

Новые данные каталога «Импактные структуры Земли»

А. В. Михеева

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН, Новосибирск*

О природе Тунгусской катастрофы существует много гипотез, и причиной тому является факт отсутствия крупного кратера в эпицентре взрыва. Однако в отчётах экспедиций разных лет есть сообщения о некоторых структурах, предположительно связанных с Тунгусским событием: «таинственное озеро», воронки диаметром до 400 м, кратер, расположенный в 26 км к северо-западу от эпицентра взрыва и т.д. (рис. 1).



Рис. 1. Структуры, предположительно связываемые с Тунгусским событием

В условиях такой избыточности недостоверных, часто взаимо-исключающих данных большую помощь в исследованиях могут оказать каталоги, как банки данных всех сведений об объекте изучения. В частности, в описываемом каталоге импактных структур Земли [1] собран большой объём информации по всем достоверным, вероятным, предполагаемым и даже ошибочным структурам космического происхождения. Исходная таблица содержит на сегодняшний день список из 862 структур, каждая из которых характеризуется разнотипными морфологическими, геологическими, ударно-метаморфическими, геофизическими и другими свойствами. В главной таблице нашего Web-сайта [2] из них представлены только 7 основных полей. Однако в описательной части, переход к которой от каждой записи осуществляется по гипертекстовым ссылкам, содержится дополнительная информация в виде постоянно пополняемых списков библиографии, текстовых описаний, фотографий и схем.

В последнее время добавлено, в частности, большое количество библиографических ссылок по реферативным журналам, а также краткое содержание статей, благодаря чему общий объём данных вырос в несколько раз.

По сравнению с предыдущей версией данного каталога он пополнен ~200 новыми записями, среди которых 5 достоверных астроблем, таких как Кутюр, Крауфорд, Каранкас и др., большое количество вероятных и

предположительных структур, добавленных не только благодаря вышеупомянутым библиографическим источникам, но и по частным электронным сообщениям отдельных исследователей. Заметим, что все нововведённые кратеры, о которых далее пойдёт речь, не встречаются ни в одном другом из известных каталогов (например, [3]).

Несмотря на значительные различия импактных структур по размерам, геологическому возрасту, особенностям внутреннего строения и составу залегающих в них пород, исследователями разработаны определённые признаки их идентификации. Эти признаки могут быть разделены на три основные группы: 1) морфоструктурные, 2) минерало-петрографические и 3) геофизические.

Кольцевая или овальная форма метеоритных структур обычно хорошо видна на геологических и геоморфологических картах. Морфоструктурные признаки: кольцевой вал вокруг воронки (для преимущественно молодых кратеров); центральное поднятие (при $D = 2-3$ км в осадочных и $D = 6-8$ км в кристаллических породах); радиально-кольцевое расположение разломов; наличие брекчий (аллогенных, аутигенных) и импактитов (стёкол, эювитов). Большое количество новых структур, пополняющих таблицу, обнаружено благодаря бурному развитию географических систем, позволяющих выделять кольцевые структуры по подробному рельефу местности и по аэро- и космоснимкам.



a

б

в

Рис. 2. Итальянские импактные кратеры, выделенные по рельефному признаку

Среди таких вновь добавленных структур можно назвать следующие. Итальянские кратеры Больцано ($46^{\circ}43'23,29''$ N, $11^{\circ}25'33,98''$ E, $D=22.35*26.95$ км, вал, центральное поднятие) (рис. 2,а), Гропповисдомо ($44^{\circ}47'47.00''$ N, $9^{\circ}42'5.62''$ E) в Эмилии (рис. 2,б) и Монтекки Магиоре ($45^{\circ}28'3.37''$ N, $11^{\circ}28'13.01''$ E) в Венеции (рис. 2,в).

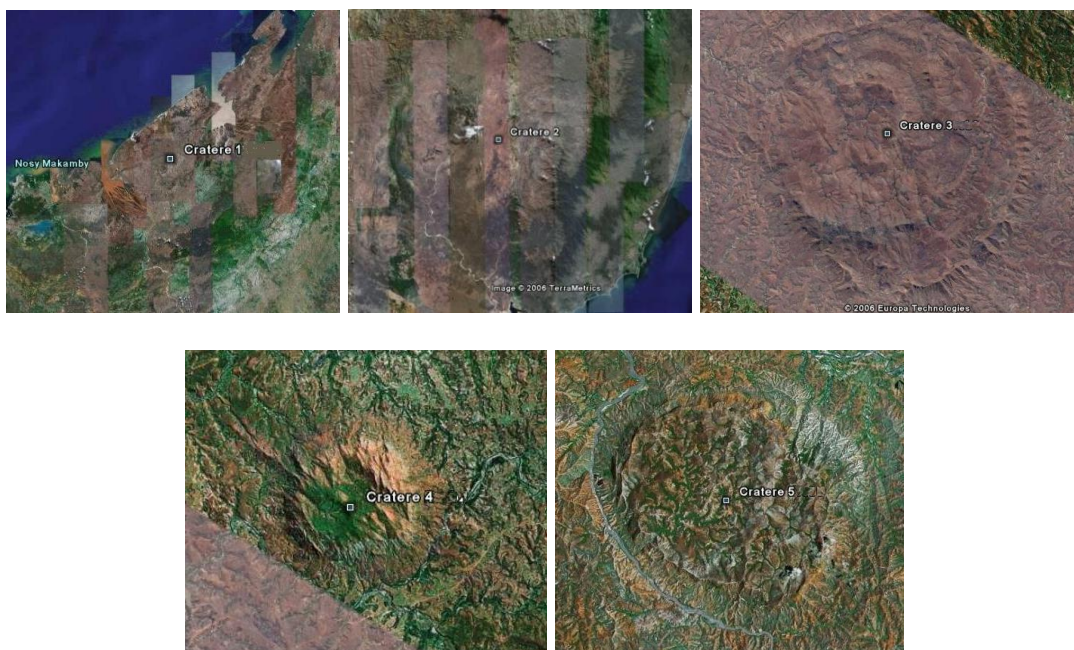


Рис. 3. Мадагаскарские импактные кратеры

По тому же критерию выделены и пять мадагаскарских кратеров с пространственно-структурными параметрами: 1) $15^{\circ}40'50.18''S$, $46^{\circ}43'9.46''E$, $D = 289.29$ км; 2) $24^{\circ}22'11.05''S$, $46^{\circ}25'18.93''E$, $D = 98.54$ км; 3) $18^{\circ}50'24.42''S$, $46^{\circ}13'3.58''E$, $D = 12.15$ км (содержит несколько концентрических колец); 4) $18^{\circ}42'42.17''S$, $46^{\circ}9'58.52''E$, $D = 4.5$ км (вал); 5) $17^{\circ}49'19.68''S$, $47^{\circ}24'22.81''E$, $D = 11.95$ км (вал, воронка) (см. рис. 3).

Данные об этих восьми структурах добавлены по сообщениям Маттео Чинеллато и Ф. Пеццотта из Венеции и, за отсутствием публикаций, содержат в каталоге не библиографические, а персональные ссылки.

Необходимо также отметить данные исследований Джеймса Корбетта по открытой им предполагаемой ирландской структуре. После фильтровой обработки спутниковой карты Mapbox им были выявлены следы восточной стенки кратера (рис. 4).



Рис. 4. Импактный кратер Корбетт

Далее мы будем описывать новые структуры, также выделенные по первому диагностическому признаку, которые в разные годы упоминались в одной

или нескольких публикациях, но по каким-то причинам не были включены в каталоги.

Например, конус разрушения, выявленный в разрезах Мульдайского кратера в Забайкалье (Шевченко Ю.С., 1996), явился надежным диагностическим признаком ударного происхождения этой кольцевой, кратероподобной формы. Кольцевые структуры Северного Прибайкалья (Ключарев Д.С., 2004), как и геоморфология всего Байкальского хребта (Яковлев В.М., 2003) с его импактными порфирами, также позволяют сделать вывод об их внеземном происхождении. Серия этих структур объединена в каталоге под общим названием Байкальский.

Кратер Амирантский диаметром ~900 км (Hartnady C.J.H., 1986, Chatterjee, 1990): дугообразный Амирантский хр. интерпретируется как западный вал предполагаемого ударного кратера, его восточный вал считается разбитым трещинами и перекрытым лавами Декана.

Горский Котар диаметром 20 км (Zvonaric S., 1996): описание топографии и геологического строения области даёт такие морфологические признаки, как многокольцевой бассейн, разрушенное центральное поднятие и т.д.

Кольцевой купол Левез (Франция) диаметром 26 км (Vincent Pierre M., 2001) также имеет морфоструктурные признаки ударной структуры и показывает очень сильное сходство строения с эродированными астроблемами типа Вредефорт.

Очерская структура (Воронов, 1997): на основании морфографических и морфометрических данных выделено полукольцевое образование и делается вывод о том, что озеро представляет собой кратер метеорита.

Семейтауская кольцевая структура (Зейлик Б.С., 2001), в зонах растяжения которой отмечается интенсивная трещиноватость, брекчированность, раздробленность вмещающих пород, там же локализуются месторождения и рудопроявления золота.

Несколько структур предположительно импактного происхождения выявлено по геоморфологическим признакам в Эфиопии (Abate V., Koeberl S., 1996): озеро Тана, две небольшие кольцеобразные структуры вблизи него и две кольцевые структуры диаметром 1,2–5,0 км в провинции Сидамо на юге страны (их космогенность подтверждается обнаружением Fe-Ni стяжений).

На Дальнем Востоке по морфометрическим данным установлена космогенная природа следующих структур: массив Кондер (по морфологии аналогичен кратеру Бэрринджер, в шесть раз превосходя его по диаметру), Нони (концентрически зональная структура с внешним кольцом), Хымогна-

Яган (аналогичный Нони), Гарьский ("структура разбитой тарелки", резко дифференцированное магнитное поле), Деспский (наряду с Гарьским сопровождается комплексом ПИ – платина, золото, хромит, тальк, олово, вольфрам, асбест), Хабаровская астроблема диаметром 100 км, отчетливо выраженная в рельефе дугообразными хребтами Вандан на севере и Хехцир на юге, кольцевой характер которой подчеркнут в центральной части структуры дугообразными руслами проток, рек и озер (Сушкин Л.Б., Федоренко А.А., 1999).

Одна из наиболее крупных нововведённых круговых структур – чаша Южного Каспия в Казахстане (D = 400 км), которая, ещё по гипотезе Галилея, является следом удара гигантского небесного тела (Геворкян С.Г., 1998).

Все вышеперечисленные структуры выявлены по единственному морфоструктурному признаку и поэтому зафиксированы в каталоге как предположительные (3-я степень достоверности).

Следующая вторая группа идентификационных признаков для обнаружения новых кратеров – минерало-петрографическая. Обломки различных горных пород и минералов несут следы ударного метаморфизма, которые являются существенным отличием космогенных структур от других геологических образований. В настоящее время признаки ударного метаморфизма установлены во многих минералах – кварце, полевых шпатах, слюдах, пироксенах и др. Надёжным признаком ударного метаморфизма являются высокобарические минералы: коэсит, стишовит, алмаз. Так, например, в метаморфических кварцитах массива Дора-Майра (Schertl Hans-Peter, Medenbach Olaf – 1994) был найден монокристалл пироба размером ~10 см, в котором по результатам рентгенографических и химических анализов были выделены включения коэсита, окруженного кварцем, что характеризует кратер как ударный.

Изучение границы мела и палеогена в Словении в районе долины Соча дало интересные результаты в разрезе Канал-Лиг по значениям изотопов углерода, которые при сравнении с аналогичными данными из других скважин, где присутствует также резкая иридиевая аномалия, позволяют сделать вывод в пользу гипотезы удара внеземного тела (Pavšič J., Dolenc T., Horvat A., 1996).

В кратере Карпатский (Szoos Gyula и др., 2005) был проведён комплексный анализ космических микрообъектов. По более 40 элементам установлено много общего с импактными продуктами Аризонского метеорного кратера в США (сферулы, глобулы, пластинчатые выделения и др.).

В архейском бассейне Хамерсли (Hassler Scott W. и др., 1996) в Австралии диаметром 40 км, глубиной 3,76 км (при предполагаемой глубине океана в

момент образования кратера 3760 м) найдены и изучены капли силикатного расплава (микрориститы) и зерна кварца. Отношения Ni/Ir и Ni/Ru в микрориститах близки к хондритным (космическим), а зерна кварца «не содержат структур планарных деформаций, имеют волнистое погасание и содержат слои из пузырьковидных включений и иглообразные включения рутила», что полностью исключает вулканическую природу их образования (Simonson Bruce M. и др., 1996, 1997).

Неопровержимым минерало-петрографическим доказательством метеоритного происхождения кольцевых структур является также наличие метеоритного вещества. Так, в структуре Ангарской обнаружено повышенное, до 13 %, содержание железа, не зависящего от состава подстилающих коренных пород, причём в «отдельных прослоях железистые горошины и картечины встречаются в изобилии» (Лузин В.Ф., Андреев В.В., 1999).

Геолого-геохимическое исследование метеоритного кратера Лоцюаньли (Gin Gong-jiong и др., 2001) в китайской провинции Ляонин показывает аномальные содержания Pt, Pd, Ru, Ir, Rh, а также зерен Pt, что также позволяет диагностировать его метеоритное происхождение.

Далее продолжим список новых структур кратерами, представляющими обе названные группы признаков. Венгерская структура, названная нами Баконь, выделена по структурно-морфологическому признаку: кольцевая структура с центральным поднятием – конусом (Moldvay Lorand, 1987), но изучены и петрографические свидетельства: ударная листоватость как текстурная особенность известняковых гравийников, «зарубцованность» их поверхности.

В космогенных структурах Монголии Агит-Хангайская, Хурэ-Мандальская (Хури Мандал Ценхер) и Баян-Хури, выделенных по материалам аэрофотосъемки и подтвержденных в 1999 г. геологической съёмкой, обнаружено присутствие коэсита и псевдотахилита в гранитах, а также структуры течения кварцевого стекла. Кроме того, в большинстве отобранных образцов присутствуют пироп, бесцветный альфа- и бета- кварц, золото, хромовая шпинель и даже кристаллики алмазов (Доржнамжаа Д. и др., 2000, 2001, 2003, 2007). Наличие сразу двух основных диагностических признаков позволяет отнести эти кратеры в разряд вероятных.

Океаническое плато Возвышенность Шатского (северо-запад Тихого океана) имеет данные бурения на границе мела-третичного периода по нескольким скважинам. С помощью инструментального нейтронно-активационного анализа определялось содержание многих элементов для морских карбонатов. Полученные значения отношений Fe/Ir и Mn/Al не отвечают модели образования плато путем давления плюма, в то время как

моделирование кометных ударов дает сходные результаты (Jin C.-Y. и др., 1989, Roddy D.J. и др., 1991, Mahoney J.J. и др., 2005).

Возвращаясь к Тунгусской проблеме, можно также отметить кольцевую структуру в районе Тунгусского события диаметром 8 км (Hryanina L.P., 1999). Она выражена и морфологически (кольцевая впадина с валом, центральные пики: горы Стойкович и Фаррингтон), и структурно (горст-антиклинали, концентрическая сеть разломов), и петрографически (признаки ударного метаморфизма в кварцах центральных пиков, наличие брекчий, диаплектовых стёкол, железных шариков). Данная кольцевая структура занесена в каталог в качестве отдельной структуры Большая Депрессия, так как её предполагаемый возраст (триас) значительно старше Тунгусского события.

В связи с обсуждением группы минерало-петрографических признаков можно отметить внесённые персональные данные исследований Бременского геолога Карла Сассе по возрасту Богемской структуры. Собрав в таблицу результаты исследования возраста (методами U-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd и т.д.) многих минеральных включений: циркона, титанита, импактита, эклогита, мусковита, биотита, моназита и др., он позволил нам не только уточнить возраст этой структуры (342 млн лет), но и перевести её в разряд достоверных. Кроме геохимических признаков его данные содержат немного морфометрической информации о свойствах залегания слоёв – крутые склоны, грушевидность структуры, и один геофизический признак – повышенный уровень гравитационных аномалий в районе кратера.

Третья группа признаков – геофизические – аномалии физических полей, возникающие в зоне воздействия космического взрыва. Эти аномалии исследуются геофизическими методами: гравиметрическими, сейсмическими, электро- и магнитометрическими. Центральным зонам космогенных структур соответствуют относительные гравитационные минимумы, иногда осложнённые локальными максимумами (из-за поднятия глубинных масс в центральной области). В магнитном поле космогенные структуры проявляются благодаря концентрическому расположению аномалий, имеющих в центре отрицательные или пониженные значения.

Так, венгерские кратеры Мадярмечкэ и Медешьпуста, добавленные в каталог по сообщению Какас Кристоф (Венгерский геофизический институт), были обнаружены благодаря геофизическим методам.

Структура Мадярмечкэ не является новой в каталоге, изменена лишь степень его достоверности в связи с недавно вышедшей публикацией [4]. В этой работе результаты интерпретации круговой по форме аномалии теллурической проводимости диаметром 6 км, которая в плане совпадает с аналогичным по форме гравитационным минимумом, дополнены данными

сейсмического профилирования, подтвердившего наличие однопиковой структуры, погребённой под толщами неогеновых осадков.

Кратер Медешьпуста имеет чётко выраженную круговую структуру на спутниковом снимке (рис. 5). И, хотя петрофизические подтверждения космогенности пока отсутствуют, электромагнитные, гравитационные и магнитные данные показывают наличие зон дробления вмещающих доломитовых пород.



Рис. 5. Кратер Медешьпуста

В приведённом ниже перечне нововведённых структур геофизические признаки были использованы как дополнительное подтверждение метеоритной гипотезы их происхождения.

Депрессия, получившая название "структура Курбун-Шиви" (Тува), с размером дна 100*60 м и глубиной 60 м по данным ряда исследований (геологическая съёмка, геофизические работы, геохимические методы) была отнесена к вероятным космогенным структурам (Попов В.А., 1999).

Лунинская астроблема: плоскодонное углубление округло-треугольной формы размером 17*11 км и глубиной 90 м; окаймляющий кольцевой вал – были обнаружены геолого-геофизическими изысканиями на шельфе Баренцева моря с привлечением данных сейсмического профилирования (Крылов Р.А., 1997).

Поля метеоритных кратеров на территории Тбилиси (замкнутые эллипсоидные параллельные друг к другу депрессии-котловины) и Окрибы (глубокая, более 80 м котловина) обнаружены и подтверждены по всем признакам (Макацария А.П., 1998). Во-первых, по геоморфологическим признакам: отсутствие мелового известнякового свода мощностью 1 км, остатки известнякового обрамления, выраженного в рельефе моноклинальными хребтами с переклиналильным падением пластов, трещинные нарушения, существование зон дробления «горной муки» в

депрессиях ниже коренного дна; во-вторых, по признакам шокметаморфизма и, в-третьих, по отрицательным гравитационным аномалиям.

Онежская структура, центр которой совпадает с Заонежским полуостровом, наряду с минерало-петрографическими признаками удара (наличие уникальных платинометалльно-уран-ванадиевых метасоматических руд и кимберлитов) обладает такими геофизическими доказательствами, как: сводовое поднятие мантийно-коревой поверхности М, показанное геофизическим профилированием, минимум теплового потока в центре структуры, также свидетельствующий о приподнятой "холодной" мантии (Куликова В.В., 2003, Шмураева Л.Я., 2005).

Озеро Телле площадью до 25 км² и с глубинами до 2,5–3,0 м, расположенное на севере Республики Конго, предположительно отнесено к космогенным структурам исключительно благодаря геофизическому признаку: слабо выраженной кольцевой магнитной аномалии, примерно совпадающей с очертаниями акватории озера (Laraque Alain, Pouyaud Bernard и др., 1997).

Гравиметрическая и магнитная съемки позволили когда-то обнаружить много новых ударных кратеров на Земле (Pesonen L.J., 1996), мы отметим среди них кратер Хаппаджарви в Финляндии.

Очень сложная картина показана в районе месторождений полезных ископаемых Урала (Березовское месторождение золота, уральские алмазы и др.), образование и размещение которых также связывают с импактной моделью (Кузовков Г.Н., 1998, 2001, 2002). На основании комплекса данных (признаки ударного метаморфизма в породах, морфологические, геофизические и структурно-геологические особенности) высказывается предположение о принадлежности Урала к краевой части двух гигантских сопряженных космогенных структур (гиаблем) – Западно-Сибирской (Д~2000 км) и Казахстанской (Д~1200 км). Из геоморфологических признаков перечислены: метаморфизм пород, наличие импактных горстов, диатрем, соляных куполов и карбонатных «рифов», а также антиклинально-сводовые образования Шарташской вихревой и Верхисетской структур, аналогичных куполам Вредефорт (ЮАР) и Карсвелл (Канада). Рассмотрен состав максютовского комплекса (мусковит, гранат, щелочной амфибол, графит, полевые шпаты, кварц и т.д.) и эклогит-глаукофансланцевый пояс Урала, как минералогический диагностический признак гигантской импактной структуры. Поскольку ни одна из описанных ранее импактных структур Урала (например, Средне-Уральская) не охватывает всего этого геологического комплекса, то нами внесено обобщающее название Уральская для гиаблемы диаметром 600 км, граничащей с двумя указанными гиаблемами и охватывающая все описанные комплексы с импактными признаками. Привлечённые нами данные о линейных магнитных аномалиях (концентрическая, дугообразная форма) и аномалиях намагниченности (ярко

выраженный максимум) [5] подтверждают правомочность выделения такой структуры.

В заключение перечислим такие нововведённые предположительные импактные структуры, для которых имеется лишь по одной доступной нам публикации, где они упоминаются, и очень мало информации. Это польские ископаемые метеоритные кратеры Пультуск, Белосток, Лович (Skompski Sylwester, 1988); Виллой-Ленский – под этим именем обобщена группа предполагаемых метеоритных кратеров на водоразделе Вилюя и Лены (Масайтис В.Л. и др., 1985); ИСЗ-1 – выделенный по спутниковым снимкам кратер в Республике Йемен (Blom R.G. и др., 1998); Каранкас – небольшой кратер, образовавшийся после падения метеорита в Перу 18 сентября 2007 г.; и, наконец, китайская кольцевая структура Фаньшань (Xing Ye, 1996).

Полное название публикаций, авторы и годы которых указаны в этой работе, можно найти в полном виде на сайте [2] в описательной части соответствующих структур.

На данный момент каталог насчитывает 197 достоверных, 230 вероятных, 382 предположительных и 53 ошибочных космогенных структур, данные о которых постоянно корректируются и пополняются.

Список литературы

1. Алексеев, А.С. СУБД импактных структур Земли / Всероссийская конференция «Астероидно-кометная опасность-2005»; А.С. Алексеев, А.В. Михеева, Е.В. Лысковская, З.А. Ляпидевская, В.Е. Петренко, (2005). – СПб., 2005.
2. Михеева, А.В. [Электронный ресурс] (2008) Web-сайт «Каталог Импактных Структур Земли : omzg.sscc.ru/impact.
3. Rajmon, D. [Электронный ресурс] (2008) The 10th version of the Suspected Earth Impact Sites database : <http://web.eps.utk.edu/ifsg.htm>.
4. Bodoky Tamas, Don Gyorgy, Kis Marta, Kummer Istvan, Posgay Karoly, Sores Laszlo. Is the Magyarmecske telluric conductivity anomaly a buried impact structure? / Bodoky Tamas, Don Gyorgy, Kis Marta, Kummer Istvan, Posgay Karoly, Sores Laszlo // Central European Geology. – 2007. – V. 50. N. 3. – P. 199–223.
5. Михеева, А.В. Импактные кратеры и линейные магнитные аномалии / А.В. Михеева // Труды междунар. конф. «Околоземная астрономия», п. Терскол, 3–7 сент. 2007 г. – Нальчик : КБНЦ РАН, 2007. – С. 63.