



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Ένα «νεκροταφείο» φαλαινών στον βαθύ ωκεανό είναι στην πραγματικότητα αρχείο πέντε εκατομμυρίων ετών

Εργασία στο *Nature* αναφέρει μια τεράστια συγκέντρωση πτωμάτων και απολιθωμάτων φαλαινών στη Ζώνη Diamantina του νοτιοανατολικού Ινδικού Ωκεανού: πέντε σύγχρονες φυσικές κοινότητες whale-fall, εκατοντάδες απολιθωμένα κατάλοιπα κητωδών και ηλικίες από ισότοπα στρουτίου που φτάνουν περίπου 5.3 εκατομμύρια χρόνια πίσω. Το εντυπωσιακό δεν είναι ότι οι φάλαινες επέλεξαν ένα μέρος για να πεθάνουν ούτε ότι μια καταστροφή δημιούργησε νεκροταφείο. Τα στοιχεία δείχνουν ένα βαθύ, μακρόβιο αρχείο που χτίστηκε από συνηθισμένους θανάτους φαλαινών, βύθιση πτωμάτων, δύσκολη αναζήτηση τροφής από ζιφιούς, μορφολογία του βυθού και ασυνήθιστα καλή διατήρηση. Ανοίγει ένα σπάνιο παράθυρο στα οικοσυστήματα whale-fall του βαθιού ωκεανού· δεν σημαίνει ότι ο βαθύς ωκεανός έχει πλέον χαρτογραφηθεί ή κατανοηθεί.

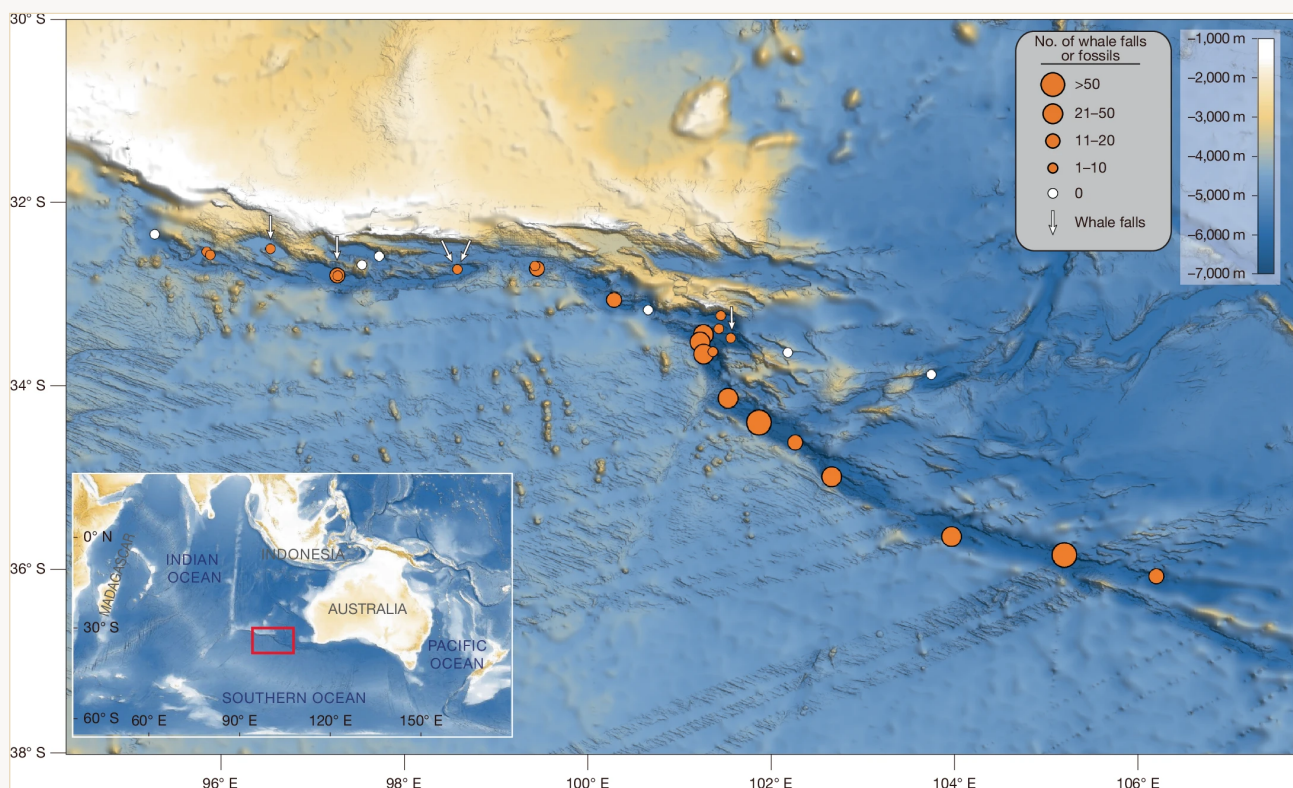
Written by Laura Nesso · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: A 5.3-million-year-old deep-sea whale necropolis in the Diamantina Zone, Xiaotong Peng, Peng Zhou, Xikun Song, Giovanni Bianucci, Mengran Du and colleagues, *Nature* 654, 978-983 (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10546-z

Ο πυθμένας του ωκεανού κράτησε τα οστά

Τα περισσότερα πτώματα φαλαινών χάνονται μέσα σε ένα σκοτεινό λογιστικό πρόβλημα. Μια φάλαινα πεθαίνει, βυθίζεται, τροφοδοτεί για λίγο μια έκρηξη ζωής στον βαθύ ωκεανό και έπειτα το αρχείο διασκορπίζεται, θάβεται ή καταναλώνεται. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι τα whale falls — τα πτώματα φαλαινών που φτάνουν στον βυθό — είναι οικολογικές οάσεις, αλλά το αρχείο είναι φτωχό: οι περισσότερες γνωστές θέσεις είναι μεμονωμένες, ρηχές σε σύγκριση με τις βαθύτερες τάφρους ή πολύ πρόσφατες για να μας πουν πολλά για το βαθύ γεωλογικό παρελθόν.

Η Ζώνη Diamantina αλλάζει την κλίμακα του προβλήματος. Σε νέα εργασία στο Nature, οι Xiaotong Peng, Peng Zhou, Xikun Song, Giovanni Bianucci, Mengran Du και συνεργάτες αναφέρουν μια μεγάλη και βαθιά συγκέντρωση whale falls και απολιθωμάτων φαλαινών στον νοτιοανατολικό Ινδικό Ωκεανό. Η περιοχή εκτείνεται περίπου 1.200 χιλιόμετρα κατά μήκος του βυθού και βρίσκεται σε βάθος περίπου 4.600–7.000 μέτρων. Σε 32 καταδύσεις με το επανδρωμένο βαθυσκάφος *Fendouzhe*, η ομάδα κατέγραψε 485 θέσεις με απολιθώματα φαλαινών και ενεργά whale falls· στην περίληψη συνοψίζει το εύρημα ως πέντε σύγχρονες φυσικές κοινότητες whale-fall συν 476 απολιθωμένα κητώδη. Πρόκειται για διαφορετικές μετρήσεις στην ίδια εργασία, όχι για αριθμούς που απλώς προστίθενται: το 485 είναι η καταγραφή σε επίπεδο θέσης, ενώ το 476 είναι ο αριθμός απολιθωμένων κητωδών που χρησιμοποιείται στην περίληψη.



Το Σχήμα 1 του Nature χαρτογραφεί τις παρατηρήσεις στη Ζώνη Diamantina: οι πορτοκαλί κύκλοι σημειώνουν καταδύσεις όπου παρατηρήθηκαν απολιθώματα ή whale falls, το μέγεθος του κύκλου αντανακλά πόσα κατάλοιπα φαλαινών καταγράφηκαν ανά κατάδυση, τα λευκά βέλη δείχνουν ενεργά

whale falls στο θειόφιλο στάδιο και οι λευκοί κύκλοι καταδύσεις χωρίς παρατηρημένα κατάλοιπα. Το σχήμα αναπαράγεται ολόκληρο και αμετάβλητο: χωρίς περικοπή, επικάλυψη, επανασήμανση, αλλαγή χρωμάτων ή ανασχεδίαση.

Peng et al. / Nature 654, 978-983 (2026), DOI 10.1038/s41586-026-10546-z · CC BY-NC-ND 4.0; base map: GMRT — Ryan et al., Geochem. Geophys. Geosyst. 10, Q03014 (2009) · CC BY 4.0 CC BY-NC-ND 4.0



Οι True's beaked whales είναι ζωντανοί συγγενείς των βαθιά καταδυόμενων ζιφιών που συζητά η εργασία. Αυτή η φωτογραφία παρέχει μόνο συμφραζόμενα, δεν είναι ένα από τα απολιθώματα της Diamantina: το σημείο είναι ότι οι ζιφιοί είναι δυσπρόσιτα ζώα που αναζητούν τροφή σε μεγάλα βάθη, άρα ένα αρχείο οστών στον βυθό μπορεί να διατηρήσει στοιχεία που οι παρατηρήσεις στην επιφάνεια συχνά χάνουν.

Roland Edler / PeerJ / Wikimedia Commons CC BY 4.0

Το παλαιότερο χρονολογημένο υλικό φτάνει τα 5.26 εκατομμύρια χρόνια, γι' αυτό η εργασία μιλά για «νεκρόπολη φαλαινών 5.3 εκατομμυρίων ετών». Είναι ζωντανή φράση. Είναι επίσης η φράση που χρειάζεται τη μεγαλύτερη προσοχή.

Δεν είναι ένδειξη ότι οι φάλαινες πήγαιναν σκόπιμα εκεί για να πεθάνουν. Δεν είναι ένα μοναδικό γεγονός μαζικού θανάτου. Δεν είναι νεκροταφείο με την ανθρώπινη έννοια. Είναι ένα μέρος όπου πτώματα και οστά συσσωρεύτηκαν, έμειναν εκτεθειμένα, ορυκτοποιήθηκαν και έγιναν αναγνώσιμα.

Τι έκαναν οι συγγραφείς

- Ερεύνησαν τη Ζώνη Diamantina με 32 καταδύσεις του βαθυσκάφους *Fendouzhe* από το R/V *Tansuoyihao*.
- Κατέγραψαν απολιθώματα φαλαινών και ενεργές κουνότητες whale-fall κατά μήκος

περίπου 1.200 χιλιομέτρων βυθού.

- Χρησιμοποίησαν επιτόπιο βίντεο και συλλεγμένα δείγματα για να ταυτοποιήσουν τις κοινότητες που ζουν πάνω σε σύγχρονα whale falls.
- Ανέλυσαν 43 ανακτημένα απολιθωμένα δείγματα, ταυτοποιώντας πέντε είδη ζιφιών και ένα είδος μυστακοκήτους.
- Χρονολόγησαν 33 απολιθωμένα δείγματα οστών με αναλογίες ισοτόπων στροντίου, μέθοδο που συγκρίνει τη διατηρημένη χημική υπογραφή τύπου θαλασσινού νερού του απολιθώματος με τη γνωστή ιστορία της σύστασης του θαλασσινού νερού.
- Συνέδεσαν τις παρατηρήσεις με δημόσια πρωτογενή δεδομένα: οι αρχικές επιτόπιες εικόνες και οι συναρμολογήσεις μικροβιακών γονιδιωμάτων έχουν κατατεθεί στη Science Data Bank, ενώ εικόνες των ειδών που μελετήθηκαν στα whale falls βρίσκονται στο MorphoBank.

Τι βρήκαν

- **Μια μεγάλη, βαθιά συγκέντρωση.** Οι συγγραφείς αναφέρουν 485 θέσεις απολιθωμάτων και ενεργών whale falls στη Ζώνη Diamantina, με παρατηρήσεις από περίπου 4.600 έως 7.000 μέτρα βάθος στον συμπληρωματικό πίνακα.
- **Πέντε ενεργά whale falls.** Οι πέντε ενεργές θέσεις βρίσκονται στο θειόφιλο στάδιο: οστά καλυμμένα από μικροβιακά στρώματα και σκουλήκια που τρυπούν οστά, όπου η χημική ενέργεια της αποσύνθεσης υποστηρίζει μια εξειδικευμένη κοινότητα.
- **Μια πυκνή ζωντανή κοινότητα.** Η σχετιζόμενη πανίδα περιλαμβάνει 35 αναγνωρισμένα taxa μακροπανίδας, κυρίως δακτυλιοσκώληκες, καρκινοειδή και μαλάκια. Σκουλήκια που τρώνε οστά, γαστερόποδα, δίθυρα Vesicomylidae και οφιούροι κυριαρχούν στα μεγαλύτερα ζώα, με τοπικές πυκνότητες έως 2.840 άτομα ανά τετραγωνικό μέτρο.
- **Απολιθωμένο αρχείο ζιφιών.** Τα 43 ανακτημένα απολιθώματα περιλαμβάνουν ζωντανά είδη ζιφιών γνωστά από την περιοχή, εξαφανισμένες μορφές όπως *Pterocetus* και *Izikoziphius*, καθώς και κάποια κατάλοιπα μυστακοκητών. Ένα δείγμα περιγράφεται ως νέο είδος, *Pterocetus diamantinae*.
- **Μεγάλο χρονικό εύρος.** Από 33 απολιθωμένα οστά που εξετάστηκαν για ισότοπα στροντίου, τα 25 έδωσαν ηλικίες μεταξύ 0.12 και 5.26 εκατομμυρίων ετών. Οι παλαιότερες χρονολογήσεις υποδηλώνουν whale-fall γεγονότα στην περιοχή τουλάχιστον από το Πρώιμο Πλειόκαινο.

Γιατί τόσες φάλαινες εκεί;

Η απάντηση της εργασίας δεν είναι μία απλή αιτία. Είναι μια στοίβα από εύλογα φίλτρα.

Ορισμένα πτώματα μπορεί να προέρχονται από μυστακοκήτη που περνούν από έναν ευρύ μεταναστευτικό διάδρομο. Οι ρυγχοφάλαινες minke και sei τρέφονται κοντά στην επιφάνεια, όχι σε βάθος 6 ή 7 χιλιομέτρων, άρα τα οστά τους εκεί ερμηνεύονται καλύτερα ως πτώματα

που βυθίστηκαν μετά τον θάνατο.

Οι ζιφιοί είναι διαφορετικοί. Είναι εξειδικευμένοι βαθιοδύτες που τρέφονται με καλαμάρια και ψάρια σε απότομα, βαθιά περιβάλλοντα βυθού. Η Ζώνη Diamantina είναι ακριβώς τέτοιο τοπίο: ακραία βάθη, σύνθετη τοπογραφία σχήματος V και λεία που παρατηρήθηκε στις καταδύσεις. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η φυσιολογική θνησιμότητα, οι φυσιολογικοί κίνδυνοι της βαθιάς αναζήτησης τροφής και πιθανώς θανατηφόρα εξάντληση ή στρες αποσυμπίεσης θα μπορούσαν όλα να προσθέτουν κατάλοιπα στον βυθό.

Ύστερα ο βυθός τα κρατά. Η τοπογραφία της ζώνης μπορεί να διοχετεύει τα βυθιζόμενα πτώματα. Ο χαμηλός ρυθμός ιζηματογένεσης επιτρέπει στα οστά να μένουν εκτεθειμένα για πολύ καιρό. Τα πυκνά ρύγχη των ζιφιών είναι ασυνήθιστα ανθεκτικά στην καταστροφή. Οξειδισιδηρομαγγανίου και κατακρήμνιση ανθρακικών μπορούν να βοηθούν στη διατήρηση σκελετικού υλικού. Βάλτε τα όλα μαζί και το «νεκροταφείο» γίνεται λιγότερο μυστηριώδες: όχι μέρος που επιλέγουν οι φάλαινες, αλλά μέρος όπου οι θάνατοι είναι πιο πιθανό να καταγραφούν.

Τι δεν αποδεικνύει

- **Δεν** δείχνει ένα σκόπιμο νεκροταφείο φαλαινών. Η «νεκρόπολη» είναι μεταφορά για τη συσσώρευση, όχι στοιχείο συμπεριφοράς.
- **Δεν** δείχνει ένα καταστροφικό γεγονός μαζικού θανάτου. Οι ηλικίες καλύπτουν εκατομμύρια χρόνια και οι συγγραφείς περιγράφουν ένα μακρόβιο αρχείο από επαναλαμβανόμενα γεγονότα.
- **Δεν** σημαίνει ότι ο βαθύς ωκεανός είναι πλέον καλά χαρτογραφημένος. Η θέση βρέθηκε μέσα από σπάνια και ακριβή εργασία με βαθυσκάφος σε έναν γεωλογικό διάδρομο· η εργασία έχει αξία ακριβώς επειδή τέτοιες καταγραφές είναι συνήθως αραίες.
- **Δεν** μετατρέπει κάθε είδος της κοινότητας σε νέο είδος για την επιστήμη. Οι συγγραφείς λένε ότι πολλά ανακτημένα taxa μπορεί να είναι νέα, αλλά τα περισσότερα ταυτοποιούνται μόνο σε επίπεδο γένους ή οικογένειας· μόνο ένα δίθυρο Vesicomysidae αποδίδεται με βεβαιότητα σε είδος μέσω σύγκρισης barcoding.
- **Δεν** καθορίζει την πλήρη αιτία θανάτου κάθε φάλαινας. Οι συγγραφείς προτείνουν μια συγκλίνουσα εξήγηση: μετανάστευση, βαθιά αναζήτηση τροφής, τοπογραφία, διατήρηση και ιζηματογένεση. Αυτό δεν είναι το ίδιο με απόδειξη του μηχανισμού θανάτου για κάθε ζώο.

Πόσο ισχυρά είναι τα στοιχεία;

Τα στοιχεία για την ίδια τη θέση είναι ισχυρά: άμεσες παρατηρήσεις από βαθυσκάφος, εκατοντάδες χαρτογραφημένες καταγραφές, φυσικά δείγματα, γενετικές ταυτοποιήσεις για ορισμένα ζώα και ισοτοπική χρονολόγηση απολιθωμένων οστών. Οι ισχυρότεροι ισχυρισμοί

είναι οι παρατηρησιακοί: η θέση υπάρχει· είναι βαθιά· είναι εκτεταμένη· υπάρχουν ενεργές κοινότητες whale-fall· και κάποιο απολιθωμένο υλικό είναι ηλικίας εκατομμυρίων ετών.

Οι επεξηγηματικοί ισχυρισμοί είναι αναγκαστικά πιο ήπιοι. Η εργασία μπορεί να δείξει πού βρίσκονται τα κατάλοιπα, τι είναι ορισμένα από αυτά, πόσο παλιά είναι κάποια και τι ζει πάνω στα ενεργά whale falls. Δεν μπορεί να ξαναπαίξει τους θανάτους. Η προτεινόμενη γένεση είναι ανακατασκευη από οικολογία, φυσιολογία, μορφολογία του βυθού και συνθήκες διατήρησης. Αυτό είναι φυσιολογική παλαιοοικολογία: ισχυρή, αλλά χτισμένη από συγκλίνουσες ενδείξεις αντί για άμεση παρατήρηση των αρχικών γεγονότων.

Γιατί έχει σημασία

Τα whale falls είναι βραχύβια γεύματα που μπορούν να γίνουν μακρόβιοι βιότοποι. Συνδέουν ένα ζώο της επιφάνειας με τον βαθύ βυθό, μεταφέροντας άνθρακα, οστά και χημική ενέργεια σε περιβάλλον όπου η τροφή σπανίζει. Λειτουργούν επίσης σαν νησιά για εξειδικευμένα ζώα: σκουλήκια που τρυπούν οστά, δίθυρα με συμβιωτικά βακτήρια οξείδωσης θείου, οφιούρους και γαστερόποδα που μπορούν να συγκεντρώνονται γύρω από τα κατάλοιπα.

Η Ζώνη Diamantina προσθέτει χρόνο σε αυτή την εικόνα. Υποδηλώνει ότι ορισμένοι βαθιοί βυθοί μπορούν να διατηρήσουν οικοσυστήματα whale-fall όχι μόνο ως σκόρπια γεγονότα, αλλά ως αρχεία οικολογίας και εξέλιξης των φαλαινών. Οι ζιφιοί είναι διαβόητα δύσκολο να μελετηθούν επειδή ζουν και τρέφονται μακριά από τα βλέμματά μας· μια συσσώρευση των οστών τους στον βυθό μπορεί να αποκαλύψει είδη, κατανομές και εξελικτική ιστορία που οι επιφανειακές παρατηρήσεις χάνουν.

Η καθαρή ιστορία δεν είναι «οι επιστήμονες βρήκαν το νεκροταφείο φαλαινών του ωκεανού». Είναι πιο παράξενη και πιο χρήσιμη: ένας βαθύς γεωλογικός διάδρομος διατήρησε αρκετούς θανάτους φαλαινών ώστε να μετατρέψει ένα συνήθως παροδικό οικοσύστημα σε αρχείο.

Καθαρή σύνοψη

Ερευνητές που εξερεύνησαν τη Ζώνη Diamantina στον νοτιοανατολικό Ινδικό Ωκεανό αναφέρουν μια τεράστια συγκέντρωση whale falls και απολιθωμάτων φαλαινών στον βαθύ ωκεανό: 485 καταγεγραμμένες θέσεις και ενεργά falls σε περίπου 1.200 χιλιόμετρα, σε βάθη έως περίπου 7.000 μέτρα, με απολιθωμένες ηλικίες που φτάνουν 5.26 εκατομμύρια χρόνια πίσω. Η περιοχή φιλοξενεί εξειδικευμένες κοινότητες whale-fall και διατηρεί τόσο σύγχρονες όσο και εξαφανισμένες γενεαλογικές γραμμές φαλαινών, ιδιαίτερα ζιφιών. Το αποτέλεσμα είναι ένα σπάνιο αρχείο του βαθιού ωκεανού, όχι κυριολεκτικό νεκροταφείο, όχι ένα μοναδικό γεγονός μαζικού θανάτου και όχι απόδειξη ότι ο βαθύς ωκεανός έχει πλέον κατανοηθεί. Ο σημαντικός ισχυρισμός είναι στενότερος και ισχυρότερος: υπό τις σωστές συνθήκες βυθού, οι θάνατοι φαλαινών μπορούν να αφήσουν αρχείο που διαρκεί εκατομμύρια χρόνια.

Πηγές

Peng et al., A 5.3-million-year-old deep-sea whale necropolis in the Diamantina Zone, Nature 654, 978-983 (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10546-z>

Science Data Bank dataset for the original in situ images and microbial MAGs

<https://doi.org/10.57760/sciencedb.28830>

MorphoBank project P6064 — original images of investigated whale-fall species

<https://morphobank.org/permalink/?P6064>