

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.242.51 (571.5)

**КОТУЙКАНСКАЯ КОЛЬЦЕВАЯ СТРУКТУРА: ВОЗМОЖНОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО  
МАСШТАБНОГО ИМПАКТНОГО СОБЫТИЯ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОГО КРАТОНА**

**М.З. Глуховский, М.И. Кузьмин\***

*Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия*

*\* Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия*

На севере Сибирской платформы выделена Котуйканская кольцевая структура, которую по дистанционным, космогеологическим, тектоническим, геофизическим, структурно-вещественным и изотопно-геохронологическим критериям можно идентифицировать как крупную палеопротерозойскую астроблему Земли, сравнимую с такими близкими по возрасту импактными структурами, как Вредефорт и Садбери. Кроме того, здесь же выявлены косвенные признаки еще двух крупных структур подобного генезиса. Тем самым подтверждается предположение многих ученых о массивированной бомбардировке поверхности ранней Земли крупными астероидами и о возможном влиянии масштабных импактных событий на динамику мантии Земли и ротационный режим планеты, т.е. на ход ее тектонической эволюции, включая процессы тектоники плит.

*Импактные структуры, астроблемы, кольцевые структуры, Сибирский кратон.*

**THE KOTUIKAN RING STRUCTURE AS POSSIBLE EVIDENCE FOR A LARGE IMPACT EVENT  
IN THE NORTHERN SIBERIAN CRATON**

**M.Z. Glukhovskii and M.I. Kuz'min**

Remote-sensing, cosmogeological, tectonic, geophysical, structural, compositional, isotopic, and geochronological criteria permit identifying the Kotuikan ring structure in the northern Siberian Platform as a Paleoproterozoic large astrobleme, close in age to the Vredefort and Sudbury impact structures. Also, indirect evidence for two more large impact structures was obtained here. This confirms widely hypothesized massive bombardment of the early Earth by asteroids and a possible effect of large impact events on the Earth's mantle dynamics and rotation regime, that is, the tectonic evolution of our planet, including plate tectonics.

*Impact structures, astroblemes, ring structures, Siberian craton*

**ВВЕДЕНИЕ**

Дистанционное изучение поверхности каменных планет Солнечной системы привело к признанию важности импактных событий в их развитии. Удары крупных астероидов оказали влияние не только на формирование своеобразного рельефа этих планет, но иногда и на динамику внутрипланетных процессов, включая тектонику плит, и появление на поверхности планет следов, оставленных мантийными плюмами [Morgan et al., 2000]. С ударами крупных астероидов связывают замедление скорости и изменение направления осевого вращения планет с прямого на обратное. Такими примерами могут служить Уран и, возможно, Венера. Подобные высокоэнергетические события не могли не коснуться и Земли, особенно на ранних стадиях ее развития, во многом определив необратимый и нелинейный ход ее внутрипланетных эндогенных процессов и геодинамической эволюции [Флоренский и др., 1983; Марков, Федоровский, 1986; Grieve, 1987; Хаин, 2000, 2003; Pirajno, 2001; Баренбаум, 2002; Катастрофическое..., 2005; Koeberl, 2006; Хаин, Короновский, 2007; Сазонова, 2008]. При этом надо учитывать более интенсивное гравитационное поле Земли по сравнению с другими планетами земной группы. Поэтому количество импактных событий на ранней Земле было почти в 50 раз больше, чем на этих планетах [Pirajno, 2001]. Следы этих древних событий почти не сохранились, поскольку в настоящее время только 30 % поверхности Земли имеет возраст менее 200 млн лет.

Сибирская платформа является широким полем для поисков древних астроблем. В ее пределах (в отличие от других древних платформ) до сих пор не удавалось выявить признаков крупного импактного события докембрийского возраста. Известно, что к одному из таких признаков относят кольцевые структуры, которые видны на космических снимках Земли. Такие структуры разного диаметра давно выделялись и на Сибирской платформе. Наиболее крупные из них диаметром от 400 до 1100 км интерпретировались как сиалические ядра (нуклеары), а структуры меньшего размера относились к метаморфогенному типу — гранитогнейсовым куполам или овалам [Глуховский, 1990]. Среди них, в частности, выделялась Котуйканская кольцевая структура (ККС), природа которой оставалась не вполне выясненной. Ее условно относили к метаморфогенному типу, хотя она не обладала признаками, характерными для таких структур [Розен и др., 1986; Глуховский, 1990].

Целью настоящего исследования является идентификация ККС как древнего глубокоэродированного ударного кратера путем выявления разномасштабных критериев импактного события. В работе приводятся также некоторые признаки двух погребенных структур подобного типа в других местах. В заключение кратко рассмотрим вопросы, связанные с импактными событиями палеопротерозоя и их последствиями, как они могли влиять на динамику внутренних и внешних оболочек планеты, включая активизацию мантийных плюмов и связанных с ними особенностей магматизма, а также на ход процессов плитотектоники.

Статья основана на данных, полученных в ходе многолетних работ [Глуховский, 1990], но часто с иной интерпретацией материала, а также с использованием литературных источников.

### КРАТКИЙ ОБЗОР ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИМПАКТНЫХ СОБЫТИЯХ НА РАННИХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

К наиболее ранним событиям такого рода относят удар о Землю протопланеты размером с Марс, который мог вызвать образование Луны за счет вырванного из мантии Земли и из этой протопланеты вещества [Тетерев и др., 2004; Koeberl, 2006; Valley, 2006; Хаин, Короновский, 2007]. Последующие удары массивных метеоритов поразили Землю около 4.5 млрд лет назад и создали адские экстремальные условия формирования и рециклирования протокры [Valley, 2006]. После этого Луна и ранняя Земля испытали, по крайней мере, еще три масштабных фазы астероидной бомбардировки [Koeberl, 2006]. Это так называемая «поздняя тяжелая бомбардировка» (ПТБ) около 3.90—3.85 млрд лет, с которой связывают образование лунных бассейнов, а также следующие за ней бомбардировки — около 3.4—2.5 и 2.0 млрд лет назад.

Теоретически подсчитано, что в течение фазы ПТБ на Землю за счет ее размеров и гравитационного притяжения упало больше тел, чем на Луну. Их количество достигало 40 при размерах ударников от 100 до 2000 км и адекватных им диаметрах ударных кратеров от 1000 до 5000 км [Тетерев и др., 2004; Светцов, Шувалов, 2005]. Эти кратеры могли оказаться центрами ударной трещиноватости, по которым поднимался мантийный материал в виде плюмов [Pirajno, 2001]. Здесь, возможно, происходил рециклинг первичной базитовой протокры, что приводило к росту сиалических ядер [Марков, Федоровский, 1986; Глуховский, 1990]. По всей видимости, следы этих событий были стерты с лица планеты в ходе последующих экзогенных и эндогенных процессов, связанных, в частности, с тектоникой плит. В то же время следы структур, связанных с импактами, могли сохраниться в пределах фундаментов древних платформ в виде изометричных или близких к ним сиалических ядер, выделяемых нами в виде нуклеаров [Глуховский, 1990]. Эти ядра видны на космических снимках низкого разрешения в виде крупных кольцевых структур, которые часто совпадают с изометричными аномалиями вертикальной составляющей магнитного поля Земли (по данным ИСЗ «Magsat» [Haines, 1985]). Как оказалось, количество выделенных таким образом нуклеаров диаметром от 400 до 4000 км колеблется от 38 до 40 [Глуховский, 1990], что соответствует теоретическим расчетам возможного числа астероидов фазы ПТБ [Тетерев и др., 2004].

Прямые следы структур следующей, архейской, фазы импактных событий на Земле также не сохранились. Однако следует заметить, что в зеленокаменных поясах первого поколения возрастом 3.47—3.20 млрд лет: Барбертон (Barberton) в Южной Африке и кратон Пилбара (Pilbara) в Австралии обнаружены горизонты эджекитов (брекчий) и сферулитов — пород импактного происхождения. Сферулы содержат Fe, Ni, Cr, Co и Sc, а также элементы платиновой группы, типичные для метеоритов, и часто сопровождаются аномалией Ir [KYTE et al., 2003; Glikson, Vickers, 2006; Koeberl, 2006]. Считают, что эти горизонты отражают одно или несколько масштабных импактных событий, среди которых предполагается падение крупного астероида размером 20—50 км и формирование соответствующего кратера диаметром от 300 до 800 км. Эти события вызвали импакт-триггерную реактивацию мантийной конвекции, которая сопровождалась глубокими расколами кристаллического фундамента сформированной к тому времени протоконтинентальной коры, рифтогенезом, накоплением вулканогенно-осадочных толщ и ко-

ровым анатексисом. Надо отметить, что некоторые геологи не согласны с этими выводами, считая, что геохимические аномалии (сферулы и эджекиты) имеют вторичное происхождение [Reimold et al., 2000].

Если для первых 2.5 млрд лет жизни Земли структурные признаки астероидной бомбардировки фактически отсутствуют, то прямые свидетельства палеопротерозойской импактной фазы сохранились более или менее отчетливо. Все они видны на космических снимках в виде разновеликих кольцевых структур. К крупным астроблемам относятся глубокоэродированные ударные кратеры Вредефорт (Vredefort) в Южной Африке диаметром 300 км и возрастом  $2023 \pm 4$  млн лет и Садбери (Sudbery) на Канадском щите диаметром 250 км и возрастом  $1850 \pm 3$  млн лет [Kumazawa et al., 1994; Grieve, Theriault, 2000; Налдретт, 2003; Lana et al., 2003, 2003a, 2004; Катастрофические..., 2005; Lighfoot, Zotov, 2005; Koeberl, 2006]. Три крупные астроблемы расположены на Балтийском щите и три в Австралии (в скобках название, диаметр, возраст). На Балтийском щите — Кеурусселка (Keurusselka, 30 км, около 1800 млн лет) и Паасселка (Paasselka, 10 км, около 1800 млн лет) в Финляндии, а также Суавьярви (Suavjarvi, 16 км, около 2400 млн лет) в Центральной Карелии. В Австралии — кратеры Шумейкер (Shoemaker, 30 км,  $1630 \pm 5$  млн лет), Яррабубба (Yarrabubba, 30 км, 2000 млн лет) и Амелия Крик (Amelia Creek, 20 км, 1640 млн лет) [Машак, Орлова, 1986].

К настоящему времени на Земле установлено до 189 импактных структур. Все они имеют размеры меньшие, чем Вредефорт и Садбери, — от нескольких десятков метров до 50—60 км [Катастрофические..., 2005]. Исключение составляют астроблемы Маникуагуан в Канаде, провинция Квебек (Manicouagan, 100 км, 214 млн лет), Чиксулуб в Мексиканском заливе (Chicxulub, 170 км, 65 млн лет), Попигай на севере Сибирского кратона (Popigay, 100 км, 36 млн лет) [Grieve, Theriault, 2000; The Earth...].

Очевидно, что обнаружены далеко не все древние крупные импактные структуры, формирование которых охватывает более половины возраста Земли, когда об ее поверхность могло ударяться от 100 до 200 и более крупных метеоритов [Grieve, 1987; Koeberl, 2006; Хаин, Короновский, 2007]. Об этом, в частности, свидетельствует статистическое сопоставление возрастных этапов астероидных бомбардировок Луны с признаками ударных структур, а также докембрийского плюмового магматизма и наиболее энергичного роста континентальной коры на Земле [Condie et al., 2001; Abbot, Isley, 2002; Condie, 2002]. Оно показало высокую степень корреляции между этими событиями (доверительный уровень от 90 до 97 %) и подтвердило как архейские (3.45—3.2 и 2.7—2.5 млрд лет), так и палеопротерозойскую (2.1—1.8 млрд лет) импактные фазы. Как видно из перечня древних импактных структур, они установлены в пределах Африканского, Канадского, Австралийского и Балтийского кратонов. В то же время в пределах Сибирского кратона древние импактные структуры и сопряженные с ними глубинные процессы, затрагивающие мантию, практически не описаны. Этим определяется наша попытка обратить внимание на такие явления, обнаруженные на Анабарском щите в бассейне р. Котуйкан.

### КРИТЕРИИ КОТУЙКАНСКОГО ИМПАКТНОГО СОБЫТИЯ

Котуйканская кольцевая структура (ККС) расположена на севере Сибирской платформы (см. рис. 1, 2). Ее диаметр — 250 км, координаты центра —  $69^{\circ}03'$  с.ш. и  $104^{\circ}25'$  в.д. Для доказательства Котуйканского импактного события ниже приводятся мега-, макро- и микроскопические критерии, выработанные на основе мирового опыта по изучению крупных астроблем [Фельдман и др., 1981; Melosh, 1997, 2003; Катастрофические..., 2005; Сазонова, 2008; The Earth...].

**Мегаскопические критерии.** К этим критериям относятся: отражение ККС на космических снимках низкого и среднего разрешения, а также крупные геолого-структурные особенности ее внутреннего строения, характер геофизических аномалий и глубинные неоднородности. ККС дешифрируется на всех без исключения космических снимках, полученных с разных спутников (см. рис. 2), а также [Розен и др., 1986, рис. 5; Глуховский, 1990, рис. 17]. Ее западный сегмент охватывает область развития платформенного чехла, а меньший по размерам, восточный, занимает западную часть Анабарского щита. Подчеркнем, что ее дуговые элементы в пределах Анабарского щита большей частью дискоформны по отношению к линейной северо-западной структуре архейского фундамента, который служил ударной мишенью для крупного астероида, что характерно для древних изометричных импактных структур [The Earth...]. Особенно четко ККС видна на снимках, снятых поздней осенью и весной во время сохранения снежного покрова. На общем светлом фоне западный сегмент структуры выделяется темным фототонном, а ее восточный сегмент — серым, осложненным узкими дуговыми темными полосами (см. рис. 2). Аэровизуальные и наземные наблюдения показали, что эти особенности космического фотопортрета ККС связаны с характером ландшафта. Так, в пределах платформенной части развита лесотундра и лиственничная тайга, не выходящие за пределы внешнего контура структуры, за которым простирается типичная тундра. На Анабарском щите — это разветвленная система гидросети с залесенными долинами на преобладающем сером фоне каменных развалов склонов и водоразделов.