



Кратер Чиксылуб. Фото с сайта <http://bigplanet.ru/?photo=yes&photoID=644>

УДК 552.550.42



А.А.Маракушев



Н.А.Панеях

**Маракушев А.А.*,
Панеях Н.А.****

Формирование алмазоносных взрывных кольцевых структур

*Маракушев Алексей Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института экспериментальной минералогии РАН, академик РАН, почётный профессор МГУ им. М.В.Ломоносова

E-mail: belova@iem.ac.ru

**Панеях Надежда Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института экспериментальной минералогии РАН

E-mail: paneyah@yandex.ru

Взрывные кольцевые структуры (так называемые астроблемы) принципиально отличаются как от метеоритных кратеров (взрывных котловин, создаваемых падениями железных метеоритов), так и от кимберлитовых трубок, представляющих единственный источник ювелирных алмазов.

Алмаз взрывных кольцевых структур относится к техническим, образующим мельчайшие зерна в смеси с лонсдэлитом (гексагональной модификацией алмаза). Он образуется в импактиках (импакт-удар) под действием взрывов, порождаемых флюидными плюмами, восходящими из жидкого земного ядра. Взрывам предшествует образование депрессий платформенной коры. Их развитие завершается взрывными выбросами кристаллического фундамента и выбросам алмазоносных импактитов в атмосферу с частичным возвращением их в кольцевые структуры в виде так называемых возвращенных брекчий.

Образование взрывных кольцевых структур относится к катастрофическим аспектам земной эволюции. Аналогичные взрывные процессы порождают землетрясения, очаги которых фикси-

руются на Земле до глубины порядка 700 км

Ключевые слова: астроблемы, взрывные кольцевые структуры, кимберлитовые трубки, зювиты, тагамиты, железные метеориты, алмазы, импактиты.

Высокое давление, необходимое для образования алмаза, создается или в магматических очагах, развивающихся в мантии Земли, или при взрывах флюидов, исходящих из ее жидкого ядра.

Порождавшие алмаз магматические очаги зарождались в мантии под флюидным воздействием и распадались на гранат-оливиновые (дунитовые и перидотитовые) и гранат-пироксеновые (эклогитовые) магмы, в которых кристаллизовались силикаты одновременно с алмазом, образующим идеальные кристаллы с острыми ребрами и вершинами. По включениям, содержащимся в нем силикатов, алмазы подразделяются на перидотитовый и эклогитовый типы. Алмазоносные магмы внедрялись из глубин мантии в земную кору. Консолидируясь в ней в виде первично алмазоносных пород (дунитов, перидотитов, эклогитов), они вовлекались в процессы формирования складчатой земной коры, подвергаясь метаморфизму или замещались кимберлитовыми (карбонатно-силикатными) флюидными расплавами. В том и другом процессах зерна алмаза растворялись с краев и округлялись, утрачивая идеальные кристаллографические формы, и замещались с краев вторичными минералами. Характерна также дезинтеграция кристаллов с образованием алмазной пыли, состоящей из мельчайших зерен алмаза причудливой конфигурации, как в метаморфических породах, так и кимберлитах. Кимберлиты являются вторичными алмазоносными породами, алмаз которых наследовался и преобразовывался при замещении кимберлитовыми магмами первичных алмазоносных пород (гранатовых перидотитов и эклогитов), их останцы в кимберлитах описываются под названием алмазоносных нодулей. Замещению легче подвергаются силикатные минералы первичных алмазоносных пород, тогда как сам алмаз замещается труднее и накапливается на фронте замещения в кимберлитовых магмах. Зерна его образовывали стяжения в виде алмазных агрегатов (карбонадо, борт и др.). При их собирательной перекристаллизации образуются крупные и гигантские кристаллы алмаза¹. Их размеры в десятки раз могут превышать размеры зерен алмаза первичных (мантийных) горных пород (перидотитов, эклогитов), в которых гигантские кристаллы никогда не образуются. Они являются вторичными образованиями корового кимберлитового магматизма, хотя и формируются на основе алмаза, вынесенного в земную кору перидотитовыми и эклогитовыми магмами из мантийных глубин.

Кимберлиты с их вторичной алмазной минерализацией и нодулями первичных алмазоносных пород внедрялись в верхние части платформ, образуя кимберлитовые трубки, которые совместно с россыпями, возникающими при их поверхностном разрушении, являются единственным источником благородных алмазов, пригодных для изготовления бриллиантов.

Принципиально иной тип представляют алмазы, возникающие под воздействием на углеродное вещество взрывов высокого энергетического уровня в процессах образования взрывных кольцевых структур.

Их происхождение связывалось первоначально с падениями. Соответственно они получили поэтическое название астроблем (звездных ран). Это название сохранилось до сих пор, хотя его космический смысл постепенно стал утрачиваться. Прежде всего выяснилось, что земной поверхности могут достигать только редкие железные метеориты¹ тогда как крупные массы преобладающих железо-каменных метеоритов, не достигают поверхности Земли, а взрываются в ее атмосфере на высотах порядка 10 км, теряют кинетическую энергию и выпадают на Землю в виде так называемых метеоритных дождей. При падении на Землю крупных железных метеоритов происходят взрывы с образованиями котловин (метеоритных кратеров). К крупнейшим из них относится Аризонский кратер в США. Он имеет диаметр 1230 м и глубину 180 м, окружается валом выброшенного материала с обломками железного метеорита.

Взрывные алмазоносные кольцевые структуры не содержат метеоритного вещества. Они характеризуются длительностью и сложностью геологического развития и большими размерами, достигающими в диаметре 180 км (структура Чиксулуб в Мексике).

Зарождение взрывных кольцевых структур начинается с образования заполняемых осадками депрессий, кристаллического фундамента платформ, что сопровождается встречным воздыманием мантийного субстрата², обусловленного глубинным развитием гипербазитового магматизма. Это радикальное преобразование платформенной коры связано с восхождением водородных плюмов из жидкого земного ядра. Импульсы их усиления порождают взрывы высокой энергии. Их следствием являются гигантские выбросы кристаллического фундамента в центральных частях депрессий, образование брекчий и алмазоносных импактитов (от слова импакт – удар) и их грандиозные выбросы в атмосферу, порождаемые взрывными волнами.

Остановимся на некоторых примерах взрывных кольцевых структур.

Кольцевая структура Карсвелл находится в Канаде. К этой структуре приурочено урановое месторождение Доминик Петер, благодаря чему кольцевая структура подвергалась детальному изучению бурением. Было выяс-

¹ Маракушев А.А. Термодинамическая специфика алмаза в связи с проблемой образования его гигантских кристаллов и карбонадо // Минералогический журнал. 2004. Т.26. №3. С.62-74.

² Кинг Э.А. Космическая геология. М.: Мир. 1979. 378 с.

² Маракушев А.А. Новая модель формирования платформенных депрессий и приуроченных к ним стратиформенных месторождений / Сб. Проблемы рудной геологии. М.: ИГЕМ. 2004. С. 11–25.

нено длительное развитие структуры, начавшееся в протерозое (1200 млн. лет) и завершившееся в раннем ордовике (480 млн. лет). В этом громадном диапазоне возраста сформировалось ее сложное строение (рис. 1)¹.

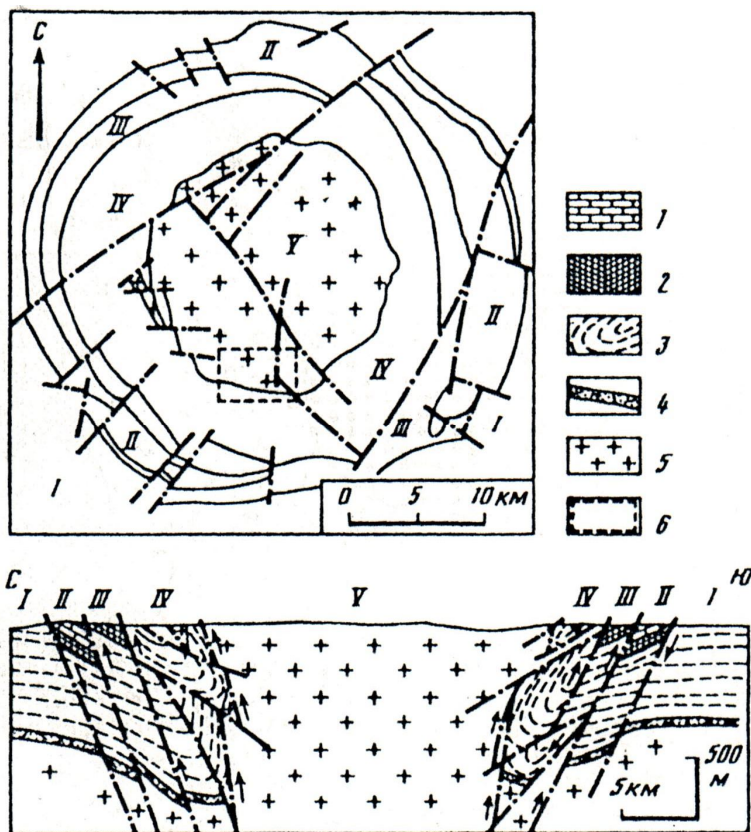


Рис. 1. Взрывная кольцевая структура Карсвелл в Канаде. 1 и 2 – фанерозойские отложения формаций Дуглас (доломиты) и Карсвелл (алевролиты); 3 – протерозойские песчаники формации Атабаска; 4 – базальные конгломераты; 5 – гранито-гнейсовое архейское основание депрессии, взброшенное в центре структуры; 6 – рудное поле уранового месторождения Доминик-Петер; I – платформа, окружающая депрессию, II и III – краевые зоны депрессии, IV – взброшенная внутренняя зона дислоцированных пород формации Атабаска, V – взброс гранито-гнейсового основания в центре кольцевой депрессии

определившей элементы грибообразной формы гнейсового цилиндрического ядра. В южной, краевой части ядра возникла протяженная зона конгломератовидных брекчий («zone boule»), вмещающая полосчатые урановые руды месторождения Доминик-Петер. Гигантский взброс кристаллического фундамента платформы мог создать только взрыв громадной мощности. Взброс фундамента сопровождался образованием кольцевой системы взбросов по разломам, падающим к центру структуры, как это видно на разрезе (рис. 1). Пересечением их на глубине определяется большая глубинность взрывного очага, породившего кольцевую структуру. Соответственно на большой глубине формировались, по-видимому, и ее импактиты, в том числе, алмазоносные, не имевшие выхода на современный эрозийный срез структуры.

Пучеж-Катунская взрывная кольцевая структура расположена на Волге северо-западнее г. Нижний Новгород. Она приурочена к сочленению северо-западного крыла Волжско-Камской антеклизы (ее Токмовского свода) с Московской синеклизой². Вдоль этого сочленения прослеживается пояс глубинных разломов северо-восточного простирания, по которым прослеживается ступенчатое погружение кровли фундамента от абсолютной отметки 1,7 км на Токмовском своде до 2,8–3,0 км в Московской синеклизе. В сочленении этих региональных структур и образовалась зона повышенной проницаемости, благоприятная для развития процессов активизации платформы. Одним из проявлений этой активизации и стало образо-

Развитие структуры начиналось с формирования инициальной депрессии архейского гранито-гнейсового фундамента платформы в ходе развития его чехла, представленного песчаниками протерозойской формации Атабаска. Депрессия заполнялась песчаниками, углубляясь под воздействием флюидного плюма, выщелачивающего под ней гранито-гнейсовый слой земной коры. В этом заполнении депрессии протерозойские песчаники сменялись алевровыми отложениями формации Дуглас и затем доломитами формации Карсвелл, относящимися уже к рифею. К рифею же (около 480 млн. лет) относится и глубинный взрыв флюидов, создавший разломы, определившие внешнее кольцевое обрамление структуры диаметром 39 км. По этим разломам происходили вздымание и эрозия структуры, нарастающие к центру, так что отложения самых молодых формаций Дуглас и Карсвелл сохранились только во внешних кольцах (II и III на рис.1). По сравнению с ними IV кольцо структуры более глубоко эродировано. Однако максимум этого грандиозного вздымания приходится на центральную часть депрессии (V), в которой ее кристаллическое гранито-гнейсовое основание, было взброшено с амплитудой 1200 м, образовав ядро структуры диаметром 18 км. Песчаники внутреннего IV кольца были вовлечены в этот катастрофический взброс и приобрели деформированное и уплотненное состояние под стрессовым давлением вздымающегося и расширяющегося гранито-гнейсового ядра. Эти соотношения характеризуют особую тектонику, получившую название «центробежной»,

¹ Baundemant D. and Fedorovich J. Structural control of uranium mineralization at the Dominique Peter deposit, Saskatchewan, Canada // Econ. Geol. 1996. V. 81. N. 5. P. 855–974.

² Блом Г.И. Фации и палеография Московской синеклизы и Волжско-Камской антеклизы в раннетриасовую эпоху. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 1972. 366 с.

вание Пучеж-Катунской кольцевой структуры. Как и все структуры подобного рода она приурочена к платформенной депрессии, в центральную часть которой в пермо-триасовое время был взброшен флюидным взрывом гранито-гнейсовый кристаллический фундамент совместно с перекрывающими его наиболее древними породами чехла. В результате образовалось Воротиловское поднятие купольной формы. Поднятие окружено дислоцированными осадочными породами, образующими окружающую его складчатость. Это – наглядное проявление центробежной тектоники, раскрывающей динамику образования Воротиловского поднятия. Взрывное развитие структуры продолжалось и после его формирования, как можно судить об этом по наложению на Воротиловское поднятие множества алмазоносных взрывных диатрем (рис.2 и 3)¹, представленных брекчиями импактно преобразованных гранито-гнейсовых пород. Стекловатый материал цементирует в них обломки, представляя собой импактное образование, содержащее агрегаты кубического алмаза с лондэлитом (гексагональной разновидностью алмаза) в виде мельчайших зерен размером менее 1 мм. В составе алмазоносных эксплозивных брекчий содержится хромит, отражающий их связь с глубинным гипербазитовым магматизмом. Наряду с ним в брекчиях содержится гранат, аналогичный гранату гранито-гнейсов Воротиловского поднятия.

Эксплозивные алмазоносные породы подразделяются на покровную, трубчатую и жильную фации. Покровные представлены переотложенными и аллогенными брекчиями. Переотложенные брекчии залегают преимущественно в кольцевых желобах, окружающих Воротиловское поднятие. Это своеобразные алмазоносные россыпи. Выброшенные мощным взрывом и отчасти возвращенные брекчии залегают только во внутренней части структуры вблизи эксплозивных котловин, непосредственно связанных с трубчатыми диатремами. Они мало чем отличаются от коренных брекчиевых пород самих взрывных трубок и жил, но характеризуются более низкой алмазоносностью. Наиболее высокая алмазоносность свойственна породам с повышенным содержанием стекла. Они образуются в результате импактного (взрывного) плавления гранито-гнейсовых пород.

Попигайская кольцевая структура диаметром 80–100 км, приурочена к северо-восточному обрамлению Анабарского щита – крупнейшего вздымания фундамента Сибирской платформы. Она образовалась в несколько стадий, охватывающих огромный диапазон геологического времени (65–30 млн. лет). Развитие начиналось с погружения фундамента платформы² на глубину до 2 километров. В этом грандиозном погружении были опущены на глубину и породы чехла платформенной депрессии, причем не только протерозойские, но и более молодые юрско-меловые (песчано-глинисто-углистые). За их отложением следуют взрывные взбросы кристаллического фундамента депрессии, обусловленные взрывами на небольшой глубине. Благодаря этому вместо обычных столбообразных взбросов гранито-гнейсового фундамента образовались пластины, расходящиеся от центра при их восходящем внедрении. В результате возникло своеобразное строение Попигайской структуры, в которой вместо центрального поднятия образовалось гранито-гнейсовое кольцо, которое геофизически фиксируется максимальной плотностью (рис.4). В результате возникло воронкообразное строение Попигайской структуры, в которой бурением обнаруживается множество пластин архейских гранито-гнейсов, внедренных в деформированные протерозойские и в более молодые породы платформенного чехла. Взброшенные из глубин блоки пород фундамента и платформенного чехла широко распространены на периферии кольцевой структуры и в ее непосредственном обрамлении. В каждой возрастной группе пород чехла фиксируются внедренные пластины и взбросовые блоки всех подстилающих более древних пород, в том числе и гнейсов кристаллического фундамента.

Гранито-гнейсовый взброшенный кольцевой вал разделяет Попигайскую депрессию на внешнюю и внутреннюю зоны. Во внутренней зоне в основном и сосредоточены алмазоносные импактиты, представленные брекчиями различных пород, постепенно переходящими в зювиты, состоящие в основном из обломочного стекла, и образующие лавовые брекчии и лавы пористого и пузырчатого стекла. Извержения зювитов и тагамитов сопровождалось грандиозными взрывными выбросами обломочного материала в атмосферу с частичным возвращением его в виде так называемых аллогенных (возвращенных брекчий). На периферии структуры они перекрывают аутигенные брекчии смешанного состава. Сами они перекрываются туфогенными образованиями и лавами зювитов и тагамитов. Характерные для Попигайской структур взбросы пород фундамента распространены и в покровах зювитов, относящихся к эоценовому возрасту, но не встречаются в более молодых перекрывающих их олигоценых лавах тагамитов

Минералого-петрологические особенности Попигайской структуры и других взрывных алмазоносных структур отражают необычайно высокий энергетический уровень взрывов, которыми обусловлено их образование. Под воздействием этих взрывов гранито-гнейсовые породы кристаллического фундамента платформ подвергались брекчированию, плавлению и совершенно специфическому так называемому импактному (ударному) преобразованию. При этом отдельные минералы плавятся и изоморфно замещаются своим собственным мономинеральным стеклом, получившим название диаплектового. Такой характер плавления объясняется тем, что под действием взрывной волны подъем температуры в каждом минерале происходит автономно в зависимости от его акустических свойств.

¹ Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Н., Панях Н.А. Формирование Пучеж-Катунской кольцевой структуры на Русской платформе // ДАН. 1993. Т. 328. №3. С. 361–365.

² Маракушев А.А., Шахотько Л.И. Стадии формирования и природа Попигайской алмазоносной кольцевой структуры // ДАН. 2001. Т. 177. № 3. С. 366–369.

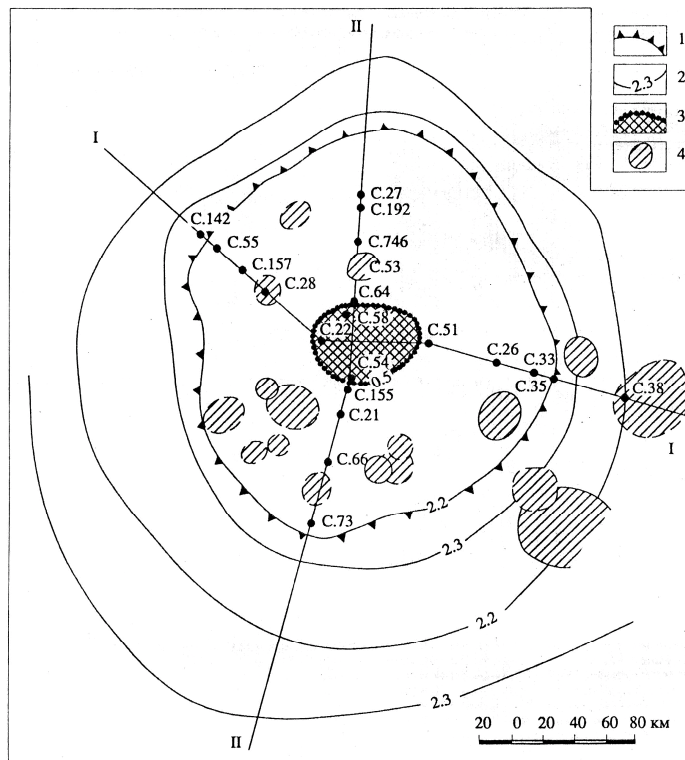


Рис 2. Схема строения Воротиловского гранито-гнейсового поднятия. 1 – контур купольной части (на глубине 2,2 км); 2 – изогипсы кровли (км); 3, 4 – диатремы и трубки взрыва: центральная (3), совпадает с изогипсой 0,5 км, и периферийные (4). I–I, II–II – линии геологических разрезов по скважинам (см. рис. 3).

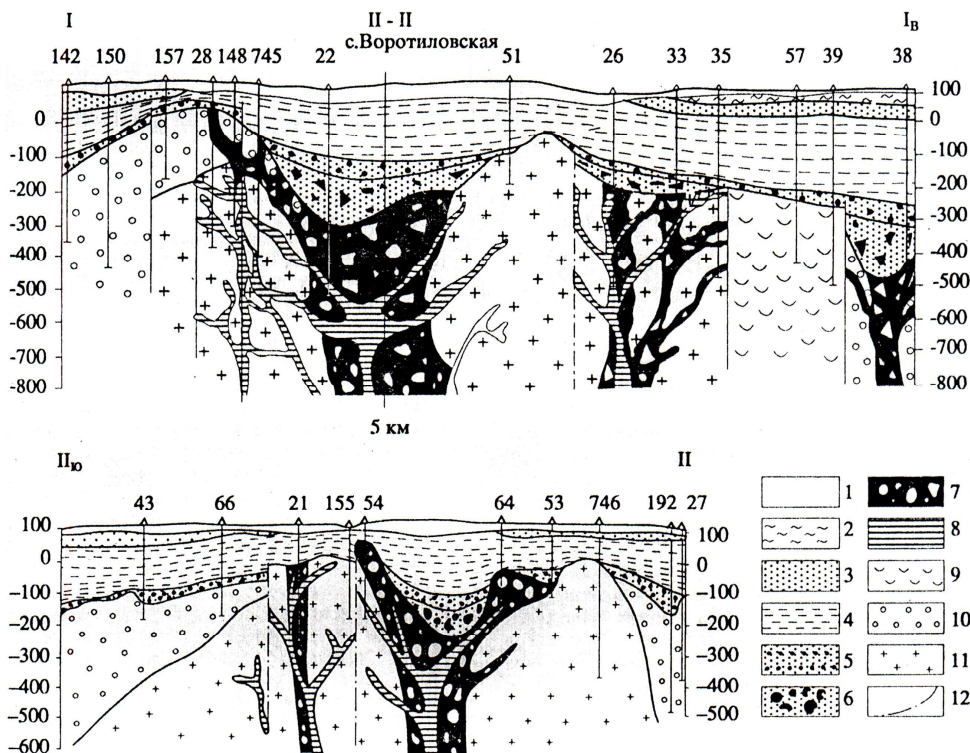


Рис 3. Геологические разрезы I–I, II–II (см. рис. 2) через Ворошиловский гранито-гнейсовое поднятие. 1–4 – молодые осадочные породы, перекрывающие кольцевую структуру: юрские (3 и 4), 5 – перетолженные эксплозивные брекчии, в том числе алмазоносные, 6 – аллогенные (возвращенные) алмазоносные эксплозивные брекчии, 7 – алмазоносные (импактные) эксплозивные брекчии в диатремах и трубках взрыва (автохтонные); 8 – лавовые брекчии и базальты; 9, 10 – дислоцированные породы чехла депрессии: 9 – палеозойские, 10 – допалеозойские взброшенного основания депрессии (Воротиловское поднятие), 11 – гнейсы, мигматиты и граниты архейско-протерозойского возраста; 12 – их гидротермально измененные разновидности.

Легче всего плавится кварц, что ведёт к образованию в импактиках кварцевого стекла (лешательерита). Плавлению зерен кварца предшествует формирование в них планарной структуры (перекрещивающихся систем параллельных трещин), что служит характерным признаком импактогенеза. Плагноклазовое стекло, слагающее псевдоморфозы по кристаллам плагноклаза, называется маскелинитом. В диаплектовых стеклах, образовавшихся по кварцевым зернам гнейсов, как и в обособленных скоплениях лешательерита, систематически содержатся флюидные включения, что однозначно доказывает их образование под воздействием флюидных взрывов высокого энергетического уровня, под ударами их взрывных волн.

Поскольку обусловленный взрывом подъем температуры происходит в жесткой среде кристаллического фундамента (при постоянном объеме), он сопровождается возрастанием всестороннего давления, «автоклавым эффектом», под воздействием которого в импактиках образуются минералы высокой плотности: алмаз, лонсдэлит, чаоит, коэсит, стишовит и др. Эти минералы совместно с планарным кварцем и диаплектовыми стеклами входят в состав брекчий в основном кристаллических породах фундамента депрессий. Импактные брекчии цементируются тагмитами и зювитами – стекловатыми породами, характеризующимися обилием в них газовых пор, пузырьков и каверн.

Необычайно высокий энергетический уровень взрывных процессов образования кольцевых алмазодносных структур ставит их в один ряд с очагами землетрясений и другими катастрофическими процессами, обусловленными импульсами дегазации жидкого земного ядра¹.

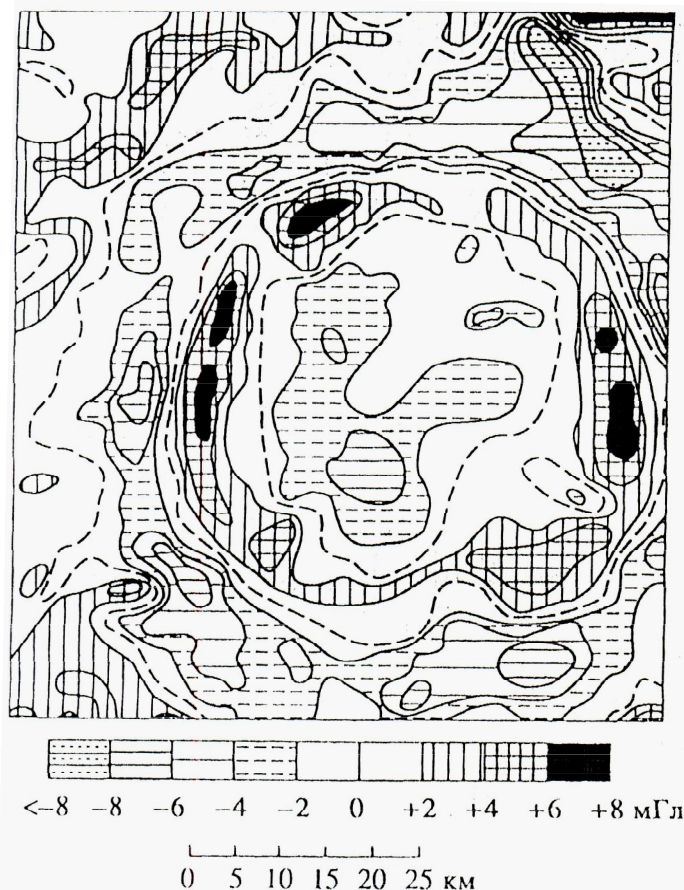


Рис. 4. Схема гравитационных аномалий Попигайской кольцевой структуры. Максимальная плотность (черный цвет) отвечает пластинам гранито-гнейсов – взброшенным взрывом кристаллических пород фундамента депрессии

ЛИТЕРАТУРА

1. Эблом Г.И. Фации и палеография Московской синеклизы и Волжско-Камской антеклизы в раннетриасовую эпоху. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 1972. 366 с.
2. Кинг Э.А. Космическая геология. М.: Мир. 1979. 378 с.
3. Маракушев А.А. Новая модель формирования платформенных депрессий и приуроченных к ним стратиформенных месторождений // Сб. Проблемы рудной геологии. М.: ИГЕМ. 2004. С. 11–25
4. Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Н., Панеях Н.А. Формирование Пучеж-Катунской кольцевой структуры на Русской платформе // ДАН. 1993. Т. 328. № 3. С. 361–365.
5. Маракушев А.А., Шахотько Л.И. Стадии формирования и природа Попигайской алмазодносной кольцевой структуры // ДАН. 2001. Т. 177. № 3. С. 366–369.
6. Маракушев А.А. Термодинамическая специфика алмаза в связи с проблемой образования его гигантских кристаллов и карбонадо. // Минералогический журнал. 2004. Т. 26. № 3. С. 62–74
7. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцент». 2002. 250 с.
8. Baundemant D., and Fedorovich J. Structural control of uranium mineralization at the Dominique Peter deposit, Saskatchewan, Canada // Econ. Geol. 1996. V. 81. N. 5. P. 855–974.

¹ Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцент». 2002. 250с.