

АЛМАЗНЫЙ ПУТЬ

ДЛИННОЮ В

3 МИЛЛИАРДА
3 ЛЕТ

Алмаз — один из самых загадочных минералов на Земле. В течение многих веков он привлекает внимание как самый дорогой, самый романтичный и самый желанный драгоценный камень. Если верить старинным преданиям и легендам, то алмазы, подобно людям, живут своей жизнью, а их зарождение и история долгое время оставались загадкой. Лишь на рубеже XX—XXI вв. были разработаны реальные аналитические методы, позволившие изучить состав, структуру и возраст самих алмазов и содержащихся в них микроминеральных включений. Как зарождаются алмазы в верхней мантии Земли, какие этапы эволюции они проходят, оказавшись в верхних горизонтах земной коры, и, в конце концов, как их искать?

На эти вопросы отвечает директор Института геологии и минералогии Сибирского отделения РАН член-корреспондент РАН Н. П. Похиленко, сыгравший ключевую роль в открытии уникального месторождения алмазов на озере Снэп Лейк (Канада)

Если Вы хотите найти месторождение алмазов, то начать стоит с геологической карты, на которой показаны типы и возраст горных пород, особенности геологической эволюции региона. Наиболее привлекательны с точки зрения поиска алмазов участки самой древней земной коры, которые содержат магматические породы типа *базальтов*. На подобных территориях стоит искать так называемые трубки взрыва; в слагающие их породы обычно входят магнитные минералы, и поэтому, используя аэромагнитную съемку, участки размещения трубок можно «увидеть» как зоны с магнитными аномалиями. Древние платформы, в пределах которых стабилизация земной коры произошла в архейский период, известны на территориях практически всех континентов: в Сибири и в Африке, в Северной и в Южной Америке, в Австралии и в Китае, а также в Северной Европе и в Индии.

Для того чтобы искать алмазы, надо хорошо себе представлять, во-первых, как их кристаллы растут в глубинах Земли, а во-вторых, как они выносятся на земную поверхность.

ПОХИЛЕНКО Николай Петрович — член-корреспондент РАН, Заслуженный геолог Российской Федерации, директор Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Член Американского геофизического союза, член Ассоциации поисковиков и промышленников Канады. Имеет 4 авторских свидетельства на методы поиска и оценки алмазных месторождений. Область интересов — минералогия, петрология и геохимия верхней мантии и кимберлитов, алмазные месторождения, методы их поисков и прогнозирования, эволюция состава и строения литосферной мантии древних платформ. Автор более 200 научных публикаций



Практически все *коренные месторождения* алмазов связаны с трубками взрыва, сформированными кимберлитовыми *брекчиями*^{*}, поэтому они и называются «кимберлитовыми трубками». Кимберлиты относятся к породам мантийного происхождения и образуются на огромных глубинах в результате сложного процесса частичного плавления пород, слагающих различные уровни мантии Земли. Значительная часть кимберлитовых расплавов формируется на уровнях ниже границы перехода графит-алмаз. Для начала кристаллизации алмаза в природных условиях требуются давления порядка 40 тыс. атм., что отвечает глубинам около 140 км. С учетом достаточно низких величин тепловых потоков для литосферы древних платформ (40 мВт/(м²·сек), а иногда даже ниже) температура на таких глубинах составляет порядка 900 °С.

Кроме давления и температуры, для образования алмаза системе свободного углерода (ведь алмаз — это кристаллизованный углерод) требуется и наличие кислорода в небольших количествах, иначе углерод будет окисляться и переходить в СО (закись углерода) или даже в СО₂ (окись углерода).

Растущий кристалл алмаза захватывает фрагменты окружающей его среды. Это могут быть кристаллические включения минералов, включения расплавов или флюидов. В кристаллическую решетку алмаза может встраиваться азот (который затем может быть обнаружен в алмазе в качестве примеси). Сначала алмаз захватывает азот в виде отдельных атомарных центров, называемых «С-центрами». Потом в результате

диффузии два атома азота приближаются друг к другу и соединяются, образуя пару, которая называется «А-центром». Затем А-центры объединяются и образуют плоскости из атомов азота, которые уже называются «В-центрами». Если в кристалле преобладают С-центры и азота достаточно много, то алмаз становится желтым. При переходе С-центров азота в более сложные А- и В-центры алмаз становится бесцветным.

В процессе выращивания кристалл искусственного алмаза также может захватывать фрагменты среды, из которой его выращивают, например из железо-никелевого сплава, если речь идет о железо-никелевом расплаве. Металлические включения попадают в объем кристалла, и по мере их увеличения качество алмаза ухудшается. Однако, если отжигать этот алмаз при высоких *P–T*-параметрах, он стремится освободиться от включений и выталкивает их.

Абсолютное большинство алмазов образовалось на ранних стадиях геологической истории нашей планеты, около 3 млрд лет назад. Однако кимберлитовые трубки, из которых добывают эти кристаллы, обычно гораздо моложе. В Южной Африке их возраст определен в пределах от 2,4 млрд лет до 30 млн лет; в Бразилии — от 1,7 млрд лет до 180 млн лет; в Канаде — 560—52 млн лет, в Якутии — 450—140 млн лет. Обычно в одной алмазоносной провинции присутствуют кимберлитовые трубки разного возраста (так, в Южной Африке выявлено 14 эпизодов кимберлитового магматизма)

* Брекчия (итал. breccia) — горная порода, состоящая из сцементированных обломков разных пород.

Судьбы алмазов складываются по-разному, поскольку условия их формирования тоже различны.

Рассмотрим ситуацию, когда имеется «зародыш» алмаза и на него нарастает кристалл алмаза (то есть кристаллизуется углерод). В процессе роста кристалла внешние причины приводят к тому, что он разбивается. На разбитый кристалл опять нарастают новые слои алмаза, и кристалл опять стремится принять классическую для алмаза форму октаэдра.

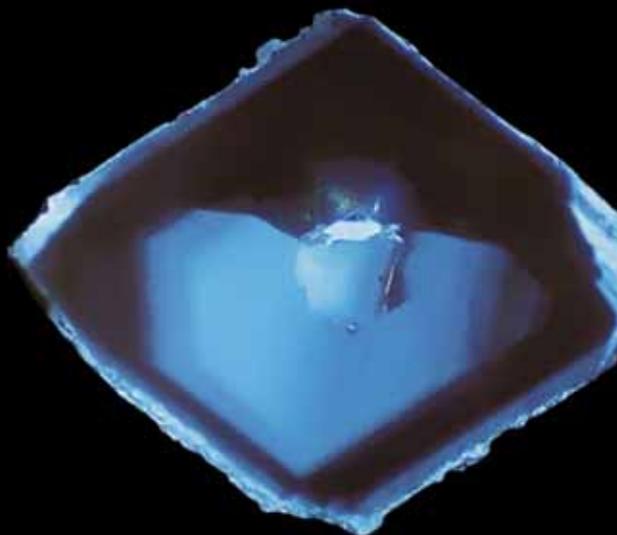
В ряде месторождений довольно часто встречаются высококачественные кристаллы алмаза, на которые сверху нарастает оболочка, содержащая много азота в атомарной форме. Она выглядит грязной и тем самым резко снижает качество и, соответственно, стоимость такого алмаза. Однако эту пленку легко можно снять при огранке.

Чтобы алмаз заиграл в бриллианте, не достаточно только очень аккуратно его огранить. Вещество самого алмаза должно быть изотропно, то есть однородно по физическим свойствам, и позволять лучу света идти, не отклоняясь из-за оптических дефектов кристалла.

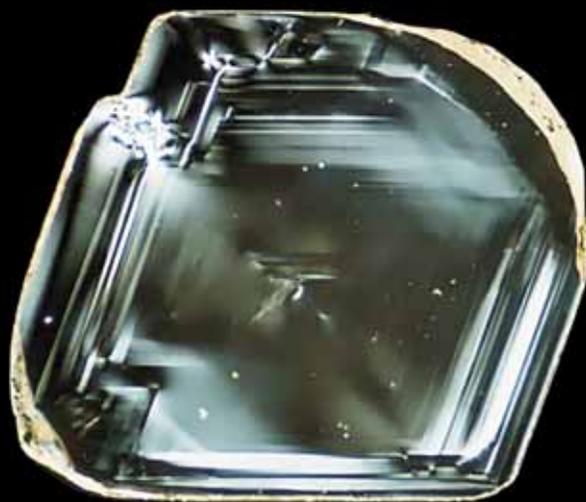
Ценность бриллианта зависит от его чистоты, цвета, размера и огранки. Чистым считается бриллиант, в котором при десятикратном увеличении не заметны никакие включения.

Для алмазов, которым при рождении «не повезло», разработан ряд методов, позволяющих улучшить качество бриллианта, получаемого из алмаза. Так, если в алмазе есть трещина, то применяется метод заполнения: трещина заполняется другим материалом (правда, со временем его свойства могут измениться). Если в алмазе имеются темные включения, то лазерным лучом высверливается канал и по нему на пятно направляется вещество, которое удаляет или изменяет это включение. Такие камни называются «облагороженными».

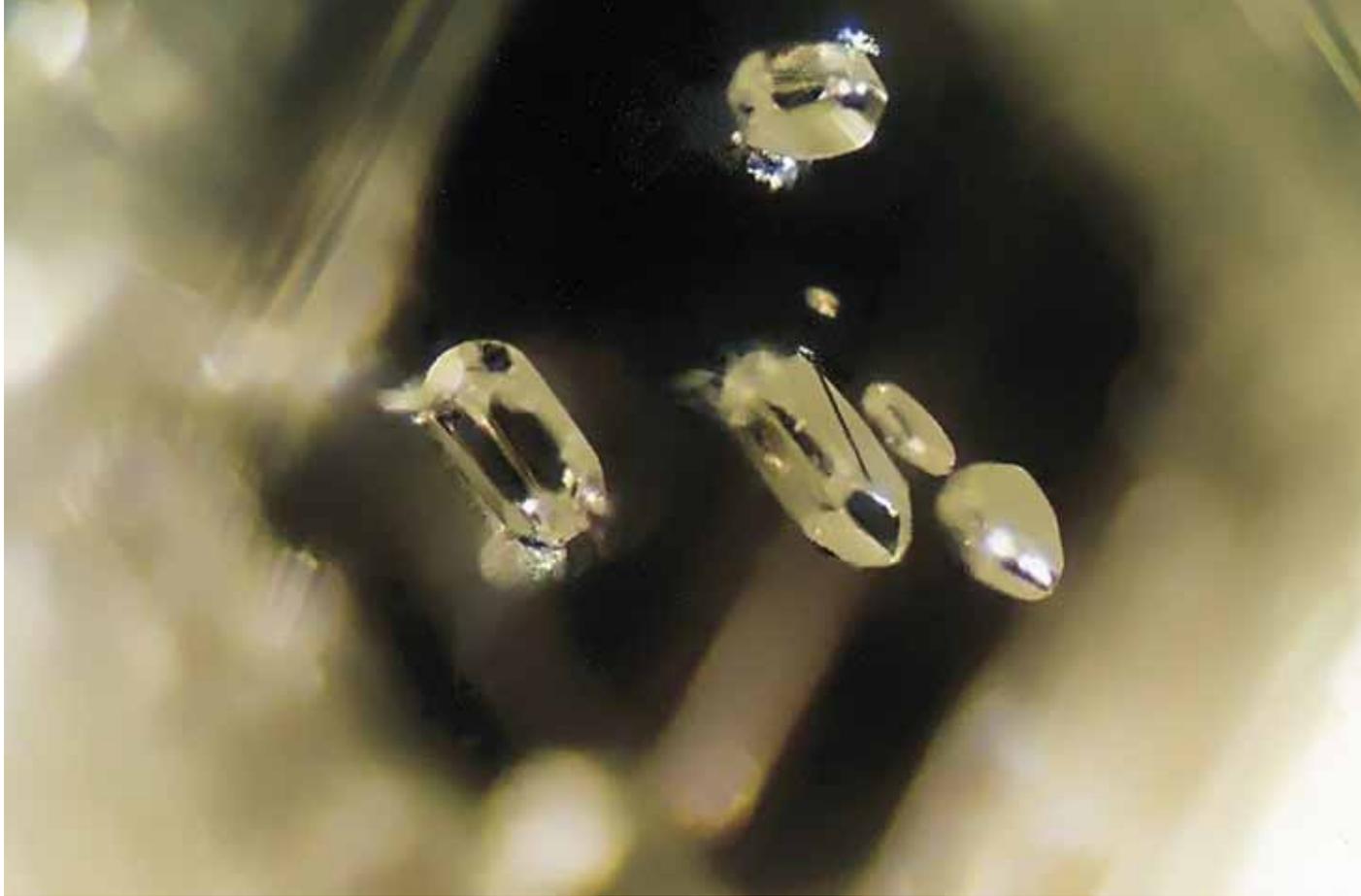
На сегодняшний день промышленные месторождения алмазов обнаружены практически на всех континентах, где известны древние платформы (исключая разве что Антарктиду, которая исследована очень слабо). Алмазные россыпи Индии, копи Африки и Австралии известны еще с позапрошлого века, позже были открыты месторождения в Азии (Якутская алмазоносная провинция), в Европе (Архангельская провинция), в Северной и Южной Америке (Канада, Бразилия, Венесуэла). Таким образом, есть все основания утверждать, что слой пород, обогащенных алмазами, существует (или существовал на определенных этапах геологической истории) под всеми древними платформами, а следовательно, алмазов на Земле не так уж мало



Чистый алмаз «трудной судьбы». На схеме видна «история жизни» алмаза и заметно, как изменялись условия (зоны отличаются по интенсивности и по цвету люминесценции)



На снимке видна история роста и растворения кристалла



Кристаллические включения (оливина) в алмазе

Как алмазы поднимаются к поверхности Земли

Допустим, что на глубине 150–200 км в литосфере (верхней части «твердой» Земли) в архейский период сформировался 50-километровый слой алмазоносных пород. А спустя примерно 2 млрд лет у границы земного ядра и нижней мантии образовался *плюм* (сверхглубинная магма, которая поднимается до подошвы (нижней границы) литосферы). Расплавы, из которых состоит плюм, поднимаются по спирали вертикально к поверхности Земли и даже могут на нее выйти. Плюм, достигший подошвы холодной стабильной литосферы, вызывает частичное плавление вещества в ее нижних уровнях и, как правило, приносит с собой больше кислорода, чем хотелось бы «охотникам за алмазами». *Кимберлитовые расплавы* образуются при крайне низких степенях частичного плавления (1,5–3,0 объем. %) истощенных ультраосновных пород литосферной мантии, которые незадолго до плавления были в различной степени обогащены легкоплавкими компонентами. Эти расплавы имеют низкую вязкость, образуют тонкую пленку межзернового пространства, могут просачиваться и формировать сравнительно небольшие очаги кимберлитовой магмы. В период тектонической активизации определенные глубинные разломы кимберли-

тогенерирующих зон древних платформ, соединяющие такие очаги с земной поверхностью, служат каналами для исключительно быстрого подъема (первые часы) кимберлитовых расплавов на земную поверхность.

Слой пород, обогащенных алмазами, находится на глубине более 150 км. В то же время образование магматических расплавов под континентами в большинстве случаев происходит на меньших глубинах (100 км и менее). Исключение составляют магмы, связанные с мантийными плюмами и суперплюмами, которые поднимаются с огромных глубин, зарождаясь на границе ядра и мантии. Именно с этими явлениям связаны наиболее масштабные вспышки магматизма в истории Земли. Прежде всего, это формирование трапповых провинций — гигантских лавовых плато, — где в течение 1—2 млн лет на земную поверхность изливались миллионы кубометров мантийных лав (чтобы понять масштабы этого явления, скажем лишь, что общий объем всех зданий и сооружений, созданных человечеством за всю историю его существования, не достигает 100 (!) м³)

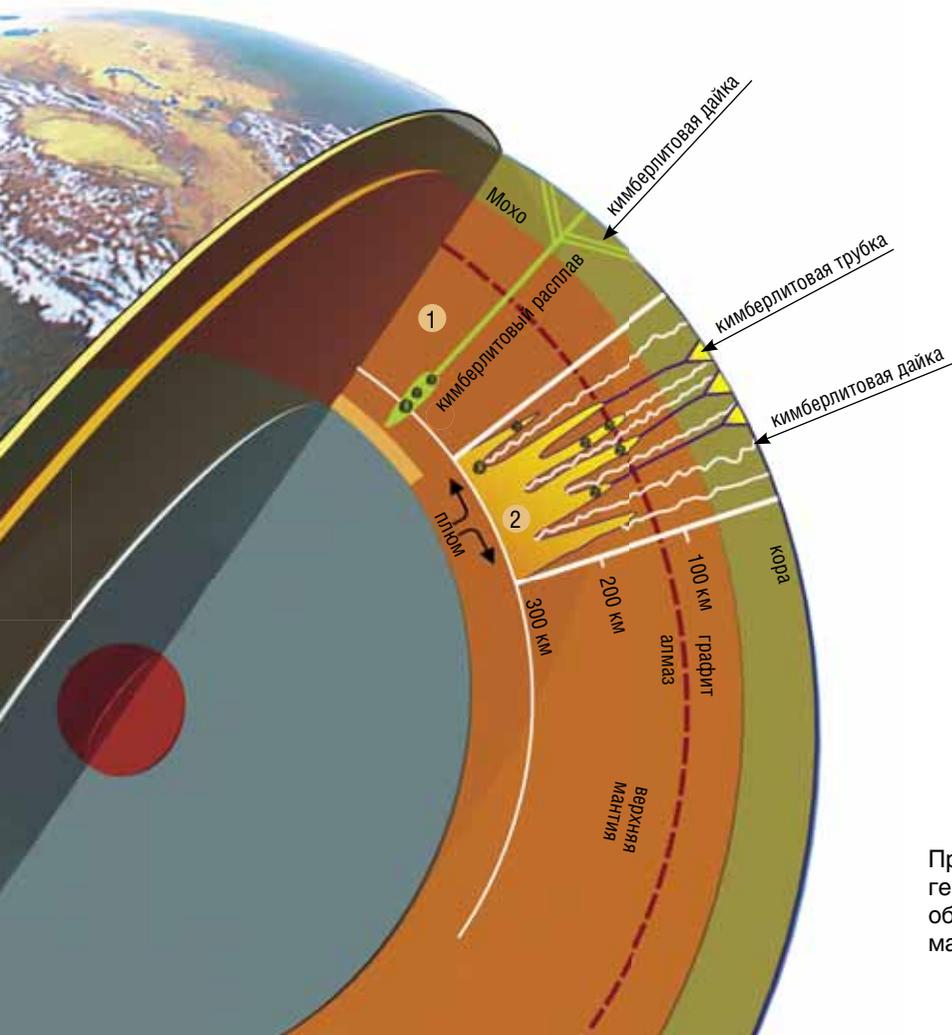
Большинство (95 %) алмазных месторождений связано с кимберлитовыми расплавами, которые поднимаются по трещинам и «по пути» дробят алмазоносные породы, вынося из мантийных глубин алмазы и обломки пород древней литосферной мантии.

Можно сказать, что кимберлитовые трубки — это древние вулканы, которые играют роль транспортеров, выносящих мантийные породы и минералы, в том числе алмазы, на земную поверхность. Вспомните, как вода несет различные обломки, мелкие чешуйки золота, которые вымываются из берегов. В рассматриваемой нами ситуации «ручей» течет не по поверхности, а из земных глубин субвертикально к поверхности Земли. Это магма, которая стремительно поднимается под большим давлением. Вязкость кимберлитового расплава сравнима с вязкостью масла, которое заливается в двигатель автомобиля. И скорость ее подъема вверх под давлением также сравнима со скоростью движения автомобиля (примерно 60–70 км/ч). За два-три часа она проходит всю дистанцию от места образования расплава до земной поверхности. В этом случае алмаз не успевает графитизироваться.

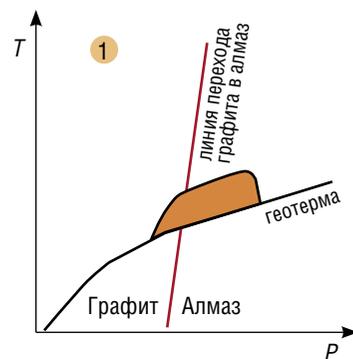
Если расплав будет двигаться медленно, с остановками на мантийных глубинах, но уже в области термодинамической стабильности графита (т. е. на глубинах менее 140 км), то алмаз сможет перестроить свою кристаллическую решетку и превратится в графит, а в случае сравнительно высокого потенциала кислорода в расплаве — попросту сгорит.

На глубине 4–5 км от поверхности земли кимберлитовая магма, содержащая много летучих компонентов (CO_2 и H_2O), начинает вскипать. Для примера обратимся к принципу работы скороварки. В ней большое давление, и поэтому температура, при которой в закрытой скороварке кипит вода, может быть не 100°C , а $120\text{--}140^\circ\text{C}$, и даже выше. Однако, если открыть крышку, то пар резко уйдет (это будет похоже на взрыв) и температура очень быстро упадет до 100°C (это температура кипения воды при 1 атм.).

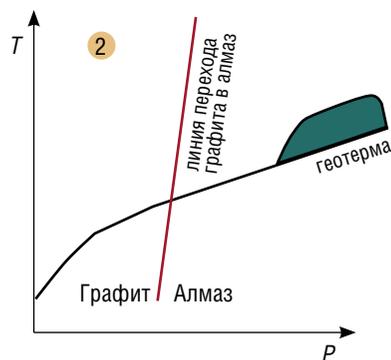
При вскипании кимберлитовой магмы (и не только кимберлитовой) тоже происходит взрыв и образуются трубки взрыва, которые моментально заполняются магмой; температура при этом очень быстро падает. На Севере в брекчиях жерловых частей кимберли-



Классические кимберлиты



Аномальные кимберлиты



Происхождение кимберлитов различных генетических типов (границы между оболочками Земли показаны без учета масштаба)

вых трубок можно обнаружить обломки мезозойской древесины, которая не сгорела, потому что температура понизилась очень быстро; этой мезозойской древесиной можно топить костер.

Итак, если быстро поднимающийся поток кимберлитовой магмы пересечет слой алмазоносных пород, то образуется алмазоносная трубка.

Если же поток магмы пересечет сравнительно мало-глубинные уровни мантии, где давления отвечают области стабильности графита, то сформируется трубка, вообще не содержащая алмазов.

Для того чтобы понять, как находят алмазы, необходимо «снаружи» посмотреть на процесс выноса алмазов на поверхность. По каким признакам геологи, выбравшие потенциально алмазоносный район, определяют, что поиски стоит продолжать? Как именно осуществляется поиск алмазов?

После того как карта показала предположительно перспективную площадь и аэромагнитная съемка выявила структуры с магнитными аномалиями, начинается этап более детальных поисков. Геологи проводят шлиховое опробование русловых отложений речной системы,

если таковая имеется. Для поисковых районов севера Канады чаще опробованию подвергаются ледниковые отложения. На этом этапе важно обнаружить в пробах индикаторные минералы кимберлитов: пиропы, пикроильмениты, хромиты, хромдиопсиды и, если сильно повезет, алмазы. Присутствие этих минералов в пробах является прямым свидетельством наличия в регионе кимберлитов и, если в пробах есть алмазы, — алмазоносных кимберлитов. Для поиска индикаторных минералов в Сибири традиционно используется лоток. Если на дне лотка геологи увидят индикаторные минералы, а возможно, и кристаллики алмазов, значит, начальная стадия работы увенчалась успехом. После этого начинается этап уже более детальных, трудоемких и на порядок более дорогостоящих поисков с использованием комплекса геофизических методов, включающих проведение как воздушных, так и наземных съемок, заверку полученных геофизических аномалий плотным шлиховым опробованием с последующим разбуриванием наиболее перспективных из них.

Индикаторные минералы: пироп (а), пикроильменит (б)



а



б



Предположим, что кимберлит найден. Цель следующего этапа поисков — очертить контуры трубки. Для этого потребуется пройти еще несколько шурфов либо пробурить по телу трубки несколько скважин и сопоставить полученные данные с конфигурацией геофизических аномалий. Затем надо ответить на главный вопрос: является ли обнаруженная трубка алмазоносной? Этот вопрос далеко не праздный, если учесть, что почти из тысячи кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции менее пятидесяти имеют повышенную алмазоносность и лишь пятнадцать из них — промышленные содержания алмазов.

В конце 60-х — начале 70-х гг. XX в. выдающийся российский минералог (ныне академик РАН) Николай Владимирович Соболев, проведя сравнительный анализ результатов выполненного им исследования состава кристаллических включений в природных алмазах, впервые в мировой практике разработал минералогические критерии алмазоносности кимберлитов. На основе этих критериев возглавляемый им коллектив сибирских геологов создал комплекс принципиально

новых минералогических методов, которые на ранних стадиях поисковых работ позволяют оценивать потенциальную алмазоносность еще не обнаруженных кимберлитов по особенностям состава индикаторных минералов, в первую очередь пиропов и хромитов.

Далеко не всегда можно добыть представительное количество (первые сотни зерен) индикаторных минералов и по их составу оценить потенциальную алмазоносность прогнозируемой трубки, поскольку кимберлиты бывают совершенно разными.

Например, в трубке Мир в 1 т кимберлита содержится около 20 кг индикаторных минералов, в том числе более 5 кг хромсодержащих пиропов. Подобные кимберлитовые трубки дают мощный шлейф, позволяющий обнаружить саму трубку. Двигаясь вдоль реки, геолог может все время видеть «под ногами» пиропы и, «идя по следу», выйти к трубке. В отличие от этой ситуации, в аномальных кимберлитах трубок Накынского поля (Якутия) и *дайкового комплекса* Снэп Лейк (Канада) содержание индикаторных минералов на 1 т вещества почти в 100 раз меньше (то есть составляет 200–300 г/т), хотя эти кимберлиты отличаются очень высокой алмазоносностью.

При поиске трубки можно столкнуться и с другими проблемами. Трубки, кимберлиты которых содержат повышенное количество магнитных минералов (магнетит, титаномагнетит и др.), фиксируются геофизическими методами, потому что дают магнитную аномалию. Однако существуют кимберлиты, которые содержат очень мало магнитных минералов, и для их обнаружения одной магнитной съемки недостаточно.

Загадка озера Снэп Лейк, или Как искать алмазы

О том, как сибирский геолог и его интернациональная группа открыли на севере Канады крупное алмазное месторождение, уникальное по своим характеристикам. Канадцы назвали это событие «открытием мирового класса»

Кимберлиты с очень низкими содержаниями как индикаторных, так и магнитных минералов мы обнаружили в Канаде: они слагали там комплекс пологопадающих даек, формирующих месторождение озера Снэп Лейк. Впоследствии было установлено, что на поверхность выходил лишь небольшой фрагмент главной дайки. Геологи компании Де Бирс, а также двух канадских компаний, работавшие ранее на этой территории, пропустили не только признаки этого дайкового комплекса, но и шлейфы от двух классических



Взятие проб на реке Макензи

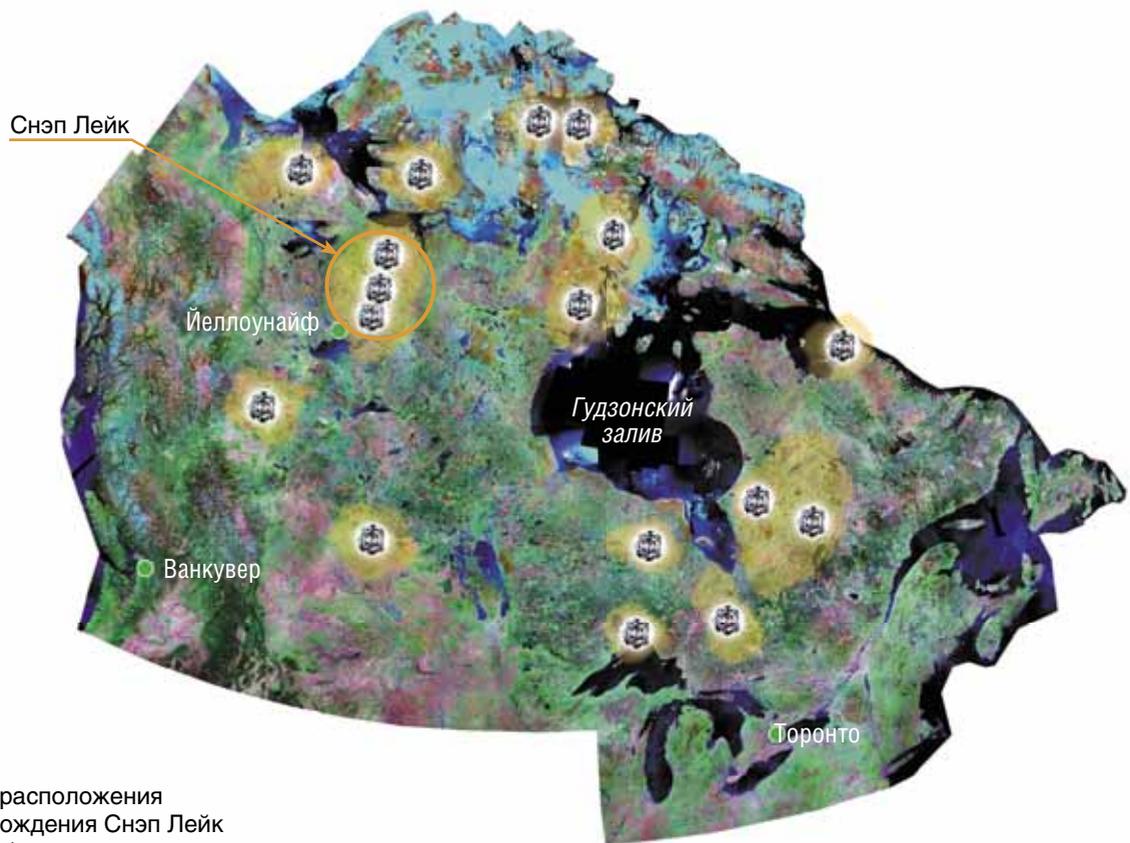


Схема расположения месторождения Снэп Лейк (Канада)

кимберлитовых трубок, обнаруженных нами в 20 км восточнее месторождения Снэп Лейк еще за три года до его (месторождения) открытия. Более чем трехлетние поисково-оценочные работы наших предшественников на этой территории дали полностью отрицательные результаты, признаков наличия кимберлитов в ее пределах не было установлено, и эта площадь была списана в разряд бесперспективных. У пригласившей нас в конце сезона 1994 г. (в середине августа) компании Winspear Resources Ltd. было шесть других лицензионных участков в центральной части провинции Слейв, на флангах открытого канадским геологом Чаком Фипке в 1991–1992 гг. кимберлитового поля вблизи озера Лак де Гра. Геологи компании считали их перспективными, однако после пары недель работы мы заскучали от весьма блеклых геологических характеристик этих площадей: признаков чего-либо стоящего там не нашли и стали проситься поработать в том самом «безнадежном» районе. Этот район площадью 2,5 тыс. км² расположен в 120 км южнее ранее открытого поля Лак де Гра, и ни полевого лагеря, ни вертолетного горючего там у компании не было. С учетом того, что результаты предыдущих поисковых работ на этой территории были полностью отрицательными, нам стоило больших трудов получить разрешение поработать там, и то всего лишь три дня.

К сведению, для того чтобы относительно надежно опосредовать такую территорию, требуются полевой сезон продолжительностью в три-четыре месяца, поисковая партия с группой геофизиков и бригадой горняков, а также мобильные буровые установки. Всего должны трудиться более сотни человек.

У меня же были два помощника и вертолет, правда, без достаточного запаса горючего. Такие условия работы можно назвать совершенно неестественными. С учетом реальной ситуации, проанализировав (за четыре ночи) очень скудный геологический материал по этой «бросовой» территории (днем надо было продолжать работы на других лицензионных площадях), выбрали три участка (по количеству рабочих дней) площадью 15 км² каждый. Первый день мы потратили впустую, потому что получили приказ руководства компании обследовать участок на территории, где канадские геофизики вдруг увидели перспективную аномалию. Ничего мы там не нашли, но день и часть горючего сожгли.

Полтора часа второго дня потратили, изучая с вертолета ситуацию по трем выбранным участкам: надо было определиться, на которых из них мы будем работать в оставшиеся два дня. Быстро поняли, что самый западный участок нам с нашим лимитом времени и горючего не по зубам. Сели на центральный; через полтора часа



Так выглядит карьер кимберлитовой трубки «Джерико» (Канада). Фото Н. Подгорных

стало ясно, что и там ловить особо нечего. Тогда приняли решение потратить остаток времени на последний, третий, участок. Он нам очень понравился своими структурными особенностями: рядом, в 5 км к северу, проходила мощная разломная структура длиной более 600 км, ее пересекал оперяющийся разлом, секущий озеро размером около 2 км, и уже этот оперяющийся разлом секли три локальных разлома, сходящихся в озере и образующих так называемую разломную звезду. В вертолете находился мой канадский помощник Уолтер Мельник (ныне президент канадской компании Nordic Diamonds Ltd.), которому сказал, что, будь я кимберлитом, непременно бы «внедрился в это место». Внимательно посмотрев на схему движения последнего ледника для всего региона и приняв во внимание показанное на ней направление движения льда для этого конкретного участка, выбрали место посадки и место отбора пробы. В первой же промывке в лотке пробе я увидел пару зерен пикроильменита и роскошное зерно лилового пироба. Однако с учетом близости центра «разломной звезды» (~1,5 км), в котором я лелеял мечту найти

кимберлит, такое количество индикаторных минералов не радовало, хотя сам по себе это был очень важный результат: обнаруженные минералы прямо указывали на наличие кимберлитов в этом регионе, а это означало, что открыт новый кимберлитовый район на севере Канады. Воспаленное от систематического недосыпания сознание плюс опыт работы в Якутии и в Архангельской провинции (26 полевых сезонов) быстро подсказали: что-то не так с движением ледника. При посадке я боковым зрением заметил метрах в трехстах (при такой работе надо замечать все, или почти все, и быстро прокручивать замеченное в «котелке», если хочешь найти что-нибудь стоящее) отполированный ледником выход гранита («гранитный лоб»). Дал команду помощникам и пилоту «ланчевать», а сам понесся к этому «лбу», замерил азимут ледниковых царапин — и точно: реальное направление движения ледника для этого места расходялось с указанным на схеме на 16°. Вернулся. Тут уже было не до ланча — определили на карте новое место для взятия «правильной» пробы: скорректированную проекцию центра разломной «звезд-

ды» на место проявления тиллов (ледниковых отложений) — и вместе с помощником вперед! Через полчаса увидел в своем лотке сотни крупных индикаторных минералов: пиропов, пикроильменитов и несколько обломков кимберлита. Дальнейшее уже было делом техники. Через три часа мы знали, что на три четверти трубка находится под озером; сообщили о результатах руководству компании: там — эйфория; сразу нашлись и горячее, и люди, и деньги... Забросили буровое оборудование, задали точку для первой скважины: она через 14 м вошла в кимберлит и прошла по нему более 150 м. Открытие нового кимберлитового района состоялось! Поднялся шум в компании, в прессе, на бирже...

Через две недели мы обнаружили ореол еще одной трубки, целиком находящейся под озером; ее разбурили со льда уже в марте, когда лед был достаточно прочным. Обе трубки оказались алмазонасными, однако содержание алмазов было много ниже промышленного уровня.

В самом конце полевого сезона 1994 г. было решено взять пробы с участка, расположенного западнее найденных трубок. Там субпараллельно главной разломной структуре шел мощный разлом, секущий северную часть довольно крупного озера Снэп Лейк. И опять, как и в предыдущий раз, в районе озера прослеживалась система оперяющих разломов, соединенных с главной разломной структурой. Лабораторными исследованиями в ряде проб, взятых западнее озера, были установлены единичные зерна индикаторных минералов кимберлитов — хромистых пиропов и хромитов.

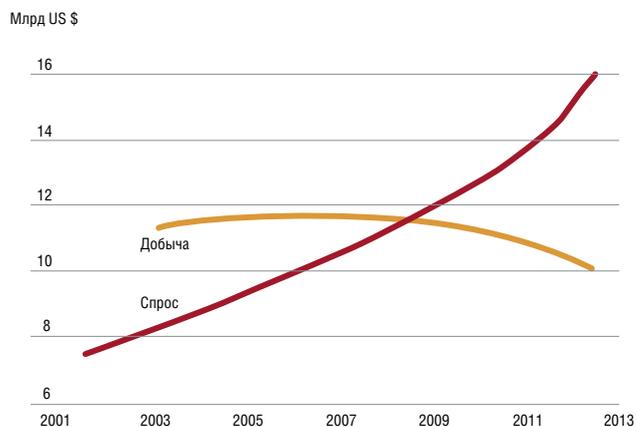
В сезон 1995 г. в Канаду поехали три российских геолога: в команду были приглашены доктор геолого-минералогических наук, один из ведущих в мире специалистов по минералогическим методам поисков алмазных месторождений Валентин Петрович Афанасьев и моя жена Люся, за плечами которой было восемь полевых сезонов прогнозно-поисковой работы на алмазы на севере Якутии. Предстояло оценить перспективы западной части лицензионной территории, до которой в предыдущем сезоне у нас не дошли руки, а ее площадь составляла более половины всей территории. Полтора месяца мы там плотно работали, проследили на 25 км шлейф от двух открытых в предыдущем сезоне трубок, но признаков наличия новых тел на западе так и не обнаружили. Шлейф предыдущих трубок проходил километров на семь южнее положительных проб, взятых западнее озера Снэп Лейк, значит, открытые ранее трубки не могли быть коренными источниками индикаторных минералов, обнаруженных в районе озера. А если так, то здесь должны быть какие-то другие кимберлиты. Такое заключение послужило основанием для обращения к руководству компании сместить работы до конца сезона в район озера Снэп Лейк. И в течение двух оставшихся недель (очень холодных: 16 августа

пошел снег) мы взяли по шести профилям около сотни проб, причем индикаторные минералы увидели прямо в лотках (самой первой отличный пироп в своем лотке увидела Люся).

Мы установили, что ширина ореола к западу от озера Снэп Лейк составляла примерно 3 км, а протяженность не более 1,5 км; далее индикаторные минералы практически отсутствовали. В начале ореола максимальное количество зерен таких минералов не превышало 15—20 знаков, но, тем не менее, я предположил, что здесь находится совершенно уникальный объект: среди обнаруженных минералов были необычно высокохромистые пиропы и хромиты, но полностью отсутствовали пикроильмениты, которые доминировали в ранее открытых нами в регионе трубках. Самым важным было то, что вместе с редкими индикаторными минералами в пробах систематически встречались алмазы: до этого никто в Канаде алмазы в пробах тиллов (ледниковых отложений) не встречал.

Когда меня спросили напрямую, присутствуют ли здесь признаки классической высокоалмазонасной трубки, я ответил «нет», но добавил, что, скорее всего, здесь имеется «нечто нестандартное», и оно может представлять значительный экономический интерес.

К моменту нашего приезда в Канаду в 1996 г. средства, выделенные на разведку территории, практически закончились, а 70 скважин, пробуренных моими зарубежными коллегами-геологами весной на акватории озера, дали близкий к нулевому результат. Мои канадские коллеги, основываясь на данных геофизической съемки, решили, что под озером находится серия кимберлитовых тел, которые можно разбудить. Прилетев в начале марта в Канаду, я резко возражал против



Сценарий развития спроса и добычи алмазов (в текущих ценах)

массированного бурения, считая, что территория еще не готова к нему, и рекомендовал для заверки лишь три из 136 выделенных для разбуривания аномалий, но меня не послушали: очень уж хотелось быстрых результатов. Кстати, на двух из трех выделенных аномалий скважинами были пересечены две маломощные (20 и 50 см) кимберлитовые дайки, и это были единственные положительные результаты всей программы бурения... Дальше предстоял сезон очень нервной работы: кончалась деньги, а кроме того, сложилась очень непростая ситуация в компании, — но, в конце-концов, мы все же нашли этот чертов кимберлит с очень качественными алмазами и хорошим их содержанием, однако сам кимберлит оказался аномальным как по внешнему виду, так и по петролого-геохимическим характеристикам. Необычной была и геометрия рудного тела.

Сначала мы предположили, что обнаружили вертикальную дайку, но затем выяснилось, что она расположена необычно: под наклоном 10–11° — и при средней мощности около 3,5 м ее ширина составляла более 3,5 км.

Благодаря такой геометрии рудного тела прогнозные запасы ценных алмазоносных пород до глубины 1 км в обнаруженном нами месторождении составили 53 млн т, а стоимость содержащихся в них алмазов достигала 18 млрд долл. Месторождений подобного типа до сих пор в мире обнаружено не было.

Теперь стоит обратиться к математике. Представьте себе, что вы купили такое месторождение. При условии, что будет добываться 2 млн т руды в год, и оборудование будет работать 25 лет, на разработку 53 млн т потребуются 26 лет. Все затраты на оборудование, строительство фабрики, аэропорта, а также на энергоснабжение, зарплату занятого на предприятии персонала и на другие сопутствующие расходы надо сопоставить с запасами руды, и тогда они составят всего около 50 долл. на тонну, но при этом тонна руды содержит алмазов на 360 долл. Таким образом, чистая прибыль составит более 300 долл. с каждой тонны. Вы будете платить 17-процентный налог с прибыли правительству Канады, а остальная прибыль будет принадлежать вам.

Согласно прогнозам аналитиков, в 2008 г. по добыче алмазов в мире будет лидировать Ботсвана (Южная Африка), дающая примерно 26 % мировых алмазов (в стоимостном выражении, т. е. не в каратах, а в долларах), на втором месте будет стоять Россия, добывающая около 25 %, на третьем — Канада, которая добудет около 12 % алмазов.

Ситуация с добычей алмазов похожа на ситуацию с добычей нефти и газа: наиболее простые месторождения исследованы и разрабатываются, остальные же не разведаны, так как имеют более сложную геологию.

Раньше поиски алмазов велись в районах с простыми условиями, где в глубоких долинах текут реки (глубина долины может быть 300 м, а ширина — 20 км). На склонах по четким ореолам индикаторных минералов обнаруживали кимберлитовые трубки, которые были вовлечены в процессы современной эрозии. Сейчас ситуация резко усложнилась. Поисковые работы на алмазы ведутся в условиях слабо развитых речных систем с узкими и мелкими долинами. Площадь долин временами составляет менее 10 % от общей площади поисковых территорий, а потенциально кимберлитовмещающие древние породы перекрыты слоем более молодых осадочных или, что на порядок хуже, магматических пород, толщина которого достигает десятков и даже сотен метров. Все это требует принципиально новых, более сложных комплексов прогнозно-поисковых методов, адаптированных к поисковым условиям каждой конкретной территории. Со старыми методиками и массированным бурением можно «сжигать» сотни миллионов долларов без каких-либо серьезных успехов.

Подобные поисковые ситуации наблюдаются и в Якутии, и в других регионах Сибирской платформы, и на северо-западе нашей страны, и в Канаде, и в Африке, и в Южной Америке — неоткрытые, надежно запрятанные природой месторождения алмазов ждут своего часа и своих первооткрывателей!

Литература

1. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. *Глубинная геодинамика*. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. — 409 с. — 2-е изд.
2. Соболев Н.В. *О минералогических критериях алмазоносности // Геология и геофизика*. — 1971. — № 3. — С. 70–80.
3. Mitchell R.H. *Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology*. — New York: Plenum Press, 1986. — 442 p.
4. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Reutsky V.N., Hall A.E., Taylor L.A. *Crystalline inclusions and C isotope ratios in diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke system: evidence of ultradeep and enriched lithospheric mantle // Lithos*. — 2004. — V. 77. — P. 57–67.

Автор и редакция благодарят к.г.-м.н. Н.Н. Крука (Объединенный ученый совет ННЦ СО РАН) за помощь в подготовке статьи, к.г.-м.н. А.Д. Павлушина (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск) за предоставленные иллюстративные материалы

Кристаллы якутских алмазов.
Фото А. Павлушина (ИГАИБМ СО РАН, Якутия)

