

w styczniu tego roku wskazują na to, że powstawanie dobowych fluktuacji molekularnych procesów komórkowych jest także możliwe bez oscylacji w natężeniu procesu transkrypcji. Zegar, w którym transkrypcja nie jest kluczowym elementem mechanizmu generującego oscylacje znaleziono w czerwonych krwinkach człowieka. W ludzkich erytrocytach (które jak wiadomo pozbawione są jądra komórkowego) obserwuje się okołodobową rytmikę procesów komórkowych pomimo tego, że w komórkach tych w ogóle nie zachodzi proces transkrypcji. Wykazano, że w 24-godzinny rytmie ulegają utlenianiu

i redukcji enzymy zwane peroksyredoksynami (PRX, ang. *peroxiredoxins*), które regulują poziom reaktywnych form tlenu (ang. *reactive oxygen species*, ROS). Rytm ten jest rytmem endogennym, gdyż występuje także w stałych warunkach środowiska.

Co ciekawe, niezależny od transkrypcji oscylator znaleziono także u glonów. Może to oznaczać, że tego typu zegary są powszechne u organizmów żywych. Dalsze badania pozwolą wyjaśnić jaki jest ich dokładny mechanizm, czy oksydacja PRX jest elementem mechanizmu zegara erytrocytów, a czy może jest tylko „wskazówkami” tego zegara.

Dr Jolanta Górska-Andrzejak jest adiunktem w Zakład Biologii i Obrazowania Komórki Instytutu Zoologii UJ w Krakowie.
E-mail: j.gorska-andrzejak@uj.edu.pl

TAJEMNICA JEZIORA ACRAMAN

Marek S. Żbik (Australia)

Odkrycie

Wszystko zaczęło się w 1979 r. kiedy pracownik koncernu BHP Minerals, George Williams studiował fotografie z satelity Landsat jako zakrojoną na dużą skalę kampanię poszukiwania nowych złóż surowców mineralnych w trudno dostępnych częściach Australii. Przeglądając zestaw fotografii pochodzących z wulkanicznego masywu Gawler położonego w centralnej części półwyspu Erie w Australii Południowej uwagę jego przykuła dziwna geologiczna struktura kolista w miejscu w którym położone jest słone jezioro Acraman. George, przywykły do interpretacji zdjęć satelitarnych zrozumiał natychmiast, że może to być ślad dawnej katastrofy kosmicznej i postanowił czym prędzej wyruszyć w ten rejon, by pobrać próbki skał dla badań mineralogicznych. Niestety we wrześniu 1979 r. w związku z intensywnymi opadami deszczu teren ten nie był dostępny dla eksploracji. Udało mu się jednak dotrzeć tam w maju 1980 r. Na miejscu, badając skały wulkaniczne, których wychodnie w wielu miejscach przebijały się poprzez białą jak śnieg taflę soli, stwierdził że skały są niezwykle silnie spękanе i w wielu miejscach widoczne są tak zwane stożki uderzeniowe, świadectwo ogromnej katastrofy jaka się tu wydarzyła przed milionami lat.

Pobrane próbki skał Roger przekazał do laboratorium gdzie stwierdzono, że w ziarnach kwarcu widoczne są siateczki równoległych linii. Takie linie stwierdzono wcześniej jako wywołane metamorfizmem

uderzeniowym powstałym jako efekt zderzenia się ciała kosmicznego o olbrzymiej energii kinetycznej z Ziemią i znane jako linie PDF (ang. *planar deformation features*). Wyniki badań mikroskopowych oraz makroskopowo widoczne stożki uderzeniowe prowadziły do jedynej konkluzji, jezioro Acraman jest pozostałością po ogromnej katastrofie kosmicznej jaka wydarzyła się tu w dawnych epokach geologicznych.



Ryc. 1. Lokalizacja zdarzenia.

Biorąc pod uwagę, że erozja odsłoniła jedynie głębokie korzenie dawnego krateru, można było przypuszczać, iż współczesne rozmiary tej kolistej struktury geologicznej oceniane na 30 km stanowią dolną granicę średnicy pierwotnego krateru. Rozmiary te postawiły Acraman jako największy krater meteorytowy znaleziony kiedykolwiek w Australii. Pozostało pytanie kiedy wydarzyła się katastrofa kosmiczna w miejscu jeziora Acraman. Na to z pozoru proste pytanie nie było jednak jasnej odpowiedzi. Wiek skał

wulkanicznych (dacytów) datowany przy pomocy radionuklidów dał datę powstania kratonu Gawler na około 1.59 miliarda lat (Ga). Wtedy utworzyły się ogromne przestrzenie grubych pokryw tych skał wulkanicznych. Było to zatem w okresie ery proterozoicznej w prekambrze i stanowi dolną granicę czasową dla katastrofy. Katastrofa zatem nie nastąpiła wcześniej, niż półtora miliarda lat temu. Dokładniejszą datę tego wydarzenia uzyskano w wyniku badań innego pioniera geologii australijskiej, Viktora Gostina z Uniwersytetu w Adelajdzie (University of Adelaide).

Victor urodził się w Szanghaju jako syn uchodźców rosyjskich opuszczających Rosję po Rewolucji Październikowej. Jako 9 letni chłopiec wraz z rodzicami wyemigrował do Australii, gdzie ukończył studia geologiczne zakończone doktoratem na National University w Canberze. Pracując na uniwersytecie w Adelajdzie, Victor, jako młody asystent zajmował się geologią skał osadowych w paśmie fałdowym Adelajdy, które stanowią jedno z piękniejszych masywów górskich, zwanych Górą Flindersa. Pasma Gór Flindersa rozciąga się od Adelajdy w kierunku północnym na odległość ponad 600 km. Są to silnie zerodowane góry fałdowe orogenezy dolomeryjskiej, która miała miejsce około pół miliarda lat temu. Viktor poszukiwał w warstwach osadowych Gór Flindersa odłamków skał wulkanicznych w celu przeprowadzenia dokładnych badań wieku tych skał metodą radionuklidów. Dokładny wiek wyznaczony tą metodą dałby mu dokładne dane o wieku poszczególnych warstw skalnych, które trudno było datować w oparciu o skamieniałości, jako że skały, z których zbudowane są Góry Flindersa powstały przed bujnym rozwojem życia na Ziemi, a przynajmniej przed czasem, kiedy organizmy wyposażone w pancerzyki mogły pozostawiać trwałe ślady swojej obecności.

Ku swojemu zadowoleniu Victor odkrył cienką warstewkę okruców dacytowych o rozmaitych rozmiarach w łupkach mułowcowych formacji Bunyeroo. Był pewny, że po uzyskaniu wyników badań radionuklidów we fragmentach wulkanicznych będzie mógł dokładnie poznać wiek formacji Bunyeroo oceniany na około 590 milionów lat. Jakież było zdziwienie Victora kiedy dowiedział się, że badane fragmenty skalnych mają 1.575 miliarda lat i zbliżają się do wieku dacytów z kratonu Gawler. Po okresie chwilowej dezorientacji, Viktor zrozumiał, że natrafił na ślad niecodziennego wydarzenia i podzielił się swoimi odkryciami z kolegami Lemonem i Hainesem. Lemon jako geolog kompanii BHP Minerals znał Georga Williamsa i wyniki jego prac. Powiedział Victorowi, że przypuszcza, iż odnalezione przez Victora fragmenty skał wulkanicznych mogą pochodzić

ze skał wyrzuconych z krateru meteorytowego Acraman w masywie Gawler gdzie mieści się jezioro Acraman. Idea ta przyjęta została z entuzjazmem i wkrótce potem Haines odnalazł siateczki PDF w ziarnach kwarcu w szlifach mikroskopowych przygotowanych z próbek dostarczonych przez Victora. Znaczyły one ślady metamorfizmu uderzeniowego podobnego do tych odkrytych w skałach jeziora Acraman.



Ryc. 2. Droga gruntowa prowadząca do parowu Bunyeroo (South Australian Tourist Commission).

Wkrótce potem Victor spotkał się z Georgiem i przekazał mu wyniki badań, jakich dokonali wraz z kolegami. Zbieżność wieku, litologii i metamorficznych cech próbek dacytów odnalezionych w formacji Bunyeroo w Górach Flindersa z dacytami kratonu Gawler była wyjątkowo bliska. Pozwoliło to na wysunięcie hipotezy mówiącej, że w górnym proterozoiku na kratonie Gawler w rejonie współczesnego jeziora Acraman miała miejsce olbrzymich rozmiarów katastrofa kosmiczna. Skały wulkaniczne w wyniku ogromnego wybuchu wyrzucone zostały na odległość 350 km i wylądowały w basenie płytkiego morza na wschód, gdzie weszły w skład osadów klastycznych nowo uformowanych Gór Flindersa.

W parowie Bunyeroo

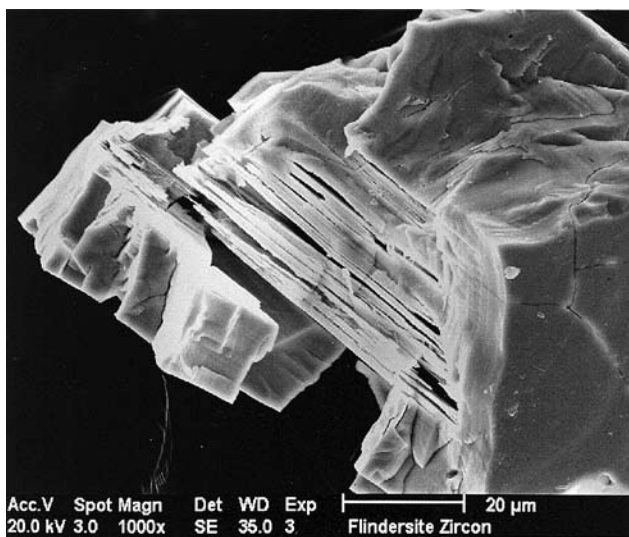
Piękna słoneczna pogoda, ciepło, nieprzerwany turkot motoru samochodu pomieszany z hałasem roztrzęsionych blach nadwozia i niezliczonej ilości innych części, które mogą drzeć przy ciągłych wstrząsach na wyboistej polnej drodze, nie pozwala zasnąć za kierownicą. Samochód Toyota z napędem na cztery koła, to „Drynda”, nasz przyjaciel, który bezpiecznie woził nas latami po bezdrożach Australii. Tutaj nie buduje się wiaduktów ponad okresowymi rzeczками płynącymi jedynie po większych deszczach, ale po prostu puszcza się je w poprzek drogi stawiając jedynie wodowskazy, by kierowca mógł zdawać sobie sprawę z głębokości wody w danym miejscu i z ryzyka jakie podejmuje przekraczając rwącą strugę. Dziś nie ma wody w strumieniu i drynda przetacza się po kamienistym dnie i wtacza się do głębokiego pa-

rowu Bunyeroo. Południe, niebo szafirowo błękitne, skały bo bokach głębokiej kotliny rdzawo-czerwone, poszarpane, roślinność głównie eukaliptusy zielonymi liśćmi przesłaniają białe pnie pozbawione kory, kolorowe papugi drą się w niebogłasy, powietrze wydaje się nieruchome i bardzo suche. Podłoże wnętrza parowu wysłane jest miękkimi łupkami koloru brązowego. Dzięki tym miękkim łupkom kształty morfologii dna parowu nie są tak kańciaste i strome, jak na kwarcytowych, poszarpanych zboczach. Po dnie parowu majestatycznie płynie potok.

A



B



Ryc. 3. Ślady metamorfizmu uderzeniowego w ziarnach kwarcu (A, skala 0.1 mm) i w kryształach cyrkonu (B) wyseparowanych z Flindersytów.

Zatrzymujemy samochód, idę za Victorem do zbocza kotliny koło potoku. Tu pośród brązowych łupków Victor wskazuje mi szarej barwy warstewkę ciągnącą się wzdłuż strumienia. Warstewka ciągnie się na znacznej przestrzeni, czasem wchodzi na dno potoku, dalej przekracza go, by ukazać się na przeciwległej ścianie parowu. Przyglądam się bliżej temu miejscu. Wewnątrz tej szarego koloru warstewki

widnieją ziarenka piasku i fragmenty żwiru o różowym kolorze. Momentami występują tu większe kamienie, to flindersyty, swojego rodzaju ziemskie meteoryty, których nazwa wzięta została od pasma Gór Flindersa, gdzie zostały odkryte. Nieopodal w strumieniu leży głaz o wadze 25 kilogramów, widocznie wymyty został z tej warstwy w czasie, kiedy po deszczach strumień z dużą siłą rzeźbił dno i pobocza parowu. Oblamuję młotkiem fragment głazu i przyglądam się świeżo rozłupanej skale. To dacyt, skała wulkaniczna, pochodzi z pewnością z katastrofy w Acraman.

To łupki formacji Bunyeroo, mówi Viktor wskazując na czerwone pofoliowane skały dna potoku. Formacja o tej samej nazwie co i nazwa kotliny, w której się znajdujemy. Formacja ta uformowała się w prekambryze około 600 milionów lat temu na dnie płytkiego morza, w miejscu którego 100 milionów lat po utworzeniu się tych łupków, wypiętrzyły się wysokie góry. Góry te po zerodowaniu i tektonicznym odnowieniu możemy dziś podziwiać jako pasmo Gór Flindersa ciągnące się około 600 kilometrów od Adelaide na północ w głąb tego suchego, wypróżnionego słońcem kontynentu.

W jaki sposób rozpoznałeś, że te z pozoru normalne skały wulkaniczne nie pochodzą z erupcji lokalnego wulkanu, ale są świadectwem dalekiej katastrofy? – ciągnę z niedowierzaniem spoglądając na różowego głaza.

W tym problem – odpowiada Victor – jako młody asystent na uniwersytecie podjąłem próbę przesłania tej formacji na przestrzeni całego masywu Gór Flindersa i nie znalazłem śladu wulkanów. Nie mogłem sobie wytłumaczyć, w jaki sposób te skały wyraźnie wulkanicznego pochodzenia mogły tu się znaleźć. Viktor następnie wyjaśnił, iż podobne skały występują w masywie wzgórz Gawler, jakieś 350 km stąd, ale są o miliard lat starsze – dodał Victor – zatem nie mogłyby zostać wyrzucone do przyszłości. Długo zastanawiałem się nad możliwymi rozwiązaniami tej zagadki. Pozostała jedyna możliwość, lądolód. Oto lądolód sunący po skałach wulkanicznych masywu Gawler mógł porywać fragmenty skał, które wtapiając się w jego cielsko przewędrować mogły spore odległości, aż do brzegu wszechoceanu Panthalassa. Tu, lądolód powoli zsuwa się do płytkiego morza, dzieli się na góry lodowe, z których następnie materiał skalny wytapiając się powoli i opadając na dno mógł wejść w skład formacji widniejącej dziś na dnie parowu Bunyeroo. To jedynie prawdopodobna hipoteza, tyle, że po dokładnym przyjrzeniu się zmianom klimatycznym jakie miały miejsce w tym okresie czasu nie doszukaliśmy się śladu zlodowacenia. Sprawa pozostała zatem niewyjaśnioną przez

kilka lat aż do spotkania się z Georgiem Williamsem. Po przeprowadzeniu wspólnych badań na zebranych materiałach skalnych i potwierdzeniu anomalii geochemicznej wskazującej na silne wzbogacenie warstewki pokryw wyrzutowych z formacji Bunyeroo w materiał kosmogeniczny jak iryd, można było pokusić się o rekonstrukcję wydarzenia.

Rekonstrukcja wydarzenia

Jak można przypuszczać, 580 milionów lat temu, w centrum masywu Gawler, będącym grubą pokrywą różowego koloru dacytowych skał pochodzenia magmowego utworzoną około półtora miliarda lat temu, uderzyła z kosmiczną prędkością, wielu kilometrów na sekundę olbrzymia góra z kosmosu. Dacytowy płaskowyż, fragment superkontynentu Gondwana, utworzony w czasie masywnych wylewów magmy, miał w tym czasie miliard lat i dawno już był termalnie i tektonicznie nieczynnym.

Trudno dziś rozstrzygnąć, jaka była wtedy pora dnia czy roku, dość, że w pewnym momencie w atmosferę Ziemi wtargnął 4 km średnicy fragment planetoidy, kosmiczna góra, niczym góry lodowe przemierzające przestrzeń oceanów, ta góra kosmiczna od trzech miliardów lat przemierzała puste przestrzenie próżni systemu planetarnego. Powstała ona na początku formowania się planet cztery i pół miliarda lat temu i wchodziła zapewne w skład niewielkiej planetki 400 km średnicy. Ta mała planetka uległa jednak kompletnemu rozbiciu w wyniku wielokrotnych zderzeń z podobnymi jej obiektami, których orbity ulegały krzyżowaniu w wyniku sił perturbacyjnych Jowisza. Wydaje się zatem że już 500 milionów lat po uformowaniu się tej maleńkiej planetki, była już ona roztrzaskana na wielokilometrowej średnicy fragmenty, swojego rodzaju „góry lodowe przestrzeni międzyplanetarnej”. Od tego czasu przez następne dwa i pół miliarda lat, owa „góra” krążyła po nieco wydłużonej orbicie okołołonecznej, aż pewnego dnia, zderzyła się z Ziemią.

W pierwszym momencie, nastąpiło zetknięcie się ciała planetoidy z twardą powierzchnią wulkanicznych skał półwyspu Eyre. W punkcie zderzenia wytworzone zostało ogromne ciśnienie, rzędu kilkudziesięciu megapaskali. Wywołało ono falę uderzeniową, rozchodzącą się sferycznie zarówno w ciele uderzającego pocisku jak i w skałach powierzchni w miejscu zderzenia. W momencie zderzenia wyzwoliła się ogromna energia oceniana na 5.2×10^6 Mt (TNT) i w wyniku zamiany energii kinetycznej hamującego raptownie meteoroidu na ciepło. Ciepło to, sięgające dziesiątków tysięcy stopni spowodowało natychmiastowe kruszenie, topienie i odparowanie skał

w miejscu zderzenia. Ocenia się, że całość materiału, z którego był zbudowany kosmiczny pocisk jak i równowartość jego masy w skałach podłoża, w które ten pocisk uderzył, zamieniła się momentalnie w masę gorących, zjonizowanych gazów. Gazy te rozgrzały się i pod wysokim ciśnieniem, utworzyły nowy stan skupienia materii, plazmę.

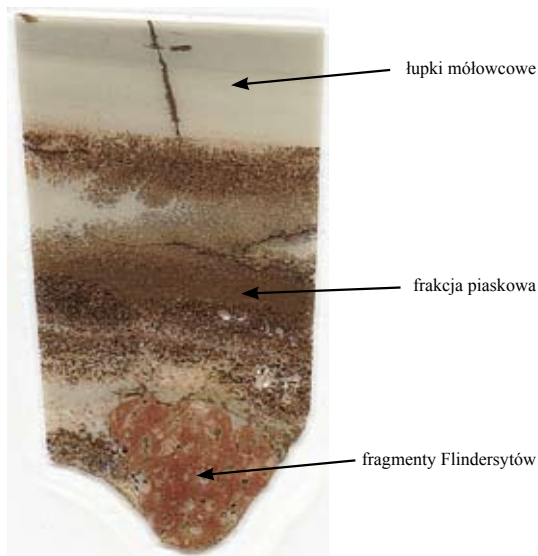
Natychmiast po tym etapie, strugi rozgrzanej plazmy, wraz z porywaną w podmuchu eksplozji roztopioną masą skał, wyrzucone zostały strumieniami we wszystkie strony od miejsca wybuchu.

Odłamki wyrzucane z wnętrza krateru opuszczają miejsce eksplozji pod coraz to mniejszym kątem, a produkty tego wyrzutu opadają coraz to bliżej epicentrum. Część tego materiału, wyrzucona z krateru w końcowej fazie powstawania krateru, spada z powrotem na dno misy uderzeniowej i wyściela dno krateru. Materiał w centralnej części dna krateru nie przejawia tendencji do bocznego rozsuwania się i najczęściej pozostaje na miejscu, będąc jednym z czynników prowadzących do utworzenia się góry centralnej, szczególnie dobrze widocznej w kraterach o wielkich rozmiarach. Luźny materiał składający się z fragmentów pokruszonych skał, zastygłego w rozmaite formy szkliwa i produktów powstałych w wyniku termicznej kondensacji par i gazów, tworzących się szczególnie obficie w czasie pierwszej fazy wybuchu, buduje charakterystyczne w swoim składzie i strukturze grunty zwane pokrywami wyrzutowymi. Pokrywy te, podobne są do produktów piroklastycznych znanych z wybuchów wulkanicznych.

Należy tu wspomnieć, że fala uderzeniowa przechodząca przez skały z prędkością około 7 km na sekundę, w znacznym stopniu wpłynęła na zmianę cech strukturalnych minerałów. Działo się to już poza obszarem totalnego topienia i parowania skał. Takie zmiany strukturalne minerałów nazywa się metamorfizmem uderzeniowym, bo powstającym jedynie w wyniku katastroficznych uderzeń kosmicznych. Ten ekstremalny metamorfizm łatwo można odróżnić od metamorfizmu termicznego czy tektonicznego.

Nie wszystkie jednak minerały uległy takiemu metamorfizmowi uderzeniowemu w tworzącym się kraterze meteorytowym na półwyspie Eyre. Otóż poza pewnym obszarem, energia fali uderzeniowej, rozpraszająca się we wciąż powiększającej się masie masywu skalnego słabnie i jest niewystarczająca dla zmiany struktury minerałów. W czasie tej eksplozji miało miejsce masowe kruszenie się skał, ich totalne mieszanie i wyrzut na bliskie i dalekie odległości. Rozkruszona skała w postaci gęstej chmury składającej się z wielkich głazów, piasków i ogromnej ilości pyłów, zmieszana z przegrzaną parą wodną

i innymi gazami powstałymi przy odparowaniu skał, rozprzestrzeniała się z ogromną prędkością we wszystkich kierunkach. Chmura ta utworzyła swojego rodzaju lawinę gęstego i gorącego medium, które podobne do chmury piroklastycznej, która zniszczyła Pompeje, unicestwiała wszystko na swojej drodze i włączała do swojej masy coraz to nowy materiał, toczyła się dalej, nabierając masy niczym tocząca się kula śnieżna.



Ryc. 4. Warstewka Flindersytów z parowu Bunyeroo w Górach Flindersa.

Obraz ten wyjaśnia zagadkę, dlaczego jedynie część materiału wyrzuconego z krateru nosi ślady metamorfizmu uderzeniowego. Większość materiału mineralnego powstałej lawiny, wymieszana została dokładnie ze stosunkowo niewielką ilością zmetamorfizowanych uderzeniowo fragmentów skał z bezpośredniej strefy uderzenia bolidu. Chmura ta, początkowo wystrzeliła na wiele dziesiątków kilometrów do góry. Jej strumienie początkowej fazy wybuchu, poszybowwały prawdopodobnie w przestrzeń kosmiczną, część odłamków pozostała na wyższej i niższej orbicie okołoziemskiej i z czasem po latach spadały one na ziemię jako meteoryty. O dziwo ich skład będzie ziemski. Pył atmosferyczny przez długie lata utrzymywał się w górnych warstwach atmosferycznych wpływając brutalnie na zmiany klimatyczne i biologiczne na obszarze całej planety.

Radialnie rozprzestrzeniająca się chmura tej lawiny uderzeniowej po kilku minutach dotarła 350 km od miejsca wybuchu i rozchodząc się zaczęła ponad Oceanem Thalassa. Opadające na dno odłamki skalne przechodziły tu przez kolumnę wody i nie były już bezładnie przemieszane. W czasie sedymentacji nastąpiło rozsortowanie materiału. Fragmenty największych rozmiarów opadły w wodzie szybciej, a za nimi podążał materiał wielkości ziarenek piasku i pyłu. Wiele z nich uniesione zostało prądami oceanicznymi na znaczne odległości,

jak również przemieszane w wyniku ogromnych fal tsunami wywołanych w efekcie katastrofy.

Utworzona warstewka przykryta została wielokilometrowej grubości osadem na wciąż obniżającym się dnie geosynkliny Adelajdy. Około 100 milionów lat później, po katastrofie, osady te zostały sfałdowane i wypiętrzone w czasie orogenezy delameryjskiej, kiedy to powstały pierwotne łańcuchy Gór Flindersa. Po tym, nastąpił długi okres erozji, kiedy to góry praktycznie przestały istnieć, zostały starte z powierzchni Ziemi przez długi okres penepłenizacji. Dopiero niedawno bo około 60 milionów lat temu pasmo Gór Flindersa zostało częściowo odnowione w wyniku tektonicznego podźwignięcia części bloków skorupy, po którym to okresie czasu, znowu zaczęła działać erozja i okresowe rzeczki jak potok Bunyeroo rozcinać zaczęły pofałdowane skały w wielu miejscach. Tam gdzie została przecięta erozją warstewka formacji Bunyeroo, na powierzchnię wydostawała się warstewka zawierająca dacyty ze wzgórz Gawler i odwiedzającym turystom, jak i rzeszom geologów odwiedzających to unikalne miejsce, opowiada do dziś dziwną historię o wielkiej kosmicznej katastrofie jaka wydarzyła się w zamierzchłych czasach, czasach kiedy życie na Ziemi dopiero zaczęło nabierać rozmachu przed burzliwym jego rozwojem w okresie kambryjskim.

Jak wykazały analizy badań, początkowo krater meteorytowy tuż po jego uformowaniu w starym masywie wulkanicznym miał średnicę 75 do 90 kilometrów i głębokość 3 kilometrów. Jednak w wyniku postępującej erozji, po upływie półtora miliarda lat od katastrofy, to co obserwujemy dziś na powierzchni jeziora Acraman, to jedynie korzenie pierwotnej struktury krateru. Ocenia się, że w czasie trwania erozji usunięty został aż 3-kilometrowej miąższości fragment skorupy.

Obecnie wydarzenie Acraman-Bunyeroo stanowi unikalne na skalę światową zjawisko gdzie odległe pokrywy wyrzutowe zarejestrowane w odległości do 540 km od miejsca katastrofy korelowane są z ogromnej wielkości kraterem meteorytowym. Efekty środowiskowe tej katastrofy z zamierzchłych epok geologicznych mogą przekazać nam wiele informacji o istniejącym zagrożeniu katastrofami kosmicznymi i efektach środowiskowych jakich można oczekiwać w wyniku nastąpienia takiej katastrofy. Tajemnica jeziora Acraman po jej pełnym wyjaśnieniu będzie mogła pomóc nauczyć nas jak przygotować się powinniśmy na wypadek podobnej katastrofy w przyszłości. Nie jest bowiem uzasadnione pytanie czy podobna katastrofa wydarzy się ponownie, lecz kiedy się wydarzy i czy jesteśmy do niej właściwie przygotowani.