

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



**Геолого-
географический
факультет**

Томского
государственного
университета

ДИНАМИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием,
посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете
специалистов в области наук о Земле

8–12 ноября 2021 года

ТОМ I

Томск 2021

Определяющий геодинамический фактор – это движение панамериканской плиты с востока на запад. Она движется под действием сил инерции, обусловленных планетарным вращением Земли (Параев, Еганов, 2012). Тихоокеанская плита, сжимаемая между Азией и Америкой, выгибается по срединной оси и подныривает под Азиатскую и Американскую континентальные плиты (см. рис. 1). Погружение осадочных пород океанической плиты под континентальную плиту порождает явление вулканизма.

Таким образом, вулканические извержения – это составная часть геодинамического механизма в единой цепи саморегуляции существования планеты, которая в своём развитии функционирует по принципам термодинамической системы.

Литература

4. Апродов В.А. Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
5. Апродов В.А. Неотектоника, вулканические провинции и великие сейсмические пояса Мира. Изд-во МГУ, 1965. 222 с.
6. Влодавец В.И. Вулканы Земли. М.: Недра, 1973. 168 с.
7. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.
8. Козырев А.Н. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении // Избранные труды. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991, С. 232–287. (<http://nkozyrev.ru/>)
9. Лучицкий И.В. Основы палеовулканологии (в 2-х томах). Т. 1. Современные вулканы. Т. 2. Древние вулканы. М.: Наука. 1971. 480 и 383 с.
10. Мархинин Е.К. Вулканическая гипотеза образования земной коры, гидросферы и атмосферы. Дальневосточное книжное изд-во. Петропавловск-Камчатский. 1967. 60 с.
11. Молчанов В.И., Селезнёва О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М.: Недра, 1988. 208 с.
12. Параев В.В. Земля – особая форма космической жизни: Супер-организм с универсальной системой планетарного метаболизма по типу гомеостаза. Издательский дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Deutschland, 2021. 147 с.
13. Параев В.В., Еганов Э.А. Эволюция Земли как космогенный императив: научно-философский аспект проблемы. Издательский дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Deutschland, 2012. 176 с.
14. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. М.: Географиздат. 1961. 342 с.
15. Тазиев Г. Вулканы. М.: ИЛ, 1963. 117 с.

УДК 550.5

ГЕОМОРФОСТРУКТУРА КОНДЕР – ОТ АСТРОБЛЕМЫ ДО КОЛЬЦЕВОГО ХРЕБТА

А.В. Поздняков^{*1,2}, О.Г. Невидимова², А.В. Пучкин^{1,2}, Ю.С. Пупышев²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, *synergeia.pol@gmail.com

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия,

На примере строения Кондерской геоморфоструктуры центрального типа (СЦТ) рассматривается способ количественной оценки скорости поступления эндогенного материала по связывающему ее с астеносферой каналу. Дается обзор механизмов формирования кумулятивных струй в жидких и вязких средах и возможность применения теории для объяснения динамики астроблемы и формирования СЦТ. Обосновывается вывод, о том, что центральная горка – реликт кумулятивной литопластической струи, формировавшейся в результате снятия нагрузки упругого сжатия глубинных слоев. Раскрывается алгоритм автомодельного развития астроблемы, своеобразного самокопирования ее формы (СЦТ) и предлагается оригинальный механизм ее длительного самосохранения при условии непрерывного поступления эндогенного материала из астеносферно-мантийной зоны.

Ключевые слова: структура центрального типа, кумулятивная струя, астроблема, Кондер, автомодельное развитие

On the example of the structure of the Kondery geomorphostructure of the central type (SCT), a method is considered for the quantitative assessment of the rate of inflow of endogenous material along the channel connecting it with the asthenosphere. A review is given of the mechanisms of the formation of cumulative flows in liquid and viscous media and the possibility of applying the theory to explain the dynamics of the astrobleme and the formation of SCR. The conclusion is substantiated that the central hill is a relic of a cumulative lithoplastic flow formed as a result of the removal of the elastic compression load of deep layers. An algorithm for the self-similar development of an astrobleme, a kind of self-copying of its shape (SCT), is disclosed, and an original mechanism of its long-term self-preservation is proposed, provided that endogenous material is continuously supplied from the asthenosphere-mantle zone.

Keywords: structure of the central type, cumulative flow, astrobleme, Kondery, self-similar development

В изучении структур центрального типа (СЦТ) в российских научных публикациях наиболее известными являются работы исследователей, возглавляемых В.Л. Масайтисом (Масайтис и др., 1980; 1990), В.И. Фельдманом (Фельдман, 1999) и др. Широко известны исследования импактных структур Р.С. Дитца (Дитц, 1968), впервые давшего им название «астроблемы». Его исследования были опубликованы в российских научных изданиях и инициировали интерес геологов в России к этой проблеме. Им, в частности, было высказано предположение о возможности перетекания глубинных слоев литосферы как реакции на удар. Исследования проблемы столкновения космических тел с Землей, проводившиеся в последние десятилетия в России и за рубежом, подтверждают давно высказанное положение Ю. Шумейкера (Shoemaker, 1977) о том, что соударение космических тел является фундаментальным процессом в формировании планет земной группы. По мнению А.М. Goodwin (1975) ударное воздействие приводило не только к образованию гигантских ударных бассейнов, но и вызывало мантийную конвекцию.

Из опубликованных материалов нами использован фактический материал, позволяющий объяснить механизм формирования и динамику импактных кратеров. При этом наибольший интерес представляют факты, не укладывающиеся в сложившиеся представления о механизмах взаимодействия космических тел с поверхностью Земли. Среди них обращают внимание следующие:

1. Астроблемы диаметром до 3–4 км имеют чашеобразную форму. Глубина кратера составляет около 1/3 диаметра, отношение глубины воронки к диаметру – 0,30–0,33. В сложных импактных кратерах, диаметр воронок которых составляет 10–14 км и более, кроме центральной горки, появляется отчетливо выраженное кольцевое поднятие и центральная горка или кольцевое поднятие и кольцевой желоб (Масайтис и др., 1980; Мелощ, Фельдман, 1999). В астроблемах диаметром, превышающим 14–15 км, наблюдаются два и более кольцевых поднятий, а кратеры с диаметром в десятки километров характеризуются многокольцевой структурой;

2. В центральной части кратера мощность вмещающих пород увеличена, а в зоне кольцевого вала слои залегают под крутым углом к нормали с падением к внешним краям. В Жаманшинской астроблеме (Зап. Казахстан), П.В. Флоренским (1980) установлено, что древние пласты горных пород по ее периферии опрокинуты, лежат подошвой вверх на более молодых по возрасту слоях;

3. В результате изучения древних астроблем установлено, что экскавация горных пород на поверхность происходила с глубины, достигавшей более 11 километров (Масайтис и др., 1980).

Из перечисленных фактов следует, что импактное воздействие сопровождалось образованием в центре астроблемы направленного вверх вертикального

струйного потока расплавленных горных пород, газа и обломков. Этим струйным потоком увлекаются вмещающие породы, происходит поднятие и опрокидывание их слоев. Взрывом данные явления не объяснить. Взрывной характер имеют малые по размеру астроблемы, до 4 км в диаметре, и они не сопровождаются образованием форм, характерных для крупных астроблем.

Приведенные факты и изученный до уровня практического применения механизм формирования в жидкостях и металлах при взрыве кумулятивных струй (Лаврентьев, Шабат, 1973), привели к идее возможного образования литогенных (газо-литопластических) кумулятивных струй (Поздняков, 2007).

В результате экспериментальных исследований и их теоретического обобщения (Лаврентьев, Шабат, 1973) было установлено, что скорость (u) кумулятивной струи находится в прямо пропорциональной зависимости от скорости (v) движения вещества, векторы которых радиально направлены к единому центру (нормали или оси) под углом (φ) и определяется как

$$u = v \operatorname{ctg} (\varphi/2). \quad (1)$$

Причем скорость u , при постоянной v , зависит только от φ : при $\varphi = 10^\circ$ $u = 11v$, а при $\varphi = 20^\circ$ $u = 57v$ (Майер, 1989).

Скорость сближений астероидов с Землей лежит в пределах 11,2–72,8 км/сек. Столкновение же их с поверхностью Земли, вследствие торможения в атмосфере, происходит при скоростях значительно меньших. Считается, что в момент удара давление в течение долей секунд возрастает до 100–300 ГПа (Масайтис и др., 1980), а выделяемая в процессе соударения энергия достигает 1019–1023 Дж. Этого достаточно, чтобы ударное воздействие проникало на значительную глубину, достигающую нескольких километров. Опираясь на эти данные, можно полагать, что в результате ударно-взрывного воздействия формируется две принципиально различающиеся по физическим процессам зоны: зона взрывной экскавации пород и пластических деформаций пластов в верхних слоях ЗК и зона упругого сжатия пород и последующей их разгрузки в нижних слоях ЗК и на границах с астеносферой (соответственно зона 1 и зона 2, рис. 1).

Зона взрывной экскавации пород и пластических деформаций. В рассматриваемой зоне 1 (рис. 1) происходят в основном необратимые геодинимические процессы, ведущие к образованию ударно-взрывного кратера и кольцевого вала. Столкновение астероида с поверхностью Земли сопровождается взрывом, плавлением горных пород, их разрушением и экскавацией материала. Одновременно формируется центробежная (сферически расходящаяся) ударная волна, вызывающая пластические деформации, дробление пород, их фрикционное плавление. Смещение разрушающихся пород в радиальных направлениях обуславливает поднятие поверхности, дающее начало формирования кольцевого вала.

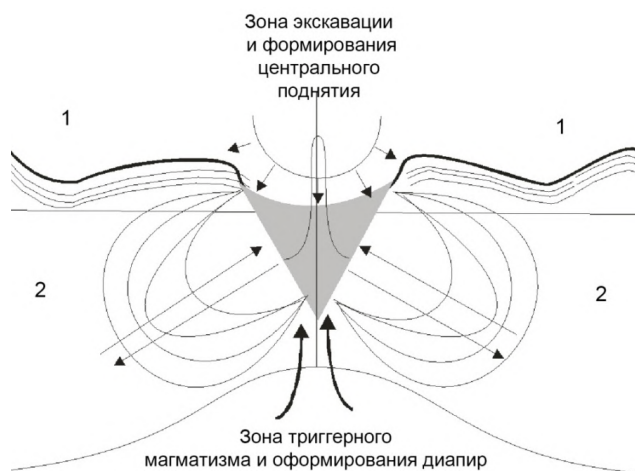


Рис. 1. Схема формирования астроблемы
1 – зона пластических деформаций пород и формирования рельефа астроблемы; 2 – зона упругого сжатия, разгрузки и разрушения пород.

Зона упругого сжатия пород и последующей разгрузки. Ударное воздействие на глубинах в несколько тысяч метров, сопровождается одновременным образованием двух типов упругих волн: сферически (радиально) распространяющихся от центра удара центробежных волн и сферически (радиально) сходящихся центростремительных волн (волн упругой отдачи). Их распространение сопровождается различными геодинамическими и геоморфологическими эффектами.

Сферически расходящаяся волна упругого сжатия кристаллических пород сопровождается двумя эффектами: по ее движущемуся фронту происходит упругое сжатие пород, тогда как в центральной части - их растяжение, разуплотнение и дезинтеграция. Вследствие того, что энергия ударной волны с глубиной затухает до нуля, под взрывающимся телом формируется зона растяжения, имеющая форму осесимметричного перевернутого конуса, с углом ϕ его образующих по отношению к оси (рис. 1).

Сферически сходящаяся (центростремительная) волна упругой отдачи характеризуется значительно меньшей энергией, однако плотность энергии при ее движении к центру быстро нарастает. Ее роль в формировании кумулятивной струи в импактном процессе определяющая.

Векторы импульсов центростремительной волны упругой отдачи перпендикулярны образующим конуса. Таким образом, согласно уравнению (1), на оси конуса происходит резкое возрастание плотности энергии и возникает направленная вверх кумулятивная струя со скоростью $u=v \operatorname{ctg}(\phi/2)$.

Механизм формирования астроблем с позиции предложенной идеи. Идея аналогии динамики импактных геоморфоструктур с образованием кумулятивных литогенных струй позволяет снять несколько неразрешенных до сего времени вопросов. Так,

можно объяснить причины образования центральных поднятий в кратерах - по существу, это реликты (остатки) кумулятивной струи. В формировании кумулятивного литогенного потока участвует вся толща пород, подвергаясь ударному воздействию, в связи с чем происходит образование ореолов брекчированного глубинного материала в зоне центральной горки и «...явления вытягивания горизонтов пород в центральном поднятии» (Масайтис и др., 1980). Известны астроблемы (диаметром более 10 км, например, астроблема Ялали в Австралии), состоящие из нескольких концентрических вложенных одна в другую кольцевых структур.

Кольцевая морфоструктура Кондер. На Дальнем Востоке (Хабаровский край) открыта одна из удивительно правильно построенных сложных кольцевых структур - гора Кондер. Морфологически эта кольцевая структура прекрасно выражена, ее особенностью является высокоупорядоченная эрозионная расчлененность, благодаря которой даже при глубокой эродированности структуры четко выделяются центральное поднятие, внутренняя и внешняя кольцевые образования. Диаметр кратера 14,25 км. Диаметр внутренней кольцевой ложбины, ограничивающей центральное поднятие, 6 км. По результатам изучения геологического строения, проводившегося в то время, когда большого внимания импактным кольцевым структурам не уделялось, считается, что образование морфоструктуры обусловлено внедрением в песчано-алевролитовую толщу ультраосновных пород, для которых, как полагается, характерна концентрическая зональность.

В настоящее время исследователи больше склоняются к идее возможности образования морфоструктуры Кондер за счет импактного воздействия. Во всяком случае, по геоморфологическим особенностям строения и некоторым геологическим данным она является классической астроблемой (Сушкин, Федоренко, 1999).

Астроблема Кондер характеризуется контрастно выраженным кольцевым валом, представляющим хребет шириной 1–1,5 км с абсолютной высотой 1300–1398 м. Относительное превышение высот хребта во внешнем обрамлении, по периферии составляет 500 м, а относительно днища кратера 600–700 м. Он расчленен радиально расходящимися долинами водотоков, преимущественно первого порядка.

Центральная горка астроблемы Кондер эродирована, тем не менее, морфологически отчетливо выражена благодаря сохранившемуся кольцевому желобу.

Центральная часть астроблем (останцы центральной горки) сложена ультраосновными породами: дуниты, пироксениты, габбро. Кольцевой хребет (кольцевой вал) сложен песчаниками и алевролитами рифея и архейскими метаморфическими сланцами.

Можно полагать, что ударное воздействие, сопровождавшееся образованием кумулятивных литогенных струй, играло роль триггерного эффекта,

инициировавшего образование плюма и проявление магматизма.

Геоморфологическая выраженность морфоструктуры Кондер, с учетом ее геологического строения, вызывает неразрешимую с момента ее изучения проблему не только генезиса, но и возраста. Если склоняться к наиболее вероятному времени ее формирования (нижний мел, более 100 млн лет), то это усиливает наши убеждения в ее еще не оконченном жизненном цикле. В противном случае, она давно была бы полностью уничтожена эрозионно-денудационными процессами. В этой связи ставится закономерный вопрос о механизмах ее самосохранения, теоретически рассматривавшийся ранее (Поздняков, 1988).

Механизм автомодельной динамики рассматриваемой геоморфоструктуры проявляется при одном условии, если в течение длительного времени действует процесс поступления энергии (неразделимо, и вещества), в данном случае эндогенный ее поток (Q_{en}), инициированный, как показано выше, ударным воздействием космического тела. Следовательно, в формировании геоморфоструктуры в неразрывном взаимодействии участвуют и вторая сила – экзогенный поток (Q_{ek}) вещества и энергии. Почти буквально геоморфоструктура является равнодействующим результатом этих двух сил. В кратком изложении суть самокопирования морфоструктуры состоит в следующем (Поздняков, 1988). Количественные результаты взаимодействия эндогенно и экзогенно инициируемых потоков вещества (и энергии) в геологических временных масштабах соизмеримы – метры за 1 тыс. лет ($m/1000$). Единственным измерителем длительности экзогенного моделирования любого геологического тела является равнодействующая (линия или плоскость), морфометрически выражающаяся в ее наклонах, в градусах. Привершинная, гольцовая часть хр. Кондер ограничена склонами 200, представляющими равнодействующую потоков Q_{en} и Q_{ek} . При известной среднегодовой скорости выветривания и денудации равной $m=2$ мм/год в течение 1000 лет скорость поднятия геологического тела составляла

$$\Delta H(t) = m / \cos 20^\circ = 2.128 \quad (2)$$

Здесь $m=2000$ мм определяется по линии, перпендикулярной плоскости склона с углом наклона 200. Из данных положений следует, что увеличение скорости денудации может произойти вследствие возрастания скорости $\Delta H(t)$ поднятия центрального геологическо-

го тела и тогда возрастет скорость денудации $\Delta m(t)$, и увеличится абсолютная высота геоморфоструктуры. Уменьшение же ее высоты и исчезновение как морфоструктуры, может происходить только при условии $Q_{en}(t) \rightarrow 0$.

Модель динамики предполагает расширение прикладных возможностей в количественной оценке объемов поступления эндогенного и экзогенного вещества (Q_{en} и Q_{ek}) и определения объемов содержания полезных минералов. С этой целью определяется суммарная площадь поверхности склонов морфоструктуры, суммарный объем выводимого в сферу экзогенной дезинтеграции эндогенного вещества.

Литература

1. Костровицкий С.И. Физические условия, гидравлика и кинематика заполнения кимберлитовых трубок. М.: Наука, 1976. 95 с.
2. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973. 416 с.
3. Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Машак М.С., Райхлин А.И., Селивановская Т.В., Шаденков Е.М. Геология астроблем. Л.: Недра, 1980. 231 с.
4. Масайтис В.Л., Назаров М.А., Бадюков Д.Д., Иванов Б.А. Импактные события на рубеже мезозоя и кайнозоя: интерпретация данных // Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. Л.: Недра, 1990. С. 146–167.
5. Майер В.В. Кумулятивный эффект в простых опытах. М., Наука. 1989. 190 с.
6. Поздняков А.В. Литогенные кумулятивные струи в земной коре, образуемые импактным воздействием // Земная поверхность, ярусный рельеф и скорость рельефообразования: Материалы Иркутского геоморфологического семинара. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. С. 221–223
7. Поздняков А.В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М., Наука, 1988. 208 с.
8. Фельдман В.И. Астроблемы – звездные раны Земли // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 9. С. 67–74.
9. Флоренский П.В., Дабижа А.И. Метеоритный кратер Жаманшин. М., Наука, 1980. 127 с.
10. Сушкин Л.Б., Федоренко А.А. О космогенной природе ряда морфоструктур Дальнего Востока. «Геология и геодинамика Евразии». Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 1999. С. 62–63.