные ископаемые», 1974, № 2, с. 115—119.

Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г. Использование анализа тяжелой фракции шлихов для восстановления плана древней речной сети (на примере р. Оленек в Западной Якутии). — «Изв. Высш. учеб. заведений. Геология и разведка», 1973, № 1, с. 68—74.

Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г. Первые находки минералов-спутников алмаза и алмаза в центральной части Вилюйской синеклизы (бассейн нижнего течения р. Тунг). — «Докл. АН СССР», 1975, т. 218, № 5, с. 438—441.

Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г., Кривонос В. Ф. Минеральный состав тяжелой фракции и источники сноса пермских отложений Лено-Анабарского между-

речь (северо-восток Сибирской платформы). — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1973, № 5, с. 82—92.

Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г., Скосырев В. А. Первая находка реликтов отложений карбонового возраста в бассейне р. Анабар (Западная Якутия). — «Докл. АН СССР», 1970, с. 193, № 5, с. 1137—1139.

Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г., Скосырев В. А. Минералогическая характеристика меловых отложений бассейна р. Анабар. — «Советская геология», 1974, № 5, с. 125—132.

Прокопчук Б. И., Сузов М. В. Алмазоносность верхнеюрских конгломератов на Сибирской платформе. — «Разведка и охрана недр», 1960, с. 41—42.

Прокопчук Б. И., Суходольская О. В., Метелкина М. П. Использование специфических свойств уральских алмазов для оценки возраста и генезиса их источников. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 5, с. 6—8.

Разумихин Н. В. Экспериментальные данные о распределении тяжелых минералов в русловом аллювии. — «Вестн. Ленинград. ун-та. Серия геол. и географ.», 1959, № 12, с. 18—29.

Разумихин Н. В. Использование экспериментальных методов для решения некоторых вопросов формирования россыпей. — В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 335—343.

Разумихин Н. В., Тимашкова З. Н. Экспериментальные данные о закономерностях распределения некоторых тяжелых минералов на различных морфологических элементах россыпи. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. т. 4. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 224—237.

Рожков И. С. Основные факторы образования россыпей и характеристика их типов. — «Разведка и охрана недр», 1955, № 4, с. 9—16.

Рожков И. С. Генетические типы алмазных россыпей Мало-Ботуобинского района Западной Якутии. — «Геология и геофизика», 1960, № 3, с. 3—17.

Рожков И. С., Михалев Г. П., Зарецкий Л. М. Алмазные россыпи Мало-Ботуобинского района Западной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1963. 180 с.

Романовский В. И. Применение математической статистики в опытном деле. М., «Недра», 1974. 127 с.

Ружицкий В. О., Скульский В. Д. Алмазоносные провинции и районы Западной и Центральной Африки. — В кн.: Полезные ископаемые и закономерности их размещения в странах Африки и зарубежной Азии. М., Изд. ВИАМС, 1970, с. 45—53.

Ружицкий В. О., Скульский В. Д. Месторождения алмазов Африки. М., Изд. ВИАМС, 1971. 76 с.

Рухин Б. М. Основы общей палеогеографии. Л., Гостоптехиздат, 1959. 557 с.
Сарсадских Н. Н. Поиски месторождений алмаза по минералам-спутникам. — «Информ. сб. ВСЕГЕИ», 1958, № 5, с. 122—131.

Сарсадских Н. Н. Поиски месторождений алмаза по пиропу. — «Бюлл. научно-технической инф. М-ва геол. и охраны недр СССР», 1958, № 1, с. 13—17.

Сарсадских Н. Н. Структурный фактор размещения кимберлитов на Сибирской платформе и прогнозирование коренной алмазоносности. — В кн.: Прогнозирование и методика поисков месторождений никеля, олова и алмазов в Советской арктике. Л., «Недра», 1968, с. 72—76.

Сарсадских Н. Н. Основы научного прогнозирования эндогенных месторождений алмаза (на примере Сибирской платформы). Л., «Недра», 1972. 21 с.

Сергиенко В. М., Прокопчук Б. И. Новый принцип составления шликовых карт для территорий перспективных на алмазы. — «Разведка и охрана недр», 1964, № 9, с. 11—16.

Сибирцев Ю. М., Прокопчук Б. И. Новые данные о возрасте кимберлитов северо-восточной части Сибирской платформы (бассейн р. Куойки). — «Докл. АН СССР», 1962, т. 144, № 3, с. 431—432.

Сидоренко А. В. Доледниковая кора выветривания Кольского полуострова. М., Изд-во АН СССР, 1958, 108 с.

Синюгина Е. Я., Лапин С. С. Распределение золота в аллювиальных россыпях. — «Труды ЦНИГРИ», 1967, вып. 76, с. 189—202.

Смирнов Г. И. К минералогии сибирских кимберлитов. — «Труды ЯФ СО АН СССР. Серия геол.», 1959, вып. 44, с. 47—73.

Соболев В. С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, Борнео и Северной Америки. М., Госгеолтехиздат, 1951, 125 с.

Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов. — «Геология и геофизика», 1971, № 3, с. 70—80.

Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, «Наука», 1974. 264 с.

Сочнева Э. Г., Прокопчук Б. И. Минералогический анализ тяжелой фракции терригенных отложений. М., «Недра», 1976. 143 с.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1962. 212 с. (т. 1), 574 с. (т. 2), 550 с. (т. 3).

Тектоническое строение Якутской АССР. М., «Наука», 1964. 291 с. Авт.: К. Б. Мокшанцев, Д. К. Горнштейн, И. С. Рожков и др.

Трофимов В. С. Гумидный тип литогенеза и связанные с ним россыпи полезных ископаемых. — В кн.: Генезис и литология континентальных экзогенных месторождений. М., «Наука», 1965, с. 112—123.

Трофимов В. С. Закономерности размещения и образования алмазных месторождений. М., «Недра», 1967. 229 с.

Трофимов В. С. Новые данные по экономике и геологии зарубежных месторождений алмазов (обзор иностранной литературы за 1965—1969 гг.). М., Изд. ВНИЭМС, 1971. 48 с.

Файнштейн Г. Х. Закономерности формирования и размещения алмазных россыпей Западной Якутии. — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. М., Геолтехиздат, 1962, вып. 9, с. 41—42.

Файнштейн Г. Х. Осадочные серии юры юго-западной Якутии. Якутск, Якутское книжное изд-во, 1962, с. 49—57. (Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. Вып. 20.)

Файнштейн Г. Х., Одинцова М. М. Закономерности размещения россыпных месторождений алмазов в северной и центральной частях Сибирской платформы. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 4. М., 1960, с. 179—191.

Францессон Е. В. Критерии алмазоносности кимберлитовых пород. — «Советская геология», 1972, № 5, с. 61—70.

Францессон Е. В., Каминский Ф. В. Карбонадо — разновидность алмаза некимберлитового генезиса. — «Докл. АН СССР», 1974, т. 219, № 1, с. 187—189.

Францессон Е. В., Каминский Ф. В. Методика составления прогнозных карт коренных месторождений алмазов. — «Советская геология», 1974, № 1, с. 30—42.

Хаин В. Е. Региональная геотектоника (Северная и Южная Америка, Антарктида, Африка). М., «Недра», 1971. 548 с.

Харьков А. Д. Типоморфизм минералов-спутников алмаза и его значение при поисках кимберлитов. — В кн.: Геология и прогнозирование месторождений алмазов. М., 1974, с. 109—110.

Харьков А. Д., Белик Ю. П., Илупин И. П. О находке «кубоидов» пиропана Сибирской платформе. — «Геология и геофизика», 1970, № 7, с. 117—121.

Харьков А. Д., Прокопчук Б. И. К вопросу о происхождении слоистых пород в кимберлитовой трубке Айхал. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1973, № 7, с. 11—15.

Хрипков А. В. Некоторые особенности россыпей золота. — «Колыма», 1963, № 11, с. 21—24.

Чеботарев А. И. Общая гидрология суши (воды суши). М., Гидрометеоздат, 1975. 544 с.

Черняховский А. Г. Элювий и продукты его переотложения. М., «Наука», 1966. 179 с.

Чистяков Г. Е. Водные ресурсы рек Якутии. М., «Наука», 1964. 205 с.

Шамов Г. И. Речные наносы (режим, расчеты и методы измерений). М., Гидрометеоздат, 1959. 378 с.

Шанцер Е. В. О генетических типах континентальных отложений и генетических типах россыпей. — В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 14—27.

Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., «Наука», 1966. 239 с.

Шило Н. А. Некоторые принципы классификации россыпных проявлений. Магадан, Магаданское книжное изд-во, 1958. 21 с.

Шило Н. А. Россыпеобразующие рудные формации и связь с ними россыпей. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, Магаданское книжное изд-во, 1970, с. 13—24.

Шумилов Ю. В. К вопросу о количественной оценке процессов россыпеобразования. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, Магаданское книжное изд-во, 1970, с. 125—132.

Шурубор Ю. В. Статистическая обработка данных шлихового опробования с целью выявления спутников алмаза (на примере одного из алмазоносных районов Урала). — «Советская геология», 1965, № 8, с. 126—130.

Эрлих Э. Н. Тектоника Анабарской антеклизы и закономерности проявления кимберлитового и траппового вулканизма. — «Труды ЯФ СО АН СССР», № 9, 1963, с. 22—38.

Almeida R. Diamonds in Brazil. — „Gems a. Minerals“, 1968, N 375, 53 p.

Applin K. E. S. Sampling of alluvial diamond deposits in West Africa. — „Trans. Inst. Mining and Metallurgy“, 1972, vol. 81, N 785 p. 762—777.

Applin K. E. S. Sampling of alluvial diamond deposits in West Africa. In: Geological, mining and metallurgical sampling. — „Trans. Inst. Mining and Metallurgy“, England, 1974, p. 120—135.

Bandy M. C. The Somabula Forest diamond field Southern Rhodesia. — „Rocks a. Minerals“, 1955, N 9—10.

Bardet M. G. Geologie du diamant Metares du B. R. G. M. Premier partie, generalites. Paris, 1973, N 83.

Beetz W. Processes of concentration in alluvial and allied diamond placers of S.-W., S., Central and E. Africa. Liege, 1930. (Congres intern. des Mines etc., 6 session.)

Belsson J. H., Stephens E. A. An appraisal of diamonds finds in Peninsular Thailand. — „Trans. Inst. Mining and Metallurgy“, 1967, Br. 76, p. 125—126.

Black diamond deposits East. — „Metall Rev.“, 1956, vol. 9, N 43, p. 1006—1008.

Borchers A. Beach mining at Consolidated Diamond mines of South West Africa Ltd: exploitation of the area between the big-and lowwater marks. — „Min. Petrol. Technology Sect“, 1969, paper 18, — „Mining a Metallurgy Abst.“, 1969, N 19 (5).

Carter J. D. Diamond exploration in Western Australia. — „Geol. Surv. West. Aust.“, 1974, p. 73—79.

Collins R. S. Diamonds China. — „Diamont“, 1970₁, N 130, p. 9—10.

Collins R. S. Diamonds South—West Africa. — „Diamont“, 1970₂, N 132, p. 5—7.

Diamond dredging for Ghana. — „Min. Journ.“, 1969, vol. 272, N 6969, p. 220.

Diamond of a river Waal. — „S. Afr. Min. a Eng. Journ.“, 1965, vol. 76, N 3774, p. 1300—1302.

Draper T. The origin and distribution of diamond in Brazil, Gems and Gemology, 1951, vol. 6, N 10.

Du Toit A. L. The diamantiferous gravel of Lichtenburg, South Africa. — „Geol. Surv. Memoir.“, 1951, N 44, p. 58—60.

Fairbairn P. E., Robertson R. H. S. Stages in the tropical weathering of kimberlite. — „Clay Miner.“, 1966, N 6, p. 351—370.

Firsoff V. A. Where to find gems in Britain. — „Sci. Journ.“, 1970, vol. 6, N 11, p. 65—69.

Frejberg B. Die Bodenschätze der Staates Minas Geraes (Brasilient). Stuttgart, 1934, 453 s.

Grantham D. P. The diamond deposits of Panna, Central India. Indust. — „Diamond Rev.“, 1964, N 24, p. 30—35.

Gunn Christopher B. Relevance of the Great Lakes discoveries to Canadian diamant prospecting. — „Canad Min. Journ.“, 1968, vol. 89, N 7, p. 39—42.

Hallam C. D. The geology of the coastal diamond deposits of Southern Africa. — „Geol. Some ore Deposits Southern Africa“, 1964, vol. 2, p. 671—728.

Junn C. B. The origin of diamonds in drift of the North Central United States: a discussion. — „Journ. of Geol.“, 1967, vol. 75, N 2, p. 232—239.

Junner N. R. The diamond deposits of the Gold Coast with notes on other diamond deposits in West Africa. — „Gold Coast Geol. Surv. Bull.“, 1943, N 12, p. 52—54.

Large diamonds found at Oranjemund. — „Min. Journ.“, 1965, vol. 265, N 6783, p. 133—134.

Mulholland S. The richest sands on earth. In: Diamond News and South African Jeweller, 1968, 1, vol. 31, N 4, p. 36—39.

Myrray L. G. Exploration and sampling methods employed in the offshore diamond industry. — „Min. Petroleum Geology Sect.“, 1969, vol. 19, N 5, p. 151—153.

Namaqualand Diamond Occurrence. — „Min. Journ.“, 1969, vol. 80, N 3400, p. 775.

Nicolini P. Chronique des mines d'outre mer et de la recherche miniere, 1961, vol. 29, N 303, p. 3—10.

Siedle R. I. Diamonds from the desert. — „Journ. Sci. Soc.“, 1960, vol. 3, p. 25—30.

Smith Tayler D. The sea-floor as treasure. — „Spectrum“, 1968, N 51, p. 2—4.

Stutzer O. Die Lagerstätten des Diamanten. Berlin, 1935. S. 232.

Trueb L. F., Wys E. D. Carbon from Ubangi—a microstructural stadi. — „Amer. Miner.“, 1971, vol. 56, N 7—8, p. 1252—1268.

Vaidyanadhan R. Geomorphic significance of the distribution of placer diamonds in Wajrakarur area, Anantapur district, Andhra Pradesh. — „Geol. Soc. of India Bull.“, 1968, vol. 2, N 3, p. 67—69.

УКАЗАТЕЛЬ АЛМАЗОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Докембрийские алмазоносные формации и месторождения

Аделаида 16, 21
Альто-Парагвай, 14
Билляхская серия, 17
Бирим 12, 21
Боа-Виста, 22
Бхандер 15, 21
Виндий, 21
Витватерсрайд 12, 19
Карнуль 15, 22
Лаврас 14, 94

Махабуас, 94
Минас-Жакобина 14
Наллагайн 16
Рева 15, 21
Рорайма 14, 19
Сопа 22, 94
Сьерра-Нова 22
Тарква 12
Томторская серия 17

Палеозойские алмазоносные формации и месторождения

Баероновская свита 23
Дегалинская свита 17
Итараре 14, 22
Катская свита 17

Павловская свита 23
Пеляткинская свита 17
Самарская свита 18
Серия Двайка 12, 22
Тибажу 94

Мезозойские алмазоносные формации и месторождения

Берберати 24
Иредяхская свита 17
Касаи-Лунда 24
Кванго 24
Келловейский ярус 18, 25, 79
Лубилаш 24

Лунда 18, 24
Нижневолжский ярус 18, 25, 79
Плинсбахский ярус 25, 77, 81
Сомабула 23
«Тауа» 15, 24

Кайнозойские алмазоносные формации и месторождения

Южная Америка

Арагау-Суги 36
Богаем 52
Гран-Могол 36, 117
Жекитиньонья 36
Карони 52
Курупунг 52
Куюни 52
Сегенанг 52
Сьерра-Нова 22
Тибажу 52

Кизумби 43
Кубанго 50
Лихтенбург 26, 36, 43
Лумембо 36
Лукуа 101
Лулембо 102
Мабуки 32, 39
Рпет 50
Ренме 50
Рунгте-Лаарте 43
Субиниза 102
Тортья 36, 116
Чимубе 36
Чумебо 102
Финч-40

Африка

Бакванга 25, 39, 118
Бакен 96
Бирим 96, 97, 99
Боиза 102
Бегенфельс 46
Бурити 43
Бушимаи 50
Вааль 49, 50, 97, 102
Вет 50
Гонг-Гонг 50
Дивани 97
Касаи 50, 97, 99, 102
Кауказибталь 95
Кванго 35

Побережье Атлантического океана

Намакваленд 26, 84, 97, 119
Южная Африка 26, 84, 146

Индия

Итва 36
Карнуль 36
Панна 98
Пукри 98
Раджамундра 36
Чандра 98
Шахидан 36, 103

	Стр.
Предисловие	3
Раздел I. Типы алмазных россыпей древних платформ	5
Алмазы в россыпях	5
Алмазоносные терригенные формации	19
Докембрийские алмазоносные формации	19
Верхнепалеозойские алмазоносные формации	22
Мезозойские алмазоносные формации	23
Кайнозойские алмазоносные формации	25
Генетические типы алмазных россыпей	28
Элювиальный тип	29
Элювиальные россыпи на кимберлитах	29
Элювиальные россыпи на древних промежуточных коллекторах	35
Делювиальный тип	38
Делювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва кимберлитовых тел	38
Делювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва промежуточных коллекторов	42
Проллювиальный тип	46
Аллювиальный тип	48
Распределение алмазов в руслах рек платформенных областей	61
Мощности аллювия и их распределение в руслах	62
Распределение алмазов на косах различной формы	70
Озерный тип	76
Морской тип	77
Россыпи подземных карстовых пещер	88
Ледниковый тип	94
Золотой тип	95
Промышленно-генетическая классификация алмазных россыпей	96
Раздел II. Факторы, контролирующие формирование и размещение россыпей	105
Тип первоисточников россыпей	105
Степень алмазоносности первоисточников	107
Масштабы эрозионного среза первоисточников и методика его определения	109
Типы первоисточников и их роль в формировании россыпей	111
Климатический фактор	120
Структурно-тектонический фактор	123
Тектонический контроль размещения коренных источников	124
Геолого-структурный фактор размещения россыпей	127
Геоморфологический фактор	127
Литолого-фациальный фактор	132
Роль литологии плотика при формировании россыпей	132
Влияние литологического и гранулометрического составов отложений на степень алмазоносности россыпей	135
Гидродинамический фактор	137
Основные выводы	146
Раздел III. Зональность в размещении алмазных россыпей	152
Вертикальная зональность	152
Макрозоональность	153
Мезозональность	166
Латеральная зональность	167

Раздел IV. Основные принципы и методы прогнозирования алмазных россыпей	174
Прогнозные и поисковые критерии	174
Минералогические критерии	174
Минералы — парагенетические спутники алмазов	174
Минералы — аллювиальные спутники алмазов	179
Минеральные ассоциации алмазоносных россыпей	180
Прогнозные и поисковые критерии россыпей, связанных с алмазоносными формациями докембрия	180
Принципы и методика прогнозирования	185
Прогнозные карты	190
Раздел V. Особенности поисков и методы поисковых работ	192
Шлиховое опробование	193
Отбор проб на протоочку	203
Обломочно-речной метод	204
Мелкообъемное опробование	210
Крупнообъемное опробование	211
Маршрутные геолого-геоморфологические исследования	216
Площадная геологическая и геоморфологическая съемка	219
Применение материалов аэрофотосъемки	221
Полутные поиски россыпей алмазов	229
Закключение	234
Список литературы	237
Указатель алмазоносных формаций и россыпных месторождений	246

ИБ № 1794

БОГДАН ИВАНОВИЧ ПРОКОПЧУК

АЛМАЗНЫЕ РОССЫПИ И МЕТОДИКА ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ

Редактор издательства Л. Г. Рожкова
 Переплет художника А. Е. Григорьева
 Художественный редактор В. В. Евдокимов
 Технические редакторы Н. Ю. Якуницкая, В. В. Володарская
 Корректор В. И. Ионкина

Сдано в набор 17.05.78.
 Формат 60×90^{1/16}
 Печать высокая
 Тираж 1200 экз.

Подписано в печать 26.02.79. Т-02481.
 Бумага № 1. Гарнитура литературная
 Печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 17,0.
 Заказ 501/6571—4 Цена 2 р. 70 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
 Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

2р.70к.

2906

НЕДРА