

УДК 553.32.323:551.(470)

И.М. Варенцов<sup>1</sup>

## КРУПНЕЙШИЕ МАРГАНЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАРАТЕТИСА: СЛЕДСТВИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ИМПАКТНЫХ СОБЫТИЙ НА РУБЕЖЕ ЭОЦЕН/ОЛИГОЦЕН

**Часть 3. Метеороидные импактные события и распределение  
импактитов в осадках бассейнов Мирового Океана;  
атмосферные явления, климатические изменения;  
активизация мантийных плюмов и ассоциирующего  
вулканизма; активизация мантийных плюмов  
и ассоциирующих гидротермальных систем**

*Импактные процессы активизировали произошедшую у границы эоцен/олигоцен коллизию континентальных плит Евразии и Индии, перестройку глобальной системы литосферных плит, усиление межплитного вулканизма и гидротермальной активности, возрастание скоростей спрединга осевых зон Мирового океана. Эти процессы находят отражение в поведении марганца, в частности, контролируют формирование крупнейших месторождений руд этого металла в черносланцевых бассейнах Паратетиса.*

### Введение

Формирование гигантских марганцевых месторождений в черносланцевых бассейнах Паратетиса у границы эоцен/олигоцен контролировалось оптимальным сочетанием ряда главных факторов. Вследствие коллизии Индии и Евразии в это время произошла реорганизация системы литосферных плит. На этом отрезке геологической истории значительная роль принадлежала крупным импактным событиям, детерминировавшим особенности геодинамического развития, в частности, рифтинг, распад Гондваны, расколы континентов. Импактные события на границе эоцен/олигоцен и ассоциирующая активизация мантийных плюмов, сопровождавшиеся межплитным вулканизмом и гидротермальной активностью, в существенной мере определяли формирование крупнейших марганцерудных месторождений Паратетиса.

Статья продолжает серию публикаций по этой проблеме в журнале ГПИМО [3, 4, 5] и отражает дальнейшее развитие наших исследований [2, 59], выполненных с привлечением новых данных, заметно расширяющих прежние представления.

© И.М. Варенцов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Геологический Институт Российской Академии Наук, Москва.

### Метеороидные импактные события и распределение импактитов в осадках Мирового Океана

К важнейшим событиям, происходившим у границы эоцен/олигоцен, принадлежат метеороидные явления, сопровождавшиеся образованием импактных кратеров. Эти структуры формировались вследствие падения нескольких астероидов и/или комет в Сибири и Северной Америке [34].

Попигайский кратер (диаметр около 100 км), находящийся на границе Анабарского щита и северной части Сибирской платформы [11, 12], принадлежит к крупнейшим из известных на Земле (рис. 1). Возраст пород кратера, расплавленных в результате ударного взрыва, —  $35,7 \pm 0,2$  млн лет [22, 57]. Импактный взрыв сопровождался синтезом алмазов и других высокобарических минералов, глобальным разносом продуктов выброса и их захоронением в осадках Мирового океана: восточная часть Индийского океана, Филиппинское море, Экваториальная Пацифика, Тасманово море, до районов Южного океана [60, 63].

В Северной Америке известны весьма крупные позднеэоценовые импактные структуры (рис. 1): кратер Чезапикского залива (Chesapeake Bay) диаметром около 90 км, погребенная структура в устье того же залива, располагающаяся близ побережья Виргинии, и кратер Томс Каньон (Toms Canyon) размером  $15 \times 25$  км у побережья Нью Джерси [47, 48], а также сравнительно

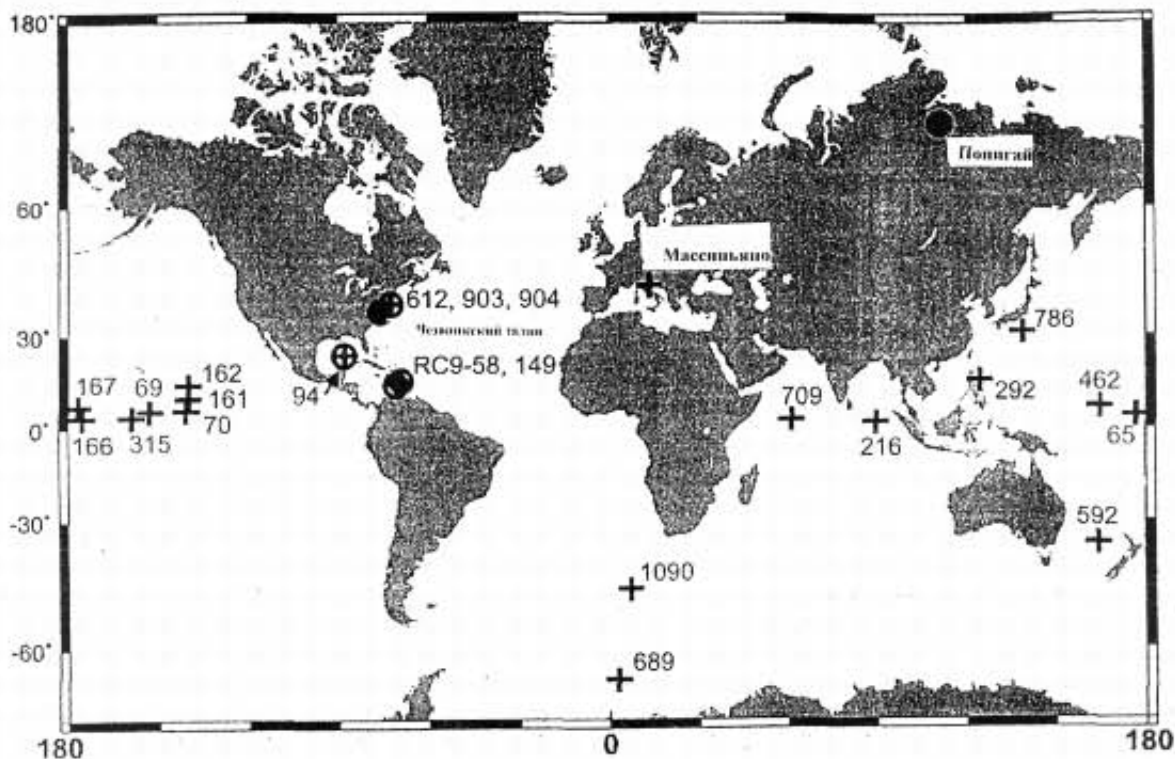


Рис. 1. Поле рассеяния клинопироксенсодержащих (кпс) сферолитов.

Знаками плюс показаны участки, где найдены кпс сферолиты. Знаками плюс в кружке показаны участки, где обнаружены кпс сферолиты и североамериканские микротектиты. Показаны также Попигайская и Чезапик Бэй импактные структуры, которые предположительно были, соответственно, источниками кпс сферолитов и североамериканских тектитов [34]

небольшие импактные структуры в Канаде диаметром от 7,5 до 28 км [40]. Возраст ударного кратера Чезапикского залива датируется 35,5–35,2 млн лет [47]. Микротектиты, образованные в результате этих взрывов, и расплавленные продукты ударных выбросов (ударно-деформированные кварц и полевой шпат, коэсит, стишовит и полиморфная модификация циркона высокого давления) распространены в позднеэоценовых отложениях штатов Техас, Джорджия, Массачусетс, Барбадоса, в Карибском море, Мексиканском заливе, Северо-западной Атлантике (верхняя часть континентального склона близ Нью Джерси), атлантическом секторе Южного Океана [35, 60] и восточной части Индийского океана (см. рис. 1).

Отмечается связь этих событий с вымиранием нескольких родов радиолярий, например, *Thyrsocyrtis bromia*, *T. Tetracantha* и др. [34], преимущественно в низкоширотных (Карибское море, район Барбадоса) и других областях океана [42]. Интересно отметить, что нередко (Северо-западная Атлантика, Карибское море, Индийский океан, Экваториальная Пацифика) сферолиты (источник: Попигайский кратер) встречаются в одном и том же слое совместно с североамериканскими микротектитами, либо несколько ниже (~25 см) микротектитового слоя. Несмотря на продолжающуюся дискуссию, большинством авторов признано, что в верхнем эоцене могут быть уверенно выделены два микротектитовых/сферолитовых слоя: Североамериканский микротектитовый и клинопироксенсодержащий сферолитовый [34].

Важно подчеркнуть, что геохронологический интервал от позднего эоцена до границы эоцен/олигоцен ( $33,7 \pm 0,5$  млн лет) примечателен массовым вымиранием радиолярий на обширном пространстве от экваториальных широт до антарктических областей Мирового Океана [60]. Это второе значительное вымирание организмов со времени исчезновения динозавров на границе мезозой/кайнозой (65 млн лет). В то время в результате импактного воздействия крупных астероидов и/или комет на полуострове Юкатан (Yucatan), Мексика образовался крупнейший в фанерозое и среди известных на Земле кратер Чиксулуб (Chicxulub) [41, 16].

#### **Следствия импактных событий и ассоциирующих геологических процессов у границы эоцен/ олигоцен: атмосферные явления, климатические изменения**

В конце позднего эоцена — начале олигоцена отмечается существенное понижение температур, заметное похолодание Мирового океана и первое появление массивного ледникового покрова в Антарктике (рис. 2), [9, 11, 52].

Эти климатические изменения в значительной мере, наряду с геодинамическими факторами, были вызваны общим загрязнением атмосферы продуктами импактных взрывов и наличием слоя пылевых облаков, состоящих из импактитных частиц.

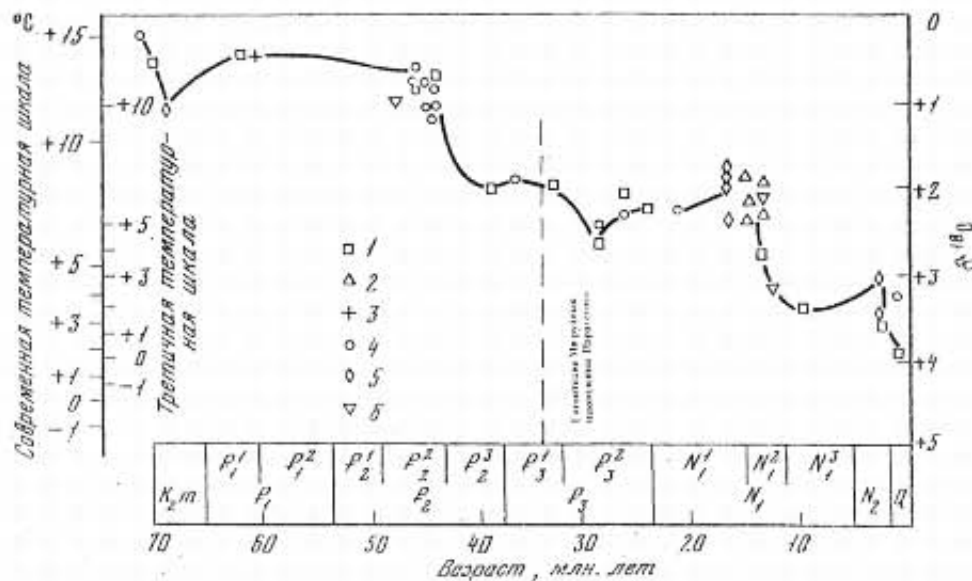


Рис. 2. Изменение палеотемператур придонных вод океана за последние 70 млн лет с дополнениями, по [52].

Результаты анализа изотопии кислорода донных фораминифер из центральной части Тихого океана (от 30° с.ш. до 30° ю.ш.). Данные бурения, скважины (станции): 1 — 167; 2 — 55; 3 — 47; 4 — 44 и 171; 5 — 15, 20, 21 и 22; 6 — данные анализа колонки и/с “Элтанин”. Штриховой линией показана граница раннего олигоцена-эоцена: времени формирования гигантских Mn-рудных месторождений Паратетиса

Подобные явления непротиворечиво описываются моделью Г.С. Голицына [6, 38, 39]. Согласно этой модели, в результате экранирования и поглощения солнечной радиации атмосфера и пылевые облака нагреваются, а поверхность Земли, до которой не доходит тепло радиации, — остывает. Эти изменения резко преобразуют общую стабильность атмосферы, так как испарение, теплообмен и циркуляция подавлены, прекращаются муссоны, переносящие влагу с океанов на континенты, атмосфера становится сухой и холодной. Возникает известное подобие “ядерной зимы”, как результат того, что энергия взрывов при образовании импактных кратеров сопоставима или превосходит ту, что сосредоточена в настоящее время во всех ядерных арсеналах. Очевидно, что следствием таких импактных событий, детерминировавших столь катастрофические изменения климата, океанических и атмосферных условий, может быть массовое вымирание организмов, для которых подобные перемены оказались критическими.

Состоятельность модели Г.С. Голицына может быть проиллюстрирована на примере палеогена, как относительно хорошо изученного отрезка геологической истории продолжительностью около 42 млн лет.

Рубежи мезозой/кайнозой и эоцен/олигоцен примечательны общей перестройкой системы литосферных плит, возрастанием скоростей спрединга осевых зон океана, с продуцированием гигантских объемов новообразованной литосферы, интенсификацией развития мантийных плюмов, сопровождавшейся колоссальными по площади излияниями базальтов, активизацией вулканической и гидротермальной деятельности.

С этими интервалами связаны крупные глобальные события в атмосфере и океане, проявившиеся в резких колебаниях температуры, существенном изменении систем циркуляции глубинных и поверхностных вод Мирового океана, широком развитии подводных эрозионных процессов, изменениях биологической продуктивности и критической глубины карбонатной компенсации.

Граница мел/палеоген. На этом рубеже отмечено образование импактного кратера Chicxulub, полуостров Юкатан, Мексика:  $64,98 \pm 0,5$  млн лет [17, 41] и максимум траппового вулканизма Декана, Индия: Ar-Ar возраст  $66,4 \pm 1,9$  млн лет [20, 25]. У данной границы в течение геохронологически мгновенного интервала произошло массовое вымирание морских и наземных организмов, падение температуры поверхностных и придонных вод океана, резкое повышение критической глубины карбонатной компенсации (CCD).

Палеоцен. Наступление сильного похолодания. В раннем палеоцене происходило глобальное вымирание и резкая смена карбонатных планктонных фораминифер и кокколитофорид, а в составе ассоциаций радиолярий наблюдалась постепенная смена мезозойских комплексов кайнозойскими, с преобладанием бореальных форм.

На рубеже палеоцен/эоцен в областях низких и высоких широт Мирового океана регистрируется заметно возросшее общее видовое разнообразие форм, знаменующих раннеэоценовый климатический оптимум.

В эоцене отмечены максимальные для кайнозоя скорости океанского спрединга [1, 7, 8, 51] (темпы наращивания базальтовой океанской коры), с реорганизацией осевых зон и соответствующей вулканической, гидротермальной активностью, сопровождавшихся поступлением в морскую воду гигантских количеств Ca, CO<sub>2</sub>, Si, Mn, Fe и других компонентов, резким изменением уровня океана, глобальными трансгрессиями. В раннем среднем эоцене отмечается развитие парникового эффекта с сопутствующим общим потеплением климата, усилением биологической продуктивности и формированием поясов накопления биогенных осадков. В конце эоцена — начале олигоцена и позднее произошло резкое похолодание, изменение системы океанских течений и седиментационных процессов. Подобные преобразования на рубеже обсуждаемых эпох нашли отражение в особенностях развития органического мира.

У границы эоцен/олигоцен важнейшими событиями в геологической истории кайнозоя было образование упоминавшихся выше импактных кратеров на севере Сибири и в Северной Америке.

К кардинальным событиям палеогена следует, прежде всего, отнести произошедшие у границы эоцен/олигоцен коллизию континентальных плит Евразии и Индии, активизированную импактными процессами. В данном интервале геологической истории отмечается крупная структурная реорганизация системы плит, существенная активизация осевых зон Мирового океана, связанная с возрастанием скоростей спрединга и генерацией колоссальных масс океанской литосферы, усилением вулканизма и гидротермальной активности. В это время произошло установление связи между

Арктическим и Атлантическим океанами, усиление раскола суперконтинента Гондвана и, как следствие, формирование рифтогенного пролива между Австралией и Антарктикой, начало раскрытия пролива Дрейка, возникновение Циркумантарктического кругового течения, термическая изоляция Антарктиды с развитием континентального ледового щита, изменение систем циркуляции глубинных и поверхностных водных толщ океана, интенсификация подводных эрозионных процессов, сопровождавшиеся общим глобальным похолоданием. Указанные выше периоды глобального похолодания в палеоцене и олигоцене, последовавшие после импактных событий у границ мел/палеоцен и эоцен/олигоцен, с определенностью отвечают интервалам планетарного ухудшения климата по модели Г.С. Голицына [6, 38, 39].

### **Следствия метеороидных бомбардировок и импактных событий: активизация мантийных плюмов и ассоциирующего вулканизма**

Проблема причинно-следственных связей между импактами и крупными астероидами и вызванная этими событиями активизация мантийных плюмов и ассоциирующего вулканизма в истории Земли с неослабевающим интересом обсуждается в течение последних десятилетий [22, 26, 27, 36, 37, 44, 50]. Наиболее очевидным примером является близость к границе мелового и третичного периодов (К/Т) времени формирования импактного кратера Chicxulub, полуостров Юкатан, Мексика —  $64,98 \pm 0,5$  млн лет [17, 32, 41] и максимума траппового вулканизма Декана, Индия: Ar-Ar возраст  $66,4 \pm 1,9$  млн лет [29, 25].

Эбботт и Айзли [13, 14], на основании анализа обширной базы данных, охватывающих историю Земли за 4 млрд лет, показали, что при изучении соотношений импактных событий и активизации мантийных плюмов с осредненным интервалом в 45 млн лет наблюдается корреляция на доверительном уровне выше 99%. При более узких геохронологических интервалах (30 млн лет), обнаруживается корреляция с доверительным уровнем 97% (рис. 3, 4). При этом установлено, что 10 наиболее значительных импактных событий отчетливо соответствуют 9-ти крупнейшим мантийным плюмам. Следует пояснить, что авторы [14] относят к суперплюмам участки базальтовых излияний типа океанских плато мелового времени площадью  $\geq 10\,000$  км<sup>2</sup>, а также ассоциирующие с ними дайковые комплексы высокомагнезиальных пород и слоистые интрузии (коматииты, пикриты, некоторые анкарамиты). В целом, с определенностью регистрируется корреляция мантийных плюмов и ограниченных во времени импактных серий на доверительном уровне 90%.

Как упоминалось выше, наиболее ярко эта связь проявляется на примере значительного возрастания активности мантийного плюма, с которым ассоциируют траппы Декана (Deccan) и геодинамические, климатические, биологические следствия, продукты импактного кратера Чиксулуб (Chicxulub), полуостров Юкатан, Мексика, у границы мезозоя и кайнозоя. Именно

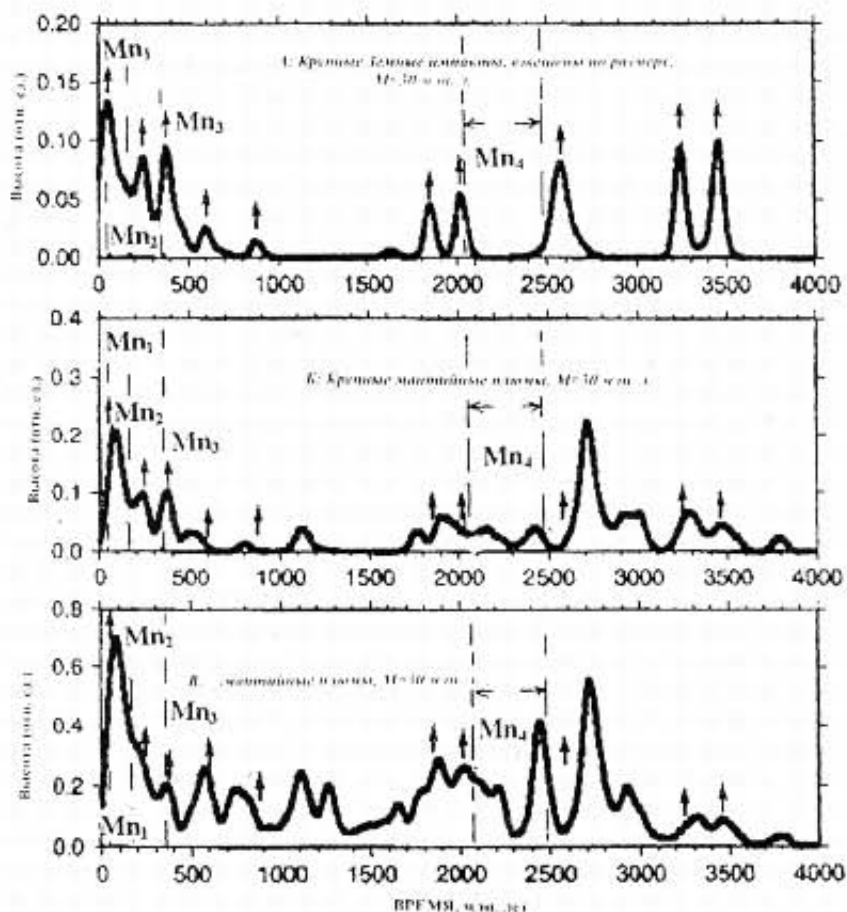


Рис. 3. Распределение мантийных плюмов и импактных событий в истории Земли [13,14]. Все данные сглажены путем их приведения к минимальной возрастной ошибке до 30 млн лет: А — Земная история импактных событий, базирующаяся на датировках известных и возможных импактных кратеров; учитывались кратеры диаметром более 11 км. Высота пиков временных кривых ранжирована по размеру учтенных импактных кратеров для каждого импактного события. Обращает на себя внимание, что стрелки, отвечающие пикам, согласно располагаются в линию на всех трех графиках. Эти стрелки на всех временных кривых подтверждают результаты кросс корреляции с высоким доверительным уровнем между изученными временными сериями. Б — Крупные мантийные плюмы по датировкам высоко Mg интрузивов и интрузивов в течение всего времени. Примечательно, что стрелки девяти из десяти заметных пиков импактной кривой также проявляются на каждой, либо на обеих кривых временных серий плюмов и крупных плюмов. В — Все мантийные плюмы распределены по датировкам четырех групп мантийных плюмовых дериватов: массивные дайковые сгущения; высоко Mg экструзивы; излияния базальтов; ультрамафические и мафические слоистые интрузии [13, 14, 29, 30]. Стрелки находятся в тех же временных точках, что и пики крупных импактных событий. На кривых распределения мантийных плюмов и импактных событий Земли во времени штриховыми линиями показаны крупные Mn-рудные месторождения [58]. Mn<sub>1</sub> — месторождения: Никопольское, Больше-Токмакское, Украина; Чиатурское и другие, Грузия, ранний олигоцен; 385×10<sup>6</sup> т Mn (6,00% мировых запасов суши [МЗС]); Mn<sub>2</sub> — месторождение Молонго, Мексика, кимериджский век (Формация Таман), поздняя юра, 523×10<sup>6</sup> т Mn (8,03% МЗС); Mn<sub>3</sub> — Каражальское и другие месторождения, Центральный Казахстан, фамен, 120,0×10<sup>6</sup> т Mn (1,84% МЗС); Mn<sub>4</sub> — месторождения Калахари, Западный Грикваленд, Южная Африка, ранний протерозой (Трансваальская Супергруппа), 5026,3×10<sup>6</sup> т Mn (77,06% МЗС). Приведенные месторождения составляют 92,93% МЗС

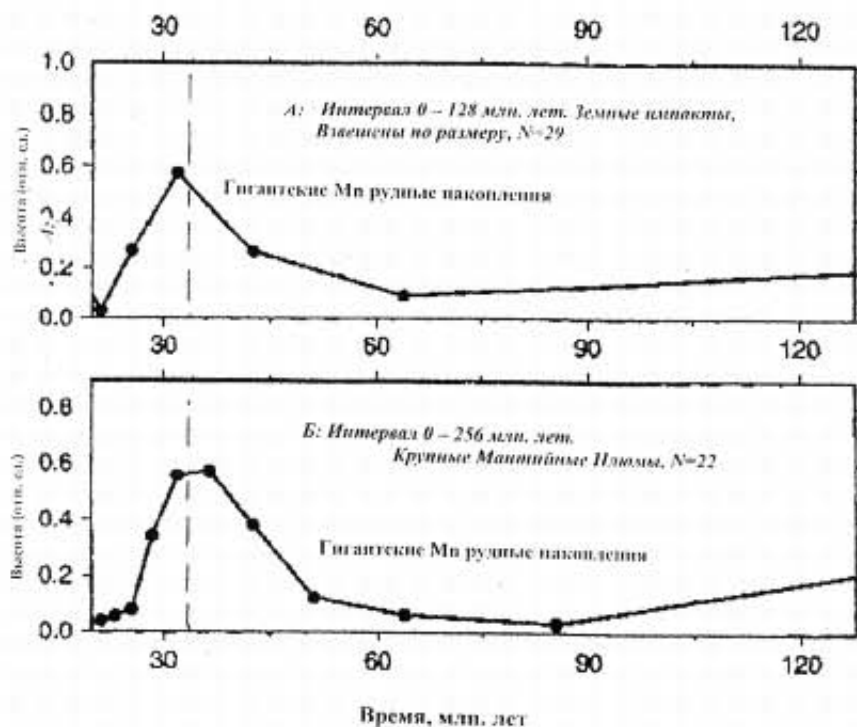


Рис. 4. Соотношения возраста и относительной высоты пиков интенсивности мантийных плюмов и земных импактных событий по результатам статистического спектрального анализа с дополнениями по [13,14].

Для анализа статистических спектров использована программа Математической Лаборатории, Ламонт-Догерти Обсерватории Наук о Земле Колумбийского Университета, Нью Йорк, США. Данные приведены к конкретным величинам и профильтрованы по методу окна Ханнинга. Все группы данных имеют максимальную возрастную ошибку 10 млн лет. (А) Все датированные земные импактные события, ранжированные по размеру кратера в интервале 0–128 млн лет, (общее число событий 29). (Б) Все уверенно датированные крупные мантийные плюмовые события в интервале 0–256 млн лет, (общее число событий 22), на диаграмме приведен интервал 0–128 млн лет. Штриховой линией показана граница раннего олигоцена/эоцена: времени формирования гигантских Mn-рудных месторождений Паратетиса

с этими событиями связано массовое вымирание меловой биоты, в частности, динозавров. Вследствие крупных метеоритных, кометных импактных воздействий могут значительно возрастать масштабы вулканизма, детерминированного активизированными мантийными плюмами [13].

В течение последних 120 млн лет истории Земли крупные импактные события (диаметр кратера более 10 км) встречаются с периодичностью  $4,3 \pm 2,6$  млн лет [13, 55]. Такая частота кратерообразования согласуется с периодами пересечения Землей сгущений, потоков астероидов и комет, а также с частотой образования импактных структур на Луне. Абботт и Айзли [13] провели статистическую обработку данных для крупных импактных событий и мантийных плюмов в интервале от 0 до 128 млн лет (см. рис. 3 и 4). В итоге таких расчетов, для спектра импактных событий продолжительностью 128 млн лет выявлен единственный доминирующий пик у отметки 32 млн лет (рис. 4). На этом отрезке геологической истории установлена схожесть спектров мантийных плюмов и импактных событий. Причем для обеих



групп мантийных плюмов и ассоциирующего вулканизма рассматриваются три возможных варианта [13]:

I. Формирование импактных кратеров может приводить к раскалыванию и/или образованию крупных, региональных разломов земной коры. Эти процессы сопровождаются снижением или снятием стрессового напряжения в коре. В результате происходит высвобождение и вынос на поверхность расплавов, заключенных, благодаря тектоническому стрессу, в зонах с непроницаемыми границами, либо в магматических камерах-ловушках.

II. Вследствие импактных событий на поверхности Земли могут формироваться крупные расколы, разломы, выполняющие роль новообразованных плитных границ, с последующим образованием относительно тонкой литосферы и довольно мощной магматической зоны.

III. Импактные явления могут приводить к образованию микродаек у внутренней, нижней части мантийной границы. Если эта граница очень тонкая, то в этом случае расплавленное вещество внутренней, центральной части мантии и общий мантийный материал смешиваются, что приводит к образованию вещества близкого к палластитовым (т.е. железосолевым) метеоритам, сложенным кристаллами оливина, заключенными в губке никелевого железа. Следствием крупного метеоритного импактного воздействия может быть выделение огромного количества тепла, достаточного для плавления части мантии и активизации существующих мантийных плюмов. В результате происходит быстрая интенсификация, активизация развития мантийных плюмов.

Время формирования мантийного плюма под действием импакта зависит от того, какой из трех механизмов реализуется [13, 14, 15]. Этот период может быть сравнительно коротким (миллионы лет или менее), если импактное воздействие приводит к образованию разломов, расколов и снятию стрессов земной коры. В случае образования микродаек у границы ядро-мантия, по различным моделям, для подъема мантийного вещества от этой границы к поверхности Земли и формирования плюма потребуется от нескольких до 50 млн лет [15].

Используя данные о размещении Mn-рудных месторождений в геологической истории (рис. 1) [58], на диаграммах распределения мантийных плюмов и импактных событий в истории Земли штриховыми линиями показаны крупные Mn-рудные месторождения (см. рис. 3, 4). Обращает на себя внимание отчетливое совпадение во времени главных пиков значительных импактных событий, крупных мантийных плюмов и, в целом, мантийных плюмов и образования крупных Mn месторождений.

Кратко рассмотрим наиболее характерные примеры.

(Mn<sub>1</sub>) — *месторождения черносланцевых бассейнов Паратетиса: Никопольское, Больше-Токмакское, Украина; Чиатурское и другие, Грузия, ранний олигоцен, 33, 7 млн лет; 385×10<sup>6</sup> т Mn (6,00% мировых запасов суши [МЗС]). Папигайский импактный кратер, Сибирь, возраст: 35±02 млн лет [22, 57] Кратеры Чезапикского залива и другие импактные структуры Северной Америки, возраст: 35,5–35,2 млн лет [47, 48]. К этому интервалу*

относится позднеэоценовый (пиренейский) эпизод ( $\pm 37$  млн лет) среднеальпийской тектонической фазы [54] и общая перестройка плитной системы, сопровождаемая максимальным для кайнозоя возрастанием скоростей спрединга осевых зон Мирового Океана, формированием соответствующих объемов новообразованной океанской литосферы и колоссальной гидротермальной активностью [1, 7, 8, 51].

(Mn<sub>2</sub>) — *месторождение Молонго, Мексика, кимериджский век (Формация Таман), поздняя юра, 142–150 млн лет [45];  $523 \times 10^6$  т Mn (8,03% МЗС). К данному отрезку геологической истории принадлежит группа импактных кратеров: Morokweng [145 $\pm$ 0,8 млн лет], Mijolnir [142 $\pm$ 2,6 млн лет], Gosses Bluff [142 $\pm$ 0,8 млн лет] [32]. Отмечается вулканизм, ассоциирующий с континентальным расколом Южной Атлантики и Индийского океана, а также крупные площадные излияния базальтов в Западной Пацифике — районы Поднятий Шатского и Магеллана, соответственно, 140 $\pm$ 10 млн лет, площадь  $1,24 \times 10^6$  км<sup>2</sup>, и 145 $\pm$ 5 млн лет, площадь  $5,4 \times 10^6$  км<sup>2</sup>, [53].*

Приведенные ниже возрастные данные имеют относительно приближенный характер:

(Mn<sub>3</sub>) — *Каражальское и другие месторождения, Центральный Казахстан, у границы фран/фамен (Frasnian/Famennian), поздний девон, 360–367 млн лет;  $120,0 \times 10^6$  т Mn (1,84% МЗС). С этим интервалом ассоциирует обширное развитие связанных с болидами импактов, сопровождаемых Ir аномалией (Бассейн Каннинг, Западная Австралия [Canning Basin, Western Australia] [46]), слоями микропектитов [61] и провинция покровных базальтов, Восточно-Европейский кратон, возраст 368,75 млн лет, площадь  $3,00 \times 10^6$  км<sup>2</sup> [29, 30].*

(Mn<sub>4</sub>) — *месторождения Калахари, Западный Грикваленд, Южная Африка, ранний протерозой (Трансваальская Супергруппа), 2239–2357 млн лет;  $5026,3 \times 10^6$  т Mn (77,06% МЗС). К этому интервалу принадлежит ряд крупнейших в истории Земли импактных структур: Dales-Kuruman, 2479 $\pm$ 3 млн лет, [56]; Suajarvi, ~2400 млн лет; Vredefort, 2023 $\pm$ 4 млн лет; Sudbury, 1850 $\pm$ 3 млн лет (Geological Survey...) и весьма значительных импактных выбросов из кратеров: формация Виттенум, доломит Кэравин (Wittenoom Formation, Carawin Dolomite) и формация Монтевилл (Monteville Formation), ~2560 млн лет, пачка ущелья Далес Железорудной формации Брокмен (Dales Gorge Member of the Brockman Iron Formation), ~2490 млн лет, Австралия [56]; а также доломитовые слои орогена Китилидиан, Южная Гренландия, 2130–1848 млн лет; мощность этих сфероидитовых накоплений в 10 раз больше, чем дистальных выбросов импактных продуктов на границе меловых-третичных отложений, и их источником могли быть события Vredefort, либо Sudbury [24]. Среди значительных провинций излившихся базальтов данного хронологического интервала могут быть указаны: Бирримские толеиты пояса Техини, Гана, Западная Африка (Birrimian tholeiites, Tehini belt), 2183 $\pm$ 6,7 млн лет, Карельская и Суми-Сариольская группы, 2441 $\pm$ 1,7 млн лет, площадь  $1 \times 10^6$  км<sup>2</sup>, Имандра-Варзугская группа, 2442,8 $\pm$ 4,8 млн лет, площадь  $1,00 \times 10^6$  км<sup>2</sup> [18, 49];*

излившиеся базальты Рампур (Rampur Flood Basalts),  $2486 \pm 69$  млн лет, площадь  $1,70 \times 10^6$  км<sup>2</sup> [21].

Обращает на себя внимание соответствие единственного пика для импактных событий в диапазоне 0–128 млн лет и пика крупных мантийных плюмов у отметки 32–36 млн лет, что отвечает времени формирования крупнейших Mn месторождений Паратетиса у границы эоцен/олигоцен (рис. 4). В целом, все приведенные месторождения охватывают 92,93% МЗС. Мантийный плюмовый вулканизм активизированный, усиленный под воздействием импактных событий и сопровождавшей колоссальной гидротермальной деятельностью, поставлял в Мировой Океан грандиозные количества металлов и питательных веществ, в частности марганца. В ходе последующего перераспределения (рециклинга) особенностей геодинамического развития конкретных черносланцевых эвксинных бассейнов, в них могло происходить накопление крупных концентраций Mn (марганцевых руд), в частности, в ассоциации с большими количествами органического углерода. Соединения углерода черносланцевых бассейнов изначально имели близкое к Mn происхождение: эманации мантийного метана → окисление → биохимическое связывание организмами → конверсия в органическое вещество → многократный рециклинг → окончательное захоронение. Пример с черносланцевыми Mn-носными бассейнами Паратетиса и другими рудоносными бассейнами в геологической истории (позднеюрский бассейн Молонго, Мексика, раннепротерозойский бассейн Калахари, Южная Африка и др.) могут свидетельствовать о непротиворечивости этой модели.

**Следствия импактных событий:  
активизация мантийных плюмов  
и ассоциирующих гидротермальных систем**

Собственно мантийные породы (преимущественно перидотиты, высокомагнезиальные разности и ультрамафитовые протолиты) пользуются существенно меньшим распространением на дне Мирового океана и изучены слабее, чем связанные с ними базальты и гидротермальные системы. Наиболее детально исследованы гидротермальные системы, развитые в перидотитовых породах (включая гарцбургиты, пироксениты, лерцолиты, верлиты, габбро-нориты и др.) Срединно-Атлантического хребта на участках 15° N (гидротермальное поле Логачева), 36° N (гидротермальное поле Rainbow), гидротермальное поле Saldanha в южной части сегмента FAMOUS [19, 31, 33]. Для этих участков характерно, что в пределах гидротермальных полей типа черных курильщиков, с максимальной температурой на выходе 326–500 °C сульфидные конусовидные постройки подстилаются тектонически раздробленным серпентинизированным перидотитом. Растворы гидротермальных плюмов близ выходов этих пород отличаются высокими величинами отношения  $\text{CH}_4/\text{Mn}$ , что может свидетельствовать об активной серпентинизации [23].

В работе [62] описана модель для сравнения химизма гидротермальных систем, заключенных в мафических и ультрамафических породах. Показано, что в гидротермальных флюидах, дренирующих ультрамафиты, кон-

центрации  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}$  соответственно на 95% и 50% меньше, чем растворах, циркулирующих в мафитовых породах. Подчеркивается, что в зависимости от интенсивности гидротермальной серпентинизации ультрамафитов происходит генерирование весьма значительных количеств  $\text{H}_2$  (3–165 мМ [миллимолей]), тогда как при подобном изменении мафитовых пород концентрации  $\text{H}_2 < 2$  мМ. Наблюдаются накопления металлоносных осадков с относительно высокими концентрациями  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ , в меньшей мере  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Sn}$  и  $\text{Au}$ , непосредственно отлагавшихся из растворов, которые формируются в результате процессов взаимодействия флюид/ультрамафитовая порода [28], а также  $\text{V}$ ,  $\text{P}$ , и  $\text{As}$ , поглощенных гидротермальной взвесью/осадком из окружающей морской воды.

Характерной особенностью процесса серпентинизации перидотита является экзотермическая природа этих реакций. В некоторых случаях при тектоническом внедрении холодных перидотитовых тел тепло, выделяющееся вследствие серпентинизации, может самостоятельно либо в сочетании с эндогенным прогревом способствовать относительно низкотемпературным гидротермальным процессам [19].

В районе 30° N Срединно-Атлантического хребта близ пересечения с Трансформным Разломом Атлантик были обнаружены [43] гидротермальные очаговые постройки высотой до 60 м, сложенные преимущественно карбонатом и бруситом, названные за внешнюю схожесть Брошенным Городом (Lost City). Эти сооружения образовались вследствие взаимодействия перидотитов с умеренно нагретой (40–70 °C) и слабо измененной морской водой. Гидротермальные растворы характеризуются щелочными значениями pH (9,0–9,8), тогда как для окружающей морской воды pH = 8,0–8,15, а для гидротермальных флюидов, дренирующих базальты, редко выше 3,0–5,0. Например, в пределах гидротермального поля Логачева pH гидротермальных растворов 2,8 [28] и 2,9–3,3 для участка Rainbow. В пределах участков диффузного высачивания и плюмов гидротермальных полей Логачева, Rainbow, Lost City широко распространены различного рода органические нитевидные, волокнистые, трубчатые агрегаты, скопления биомассы и бактериальные маты, колонии пелеципод, гастропод, кламов [43].

Приведенные данные могут иллюстрировать особенности термического и химического обмена верхней мантии и океана. Выделяющиеся мантийные продукты включаются в метаболические цепи биогеохимических преобразований, имеющих характер многократного рециклинга при миграции в системе бассейнов Мирового океана, и их дальнейшая судьба контролируется, главным образом, гидродинамическими факторами.

### Заключение

К важнейшим событиям, происходившим у границы эоцен/олигоцен, принадлежат метеороидные явления, сопровождавшиеся образованием импактных кратеров. Эти структуры формировались вследствие падения астероидов и/или комет в Сибири и Северной Америке. Импактные процессы активизировали произошедшую у границы эоцен/олигоцен коллизию

континентальных плит Евразии и Индии и перестройку глобальной системы литосферных плит. Выявленная в течение геологической истории корреляция (на доверительном уровне не менее 90%) между импактными событиями и активизацией мантийных плюмов, сопровождавшихся вулканизмом и гидротермальной активностью, позволяет считать, что эти процессы находят отражение в поведении марганца, в частности влияют на формирование крупнейших месторождений руд этого металла в черносланцевых бассейнах Паратетиса.

1. *Андреев, С.И.*, Геодинамика и рудогенез Мирового океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев. Национальная Академия Наук Украины.— 2005. № 2.— С. 12–29.

2. *Варенцов И.М.* К познанию условий образования Никопольского и других месторождений Южно-Украинского марганцерудного бассейна // Литология и полезные ископаемые.— 1964. № 1.— С. 25–39.

3. *Варенцов И.М.* Крупнейшие марганцевые месторождения Паратетиса: следствия геодинамических и импактных событий на рубеже эоцен/олигоцен // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев. Национальная Академия Наук Украины.— 2006. № 3.— С. 89–91.

4. *Варенцов И.М.* Крупнейшие марганцевые месторождения Паратетиса: следствия геодинамических и импактных событий на рубеже эоцен/олигоцен. Положение границы эоцен/олигоцен и марганцевых руд в Паратетисе. Эруптивная активность в раннем рюпеле // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев. Национальная Академия Наук Украины.— 2007. № 2.— С. 98–10.

5. *Варенцов И.М.* Крупнейшие марганцевые месторождения Паратетиса: следствия геодинамических и импактных событий на рубеже эоцен/олигоцен. Часть 2. Тектоническая позиция раннеолигоценовых Mn месторождений Паратетиса. Ранние стадии развития Mn-рудных черносланцевых бассейнов Паратетиса. Олигоценовый Черноморский бассейн. Литология олигоценовых отложений // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев. Национальная Академия Наук Украины.— 2007. № 00.— С. 00–00.

6. *Голицын, Г.С.* Состав атмосферы и климат. // Глобальные экологические перемены на пороге XXI века. Материалы конференции.— М., 1998.— С. 185–196.

7. *Зоненшайн, Л.П., Хаин, В.В.* Изменение тектонической активности Земли за последние 150 млн лет. Докл. АН СССР.— 1989. Т. 305. № 2.— С. 402–405.

8. *Кия, Б.И.* История формирования Евразийского бассейна (сейсмокомплексы, структуры, мощность чехла, этапы и стадии эволюции) // Российский Геофизический Журнал. Санкт-Петербург.— 2003. № 31–32.— С. 53–70.

9. *Лисицын, А.П.* Древнейшая история и эволюция океанов // Океанология. Геология океана. Геологическая история океана.— М. Наука. 1980.— С. 375–380.

10. *Лисицын, А.П.* Палеоокеанология // Океанология. Геология океана. Геологическая история океана.— М. Наука. 1980.— С. 386–405.

11. *Масайтис, В.Л., Михайлов, М.В., Селивановская, Т.В.* Попигайский метеоритный кратер // Советская Геология.— 1971. № 6.— С. 143–147.

12. *Масайтис, В.Л., Райхлин, А.И.* Попигайский кратер образован ударом обыкновенного хондрита // Доклады АН СССР.— 1986. Т. 286. № 6.— С. 1476–1478.

13. *Abbott, D.H., Isley, A.E.* Extraterrestrial influences on mantle plume activity // Earth and Planetary Science Letters. 2002a. Vol. 205. No. 1-2.— P. 53–62.

14. *Abbott, D.H., Isley, A.E.* The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time // Journal of Geodynamics. 2002b. Vol. 34. No. 2.— P. 265–307.

15. *Abbott, D.H., Isley, A.E.* Reply to comment on "Extraterrestrial influences on mantle plume activity" by Andrew Glikson // *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. Vol. 215. No. 3-4.— P. 429-432.
16. *Alvarez, W.* Compiling the evidence for impact at seven mass extinctions. // In: *Impacts and the origin, evolution, and extinction of life. Papers presented to A Rubey Colloquium. February 9 and 10, 2002. Department of Earth and Space Sciences, University of California, Los Angeles. 2002.— P. 3-7.*
17. *Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F., et al.* Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // *Science*. 1980. Vol. 208. pp. 1095-1108.
18. *Amelin, Y.V., Heaman, L.M., Semenov, V.S.* U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implication for timing and duration of Palaeoproterozoic continental rifting // *Precambrian Research*. 1995. Vol. 75. Nos. 1-2. pp. 31-46.
19. *Barriga, F.J.A.S., Costa, I.M.A., Relvas, J.M.R.S., et al.* Discovery of the Saldanha hydrothermal field of the FAMOUS Segment of the Mid-Atlantic Ridge (36°30'N) (abstract). // *EOS*. 1998. Vol. 79. P. 67.
20. *Basu, A.R., Chatterjee, S., Rudra, D.* Shock metamorphism in quartz grains at the base of the Daccan Traps: Evidence for impact-triggered flood basalt volcanism at the Cretaceous-Tertiary boundary // *EOS Trans. AGU*. 1985. Vol. 69.— P. 1487.
21. *Bhat, M.I., Claesson, S., Dubey, A.K., et al.* Sm-Nd age of the Garhwal-Bhowali Volcanics, western Himalayas; vestiges of the late Archaean Rampur flood basalt province of the northern Indian craton // *Precambrian Research*. 1998. Vol. 87. Nos. 3-4. pp. 217-231.
22. *Bottomley, R., Grieve, R.A.F., York, D., et al.* The age of the Popigai impact event and its relationship to events at the Eocene/Oligocene boundary. // *Nature*. 1997. Vol. 388.— P. 365-368.
23. *Bougault, H., Charlou, J.L., Fouquet, Y., et al.* Fast and slow spreading ridges: structure and hydrothermal activity, ultramafic topographic highs, and CH<sub>4</sub> output. *Journ. Geophysical Research*.— 1993. Vol. 98. No. 6.— P. 9643-9651.
24. *Chadwick, B., Claeys, P., Simonson, B.M.* New evidence for a large Palaeo-proterozoic impact: spherules in a dolomite layer in the Ketilidian orogen, South Greenland // *Journal of Geological Society, London*. 2001. Vol. 158. pp. 331-340.
25. *Chatterjee, S., Rudra, D.K.* KT events in India: Impact, rifting, volcanism and dinosaur extinctions // *Mem. Qld. Mus*. 1996. Vol. 39. pp. 489-532.
26. *Courtillot, V., Jaeger, J.J., Yang, Z., et al.* The influence of continental flood basalts on mass extinctions: where do we stand? In: *Ryder, G., Fastovsky, D., Gartner, S., (Eds.), The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History. Special Paper 307. Geological Society of America, Boulder, CO., 1996, pp. 513-525.*
27. *Courtillot, V., Jaupart, C., Manughetti, I., et al.* On causal links between flood basalts and continental break up // *Earth and Planetary Science Letters*. 1999. Vol. 166. pp. 177-196.
28. *Douville, E., Charlou, J.L., Oelkers, T.H. et al.* The Rainbow vent fluids (36° 14' N, MAR): the influence of ultramafic rocks and phase separation on trace metal content in Mid-Atlantic Ridge hydrothermal fluids // *Chemical Geology*. 2002. Vol. 184 (1-2).— P. 37-48.
29. *Ernst, R.E., Buchan, K.L.* Large mafic magmatic events through time and links to mantle plume heads. In: *Ernst, R.E., Buchan, K.L. (Eds.), Mantle Plumes: Their Identification Through Time, Special Paper 352. 2001. Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 483-566.*
30. *Ernst, R.E., Buchan, K.L.* Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces // *Journal of Geodynamics*. 2002. Vol. 34. No. 2.— P. 309-342.
31. *Fryer, P.* Recent studies of serpentinite occurrences in the oceans: mantle-ocean interactions in the plate tectonic cycle // *Chemie der Erde*. 2002. Vol. 62. No. 4.— P. 257-302.

32. Geological Survey of Canada and University of New Brunswick impact crater database: <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/CINameSort.html>.
33. *German, C.R., Klinkhammer, G.P., Rudnicki, M.D.* The Rainbow hydrothermal plume, 36° 45' N, MAR. // *Geophys. Res. Lett.* 1996. Vol. 23 (21), No.2. — P. 2,979-2,982.
34. *Glass, B.P.* Upper Eocene impact ejecta/spherule layers in marine sediments // *Chemie der Erde*. 2002. Vol. 62. No. 3. — P.173-196.
35. *Glass, B.P., Koeberl, C.* Ocean Drilling Project Hole 689B spherules and upper Eocene microtektite and clinopyroxene-bearing spherule strewn fields // *Meteoritic Planet. Sci.* 1999. Vol. 34. — P. 197–208.
36. *Glikson, A.Y.* Mega-impacts and mantle-melting episodes: test for possible correlations // In: *Glikson, A.Y. (Ed.), Australian Impact Structures, (Thematic Issue), AGSO, Journal Austral. Geol. Geophys., 1996. Vol. 16. pp. 587–607.*
37. *Glikson, A.Y.* The astronomical connection of terrestrial evolution: crustal effects of post-3.8 Ga mega-impact clusters and development for major 3.2±0.1 Ga bombardment of the Earth-Moon system // *Journal of Geodynamics*. 2001. Vol. 32. — P. 205–229.
38. *Golitsyn, G.S.* Possible climatic consequences of a large-scale nuclear conflict // In: *Lawrence Livermore Laboratory Nuclear Winter Study Papers, Environmental Science and Public Policy Archives. Section II. Box 21 (202). 1987 Dec., Harvard College Library.*
39. *Golitsyn, G.S., MacCracken, M.C.* Atmospheric and climatic consequences of a major nuclear war: results of recent research // In: *Lawrence Livermore Laboratory Nuclear Winter Study Papers, Environmental Science and Public Policy Archives. Section II. Box 22 (217-218). 1985 Jan. — 1987 Jan., Harvard College Library.*
40. *Grieve, R.A.F.* Extraterrestrial impact events: The record in the rocks and the stratigraphic column // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 1997. Vol. 132. — P. 5–23.*
41. *Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., et al.,* Chicxulub crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yukatan Peninsula, Mexico // *Geology*. 1991. Vol. 19. — P. 867–871.
42. *Hut, P., Alvarez, W., Elder, W.P., et al.,* Comet showers as a cause of mass extinctions. // *Nature*. 1987. Vol. 329. — P. 118–126.
43. *Kelly, D.S. Karson, J.A., Blackman, D.K., et al.,* An off-axis hydrothermal vent field near the Mid-Atlantic Ridge at 30° N // *Nature*. 2001. Vol. 412. No. 6843. — P. 145–149.
44. *Kent, D.V., Cramer, B.S., Lanci, L., et al.,* A case for a comet impact trigger for the Paleocene/Eocene thermal maximum and carbon isotope excursion // *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. Vol. 211. No. 1-2. pp. 13–26.
45. *Larson, R.L., Hilde, T.W.C.* A reversal time scale of magnetic reversals for the Early Cretaceous and Late Jurassic // *Journal of Geophysical Research*. 1975. Vol. 80. pp. 2586–2594.
46. *Nicoll, R.S., Playford, P.E.* Upper Devonian iridium anomalies, conodont zonation and the Frasnian-Famennian boundary in the Canning Basin, Western Australia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1993. Vol. 104. pp.105–113.
47. *Poag, C.W.* The Chesapeake Bay bolide impact: A convulsive event in Atlantic Coastal Plain evolution // *Sedimentary Geology*. 1997. Vol. 108. — P. 45–90.
48. *Poag, C.W., Poppe, L.S.* The Toms Canyon structure, New Jersey outer continental shelf: a possible late Eocene impact crater // *Marine Geology*. 1988. Vol. 145. — P. 23–60.
49. *Puchtel, I.S., Hofmann, A.W., Mezger, K., et al.,* Petrology of a 2.41 Ga remarkably fresh komatitic basalt lava lake in Lion Hills, central Vetryny Belt, Baltic Shield // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1996. Vol. 124. Nos. 3-4. pp. 273–290.
50. *Rampino, M.P., and Haggerty, B.M.* The “Shiva hypothesis”: impacts, mass extinctions, and the galaxy // *Earth, Moon, Planets*. 1996. Vol. 72. — P. 441–460.
51. *Rich, J., Johnson, G.L., Jones, J., et al.,* A significant correlation between fluctuations in seafloor spreading rates and evolutionary pulsation // *Paleoceanography*. 1986. Vol. 1. No. 1. — P. 85–95.

52. Savin, S.M., Douglas, R.G., and Stehli, F.G. Tertiary marine paleotemperatures // Geol. Soc. Amer. Bull. 1975. V. 86.— P. 1499–1510.
53. Schubert, G., Sandwell, D. Crustal volumes of the continents and of oceanic and continental submarine plateaus // Earth and Planetary Science Letters. 1989. Vol. 92.— P. 234–246.
54. Schwan, W. The world wide active Middle/Late Eocene geodynamic episode with peaks at  $\pm 45$  and  $\pm 37$  m.y., and implications and problems of orogeny and sea-floor spreading // Tectonophysics. 1985. V. 115. No. 3-4.— P. 197–234.
55. Shoemaker, E.M. Asteroid and comet bombardment of the Earth // Review of Earth and Planetary Science. 1983. Vol. 11.— P. 491–494.
56. Simonson, B.M., Hassler, S.W. Revised correlation in the early Precambrian Hamersley Basin based on a horizon of resedimented impact spherules // Australian Journal of Earth Sciences. 1997. Vol. 44. pp. 37–48.
57. Stüffler, D., Claeys, P. Earth rocked by combination punch. // Nature. 1997. Vol. 388.— P. 331–332.
58. Varentsov I.M. Manganese ores of supergene zone: geochemistry of formation. Dordrecht et al.: Kluwer Acad. Publishers. 1996.— 356 p.
59. Varentsov, I.M., Muzyliov, N.G., Nikolaev, V.G., et al.. The origin of black shale-hosted Mn deposits in Paratethyan basins: Constraints from geological events at the Eocene/Oligocene boundary // Russian Journal of Earth Sciences. 2003, (August). Vol. 5. No. 4.— P. 255–272.
60. Vonhof, H.B., Smit, J. Late Eocene microkrystites and microtektites at Maud Rise (Ocean Drilling Project Hole 689B: Southern Ocean) suggest a global extension of the 35.5 Ma Pacific impact ejecta strewn field // Meteoritic Planet. Sci. 1999. Vol. 34.— P. 747–755.
61. Wang, K. Glassy microspherules (microtektites) from an Upper Devonian limestone // Science. 1992. Vol. 256. pp. 1547–1550.
62. Wetzel, L.R., Shock, E.L. Distinguishing ultramafic- from basalt-hosted submarine hydrothermal systems by comparing calculated vent fluid compositions. // Journ. Geophys. Research. 2000. Vol. 105. No. 8.— P. 8.319–8.340.
63. Whitehead, J., Papanastassiou, D.A. Spray, J.G. et al., Late Eocene impact ejecta: geochemical and isotopic connections with the Popigai impact structure // Earth and Planetary Science Letters. 2000. Vol. 181.— P. 473–487.

Імпактні процеси активізували колізію Євразійської та Індійської континентальних плит на межі еоцен/олігоцен, перебудову глобальної системи літосферних плит, посилення межплитного вулканізму й гідротермальної активності, збільшення швидкостей спредінгу осьових зон Світового океану. Ці процеси знаходять свій відбиток у поведінці марганцю, зокрема контролюють формування найбільших родовищ його руд у чорносланцевих басейнах Паратетису.

The impact processes activated at the Eocene/Oligocene boundary collision of the Eurasian and Indian continental plates and caused the global reorganization of lithosphere plate system, increasing interplate volcanism and hydrothermal activity, rise of spreading rates of the World Ocean axial zones. These processes are reflected in manganese behavior and particularly control formation of the great Mn ore deposits in black basins of the Paratethys.