

POZYCJA CHRONOSTRATYGRAFICZNA GRANICY NEOGEN/CZWARTORZĘD

CHRONOSTRATIGRAPHIC SETTING OF THE NEOGENE/QUATERNARY BOUNDARY

LESZEK MARKS¹

Abstrakt. Spełniając wieloletnie postulaty badaczy czwartorzędu, Komitet Wykonawczy Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych (IUGS) ratyfikował propozycję Międzynarodowej Komisji Stratygrafii obniżenia dolnej granicy czwartorzędu do dolnej granicy piętra gelas (2,588 Ma), a dolna granica plejstocenu została obniżona do tego samego poziomu. Dotychczasowa dolna granica czwartorzędu i plejstocenu, wyznaczona przez stratotyp Vrica w południowych Włoszech i datowana astronomicznie na 1,806 Ma, została utrzymana, ale jako dolna granica piętra kalabr, czyli piętra drugiego od dołu w zrekonstruowanym oddziale plejstocen. Nowa dolna granica czwartorzędu odzwierciedla moment kluczowych zmian klimatu Ziemi w pobliżu granicy epok paleomagnetycznych Gauss i Matuyama. Punkt krytyczny tych zmian został przekroczony około 2,7 Ma, kiedy nastąpiła drastyczna przebudowa cyrkulacji oceanicznej, spowodowana ostatecznym zamknięciem przesmyku panamskiego oraz zmniejszeniem zasolenia wód powierzchniowych Oceanu Arktycznego. Sprzyjało to utworzeniu stałej pokrywy lodowej w Arktyce, a wywołany tym wzrost albedo doprowadził do dramatycznej i jak dotąd nieodwracalnej ewolucji Ziemi, zdominowanej od tego czasu przez epokę lodową, z wielokrotnymi transgresjami lądolodów na kontynentach półkuli północnej.

Słowa kluczowe: chronostratygrafia, czwartorzęd, plejstocen, gelas, GSSP.

Abstract. Many years' consequent postulates of Quaternary scientists resulted in a decision of the Executive Committee of the International Union of Geological Sciences (IUGS) to ratify a proposal of the International Commission on Stratigraphy to lower the base of the Quaternary to the lower boundary of the Gelasian stage. Simultaneously, the lower boundary of the Pleistocene has been moved to the same position. The previous lower chronostratigraphic boundary of the Quaternary, represented by the Vrica stratotype in southern Italy, has been hardly recognizable outside the Mediterranean Region and neither biostratigraphic indices nor traces of extreme geological events could be found in this very place. On the other hand, an establishment of the Vrica site as the stratotype for the Neogene/Quaternary boundary (equivalent to the Pliocene/Pleistocene boundary) was a driving force to create the Gelasian as a new and uppermost stage of the Pliocene. The Gelasian filled a hiatus between the upper boundary of the Piacenzian stage at Castell Arquato and the boundary of the so-called Plio-Pleistocene at Vrica. The lower boundary of the Gelasian was defined at 2.588 Ma, close to a boundary of the palaeomagnetic epochs Gauss and Matuyama. The new lower boundary of the Quaternary reflects a principal transformation of the climate on the earth. A critical change occurred at about 2.7 Ma, when a severe reconstruction of the thermohaline circulation took place, caused by a final closure of the Panama Straits and inflow of freshwater to the Arctic Ocean. The latter favoured development of constant ice covers in the Arctic, a higher albedo of which resulted in initiation of the ice ages in the northern hemisphere.

Key words: chronostratigraphy, Quaternary, Pleistocene, Gelasian, GSSP.

WSTĘP

Czwartorzęd to jeden z najstarszych terminów stratygraficznych. Początkowo pojawił się jako koncepcja ogólna (Arduino, 1760), potem został uznany za termin formalny (Desnoyers, 1829) i od tego momentu jest powszechnie

stosowany. Dopiero później pojawiły się terminy plejstocen (Lyell, 1839), neogen (Hörnes, 1853) i holocen. Choć etymologicznie nazwa czwartorzęd może niekiedy budzić pewne obiekcje, to jednak stanowi dowód na to, że

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: leszek.marks@pgi.gov.pl

klasyfikacja stratygraficzna ma charakter dynamiczny i jednocześnie odzwierciedla skomplikowaną drogę swojego rozwoju w przeszłości. Nawiasem mówiąc, podobne zastrzeżenia dotyczące „przestarzałości terminologicznej” mogą budzić również inne podstawowe terminy stratygraficzne jak kreda czy karbon, ponieważ należały one do niegdyś popularnej, ale później zarzuconej klasyfikacji litologicznej (por. Walsh, 2006). Jednak długotrwałość występowania terminu czwartorzęd w globalnej standardowej skali chronostratygraficznej najlepiej świadczy o jego aktualności i przydatności w badaniach geologicznych (Salvador, 2006a, b; Walsh, 2006).

Podstawową jednostką standardowej skali chronostratygraficznej jest piętro, dla którego wyznacza się dolną granicę

(stratotyp granicy), natomiast granicę górną wyznacza stratotyp dolnej granicy piętra nadległego (por. Racki, Narkiewicz, 2006). Piętro ma wymiar globalny i służy do definiowania jednostek wyższej rangi, przy czym niepodważalną zasadą jest układ hierarchiczny podziału chronostratygraficznego.

Ranga stratygraficzna czwartorzędu została ustalona w wyniku wieloletniej dyskusji odbywającej się na forum Międzynarodowej Komisji Stratygrafii (ICS), Międzynarodowej Unii Badań Czwartorzędu (INQUA) oraz Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych (IUGS). Ta ostatnia, w maju 2007 roku ostatecznie zatwierdziła status czwartorzędu jako okresu/systemu następującego po okresie/systemie neogeńskim.

DOLNA GRANICA CZWARTORZĘDU

Dyskusja dotycząca położenia dolnej granicy czwartorzędu toczy się co najmniej od Międzynarodowego Kongresu Geologicznego w Londynie w 1948 r., kiedy tę granicę uważano za równorzędną z granicą trzeciorzęd/czwartorzęd (King, Oakley, 1949) oraz zdecydowano o poszukiwaniu odpowiedniego stanowiska stratotypowego we Włoszech, w którym granica neogen/czwartorzęd mogłaby być zdefiniowana przez pierwsze pojawienie się fauny zimnolubnej w obszarze śródziemnomorskim. W 1974 r. w ramach Międzynarodowego Programu Korelacji Geologicznej rozpoczęto realizację projektu IGCP 41 „Granica pomiędzy neogenem a czwartorzędem”, którego kierownikiem została K.V. Nikiforova. W kolejnych latach Selli i Cati (1977) zaproponowali stanowisko Vrica w Kalabrii (południowe Włochy) jako potencjalny stratotyp dolnej granicy czwartorzędu, w pozycji reprezentującej pierwsze ochłodzenie zaznaczające się we włoskim plio-plejstocenie i odpowiadające stropowi wydarzenia paleomagnetycznego Olduvai, datowanemu astronomicznie na 1,806 Ma. W 1982 r. XI Kongres INQUA w Moskwie zatwierdził położenie granicy neogen/czwartorzęd w stropie subchrony Olduvai, reprezentowanej w stanowisku Vrica w poziomie sapropelu „e”. W 1983 r. stanowisko Vrica zostało w formalnie zaakceptowane przez Międzynarodową Komisję Stratygrafii jako stratotypowe dla granicy neogen/czwartorzęd, równorzędnej z granicą pliocen/plejstocen (Aguirre, Pasini, 1985).

Takie położenie dolnej granicy plejstocenu (a przez to również czwartorzędu) zostało przegłosowane przez Międzynarodową Komisję Stratygrafii, chociaż w tym samym czasie pojawiła się propozycja INQUA, aby ulokować dolną granicę plejstocenu niżej, około 2,6 Ma (por. Bowen, Gibbard, 2007). W kolejnym ruchu w 1996 roku, pozornie „zamykającym” problem, Międzynarodowa Komisja Stratygrafii uznała gelas za nowe piętro pliocenu, a jego dolną granicę ulokowano w poziomie 2,588 Ma i skorelowano z morskim stadium izotopowym tlenu (MIS) 103, w pobliżu granicy epok paleomagnetycznych Matuyama i Gauss (Rio i in., 1998). Wykreowanie go stało się niezbędne, ponieważ

okazało się, że żadne wcześniej wyróżniane piętro pliocenu nie reprezentowało interwału pomiędzy górną granicą piętra piacenz w Castell Arquato i granicą tzw. plio-plejstocenu, czyli dolną granicą piętra kalabr we Vrica.

Granica chronostratygraficzna, reprezentowana przez stratotyp (GSSP) Vrica, jest jednak niemal nierozpoznawalna poza niewielkim obszarem w regionie śródziemnomorskim. Wskazuje na to nie tylko sam fakt jej umiejscowienia w obrębie plio-plejstocenu, ale dodatkowym, słabym punktem przy jej wyznaczeniu jest brak wskaźników biostratygraficznych i śladów znaczących wydarzeń geologicznych w pobliżu. Została ona wyróżniona przede wszystkim dlatego, że zlokalizowano ją w pobliżu górnej granicy epizodu paleomagnetycznego Olduvai, ale i ten ostatni znajduje się *de facto* około 10 m powyżej.

Granica ta jest jeszcze bardziej wątpliwa wskutek braku ciągłego zapisu paleomagnetycznego, szczególnie w osadach lądowych, ale również w osadach morskich wysokich szerokości geograficznych, w których występują jedynie nieliczne mikroskamieniałości węglanowe i nie została wyznaczona stratygrafia izotopowa. Te niedostatki wyjaśniają, dlaczego przez wiele lat dotychczasowa dolna granica czwartorzędu i plejstocenu budziła sprzeciw wielu badaczy (np. Suc i in., 1997; Bowen, Gibbard, 2007). Głosowanie na forum Międzynarodowej Komisji Stratygrafii w styczniu 1999 roku nie pozwoliło na uzyskanie kwalifikowanej większości głosów dla obniżenia dolnej granicy czwartorzędu (Head i in., 2008), a Komitet Wykonawczy Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych podjął decyzję o 10-letnim moratorium na podejmowanie kolejnych prób w tym kierunku.

Dotychczasowe położenie dolnej granicy plejstocenu 1,8 Ma pozostawało również w sprzeczności z ustaleniami wspomnianego wcześniej Międzynarodowego Kongresu Geologicznego w Londynie, kiedy przyjęto, że plejstocen powinien także obejmować regionalne piętro lądowe Villafranchian, którego prawie połowa w istniejącym stanie rzeczy znajdowała się w pliocenie. Okazało się również, że już przed 1,8 Ma w obszarze śródziemnomorskim występowała

zimnolubna fauna (Aguirre, Pasini, 1985), a w ogólności, w sekwencjach włoskiego plio-plejstocenu stwierdzono wcześniejsze i o wiele bardziej znaczące ochłodzenia: już 3,3 Ma, a szczególnie wyraźne w okresie 2,8–2,5 Ma, kiedy nastąpiła gruntowna przebudowa systemu klimatycznego na Ziemi, związana z fundamentalnymi zmianami w oceanach,

atmosferze, na powierzchni Ziemi, a także w biosferze. Dokładnie, środek tego ostatniego ochłodzenia i sekwencję w pobliżu granicy epok magnetycznych Gauss i Matuyama dokumentuje stratotyp (GSSP) Monte San Nicola na Sycylii, wyznaczający dolną granicę piętra gelas.

NOWA PROPOZYCJA GRANICY NEOGEN/CZWARTORZĘD

W związku z powyższym, Międzynarodowa Unia Badań Czwartorzędu (INQUA) i Podkomisja Stratygrafii Czwartorzędu Międzynarodowej Komisji Stratygrafii IUGS wystąpiła z wnioskiem (fig. 1), aby:

1) dolna granica okresu czwartorzęd została obniżona do dolnej granicy piętra gelas (dotychczas najwyższego piętra pliocenu), a więc do spagu stadium izotopowego 103 w osadach głębokomorskich, datowanego astronomicznie na 2,588 Ma;

2) dolna granica oddziału plejstocen została obniżona do dolnej granicy piętra gelas, aby odpowiadać dolnej granicy okresu czwartorzęd;

3) dotychczasowa dolna granica okresu czwartorzęd i oddziału plejstocen, wyznaczana przez stratotyp globalny (GSSP) Vrica i datowana astronomicznie na 1,806 Ma, została utrzymana, ale jako dolna granica piętra kalabr,

czyli piętra drugiego od dołu w zrekonstruowanym oddziale plejstocen.

Stanowisko to wzbudziło oczywiście ostry sprzeciw badaczy neogenu, dlatego sprawa ta była dyskutowana wielokrotnie, także w trakcie Międzynarodowego Kongresu Geologicznego w Oslo w 2008 r., a następnie poddana serii głosowań przez przewodniczących wszystkich podkomisji i prezydium Międzynarodowej Komisji Stratygrafii. W ostatecznym głosowaniu, które zostało zakończone 22 maja 2009 r., propozycja badaczy czwartorzędu uzyskała 16 głosów za (89%), przy 2 głosach przeciwnych (przewodniczący Podkomisji Stratygrafii Neogenu i Podkomisji Stratygrafii Prekambru). Wniosek w sprawie zmiany położenia dolnej granicy czwartorzędu i plejstocenu został 2 czerwca 2009 r. przekazany Komitetowi Wykonawczemu Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych, który go zatwierdził 29 czerwca 2009 r. (Gibbard i in., 2010).

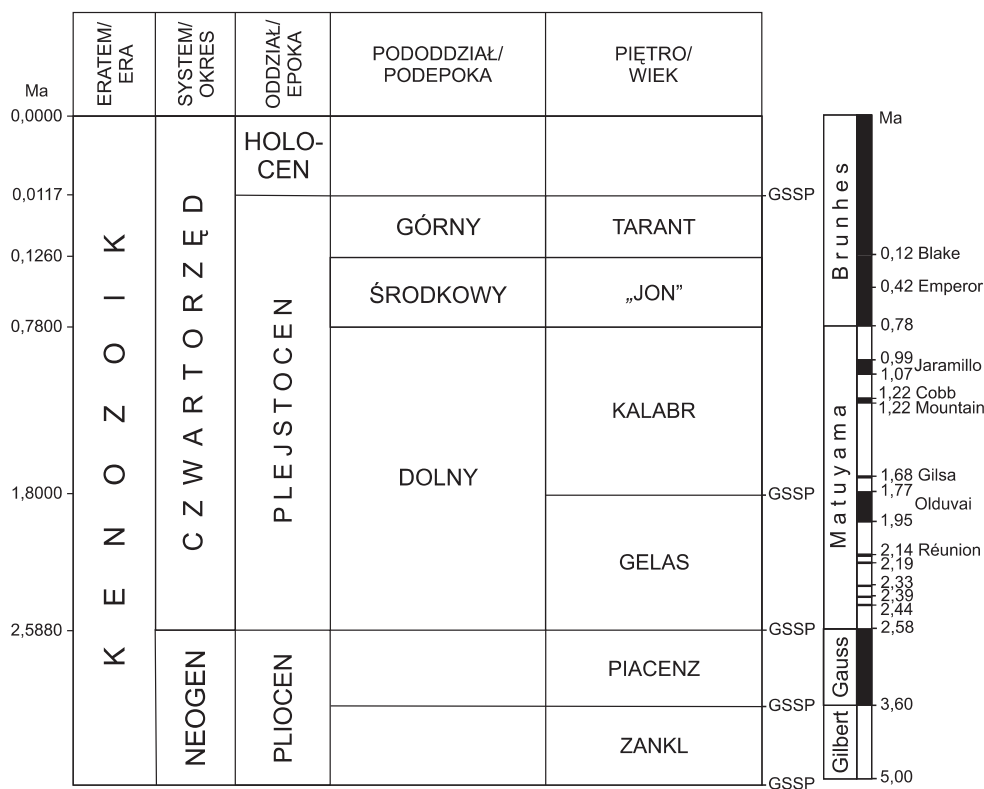


Fig. 1. Aktualny podział czwartorzędu i jego usytuowanie w geologicznej skali czasu oraz korelacja ze skalą magnetostratygraficzną; pokazano położenie globalnych profili stratotypowych (GSSP)

Present stratigraphic subdivision of the Quaternary, its setting in a geological chart and correlation with magnetostratigraphy; indicated is location of Global Stratotype Sections and Points (GSSP)

PODSUMOWANIE

Nowa dolna granica czwartorzędu odzwierciedla moment kluczowych zmian klimatu Ziemi. Należy do nich początek pierwszego, szeroko rozprzestrzenionego zlodowacenia kontynentalnego Grenlandii, Skandynawii i Ameryki Północnej około 2,72 Ma (Bartoli i in., 2005) oraz pierwsze nagromadzenie materiału eratycznego zdeponowanego z gór lodowych w osadach głębokomorskich północnego Atlantyku i północno-zachodniego Pacyfiku. Nieco wcześniej zaznaczyło się na szelfach kontynentalnych globalne eustatyczne obniżenie poziomu morza (o 45 m w okresie 2,93–2,81 Ma i o kolejne 45 m około 2,72 Ma (stadium izotopów tlenu MIS 110), spowodowane powstawaniem i rozwojem kontynentalnych pokryw lodowych. W południowo-wschodniej Azji, wskutek wzmocnienia monsunów zimowych i osłabienia letnich, została zapoczątkowana depozycja lessów w północnych Chinach około 2,6 Ma. Nastąpiły istotne zmiany w biosferze, w tym w ewolucji dwunożnych osobników czelakosształtnych, w szczególności pojawienie się gatunków z rodzaju *Homo* pomiędzy 2,6 a 2,45 Ma, prawdopodobnie stymulowane przez drastyczne zmiany klimatyczne w tym czasie (Deino i in., 2006; Prat,

2007). Ponadto nowa dolna granica czwartorzędu jest zgodna z granicą epok paleomagnetycznych Gauss i Matuyama.

Punkt krytyczny zmian globalnych został przekroczony około 2,7 Ma, kiedy nastąpiła drastyczna przebudowa termohalinowej cyrkulacji oceanicznej, spowodowana ostatecznym zamknięciem przesmyku panamskiego wskutek przemieszczania płyt kontynentalnych (Kameo, Sato, 2000) oraz zmniejszenie zasolenia wód powierzchniowych Oceanu Arktycznego spowodowane zwiększonym dopływem wód rzecznych. Sprzyjało to utworzeniu stałej pokrywy lodowej w Arktyce, a wywołany tym wzrost albedo doprowadził do dramatycznej i jak dotąd nieodwracalnej ewolucji Ziemi, zdominowanej od tego czasu przez epokę lodową, z wielokrotnymi transgresjami lądolodów na kontynentach półkuli północnej.

Umieszczenie dolnej granicy czwartorzędu (i plejstocenu) zgodnie z dolną granicą gelasu ułatwia jej identyfikację w profilach geologicznych na całym świecie, zarówno w osadach lądowych, jak i morskich. Ma to więc istotne znaczenie praktyczne, w szczególności w trakcie terenowych prac geologicznych, w tym kartograficznych.

LITERATURA

- AGUIRRE E., PASINI G., 1985 — The Pliocene – Pleistocene boundary. *Episodes*, **8**, 2: 116–120.
- ARDUINO G., 1760 — Sopra varie sue Osservzioni fatte in diverse parti del Territorio di Vicenza, ed altrove, appartenenti alla Teoria Terrestre, ed alla Mineralogia. List do Prof. Antonio Vallisneri z 30. marca 1759 roku. *Nuova Raccolta di Opuscoli Scientifici e Filologici (Venice)*, **6**.
- BARTOLI G., SARNTHEIN M., WEINELT M., ERLLENKEUSER H., GARBE-SCHÖNBERG D., LEA D.W., 2005 — Final closure of Panama and the onset of northern hemisphere glaciation: *Earth Planet. Sci. Lett.*, **237**: 33–44.
- BOWEN D.Q., GIBBARD P.L., 2007 — The Quaternary is here to stay. *J. Quat. Sci.*, **22**, 1: 3–8.
- DEINO A.L., KINGSTON J.D., GLEN J.M., EDGAR R.K., HILL A., 2006 — Precessional forcing of lacustrine sedimentation in the late Cenozoic Chemeron Basin, Central Kenya Rift, and calibration of the Gauss/Matuyama boundary. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **247**: 41–60.
- DESNOYERS J., 1829 — Observations sur un ensemble de dépôts marins plus récents que les terrains tertiaires du bassin de la Seine, et constituant une formation géologique distincte: précédées d'un aperçu de la nonsimultanéité de bassins tertiaires. *Annales scientifiques naturelles*, **16**: 171–214, 402–419.
- GIBBARD P.L., HEAD J.M., WALKER J.C., ALLOWAY B., BEU A.G., COLTORTI M., HALL V.M., LIU J., KNUDSEN K.L., KOLFSCHOTEN VAN T., LITT T., MARKS L., MCMANUS J., PARTRIDGE T.C., PIOTROWSKI J.A., PILLANS B., ROUSSEAU D.-D., SUC P., TESAKOV A.S., TURNER C., ZAZO C., 2010 — Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *J. Quatern. Sci.*, **25**, 2: 96–102.
- HEAD M.J., GIBBARD P., SALVADOR A., 2008 — The Quaternary: its character and definition. *Episodes*, **31**, 2: 234–238.
- HÖRNES M., 1853 — Mittheilungen an Professor Bronn gerichtet. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, Geognosie und Petrefaktenkunde*, **1853**: 806–810.
- KAMEO K., SATO T., 2000 — Biogeography of Neogene calcareous nannofossils in the Caribbean and eastern equatorial Pacific – floral response to the emergence of the Isthmus of Panama. *Mar. Micropaleontol.*, **39**: 201–218.
- KING W.B.R., OAKLEY K.P., 1949 — Definition of the Pliocene-Pleistocene boundary. *Nature*, **163**: 186–187.
- LYELL C., 1839 — On the relative ages of the Tertiary deposits commonly called „Crag”, in the counties of Norfolk and Suffolk. *Magazine of Natural History (new series)*, **3**: 313–330.
- PRAT S., 2007 — The Quaternary boundary: 1.8 or 2.6 millions years old? Contributions of early Homo. *Quaternaire*, **18**: 99–107.
- RACKI G., NARKIEWICZ M., 2006 — Polskie zasady stratygrafii. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RIO D., SPROVIERI R., CASTRADORI D., DI STEFANO E., 1998 — The Gelasian Stage Upper Pliocene: a new unit of the global standard chronostratigraphic scale. *Episodes*, **21**: 82–87.
- SALVADOR A., 2006a — The Tertiary and the Quaternary are here to stay. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **90**: 21–30.
- SALVADOR A., 2006b — A stable Cenozoic geologic time scale is indispensable. *Episodes*, **29**: 43–45.
- SELLI R., CATI F., red., 1977 — Proceedings of the 2nd Symposium on the Neogene-Quaternary boundary. *Giorn. Geol.*, **41**: 1–459.

- SUC J.-P., BERTINI A., LEROY S.A.G., SUBALLYOVA D., 1997 — Towards the lowering of the Pliocene/Pleistocene boundary to the Gauss-Matuyama reversal. *Quat. Internat.*, **40**: 37–42.
- WALSH S.L., 2006 — Hierarchical subdivision of the Cenozoic Era: A venerable solution, and a critique of current proposals. *Earth Sci. Rev.*, **78**: 207–237.

SUMMARY

Many years' consequent pressure of Quaternary scientists resulted in a decision of the Executive Committee of the International Union of Geological Sciences (IUGS) to ratify a proposal of the International Commission on Stratigraphy to lower the base of the Quaternary to the lower boundary of the Gelasian stage, included so far in the Pliocene. Simultaneously, the lower boundary of the Pleistocene has been moved to the same position. The previous lower boundary of the Quaternary and the Pleistocene, defined in 1983 in a stratotype section at Vrica in southern Italy and astronomically dated at 1.806 Ma, has been retained but it acts now as the lower boundary of the Calabrian stage that is the second one from the bottom in the just reconstructed Pleistocene series.

The previous lower chronostratigraphic boundary of the Quaternary, represented by the Vrica stratotype, was hardly recognizable outside the Mediterranean Region, the more so that neither biostratigraphic indices nor traces of extreme geological events could be noted around. An establishment of the Vrica site as the stratotype for the Neogene/Quaternary boundary (equivalent to the Pliocene/Pleistocene

boundary) forced, however, to create the Gelasian as a new stage in the Pliocene. In this way, a hiatus between the upper boundary of the Piacenzian stage at Castell Arquato and the boundary of the so-called Plio-Pleistocene at Vrica could be filled. The lower boundary of the Gelasian was defined at 2.588 Ma, close to a boundary of the palaeomagnetic epochs Gauss and Matuyama.

The new lower boundary of the Quaternary reflects a principal transformation of the climate in the earth, close to a boundary of palaeomagnetic epochs Gauss and Matuyama. A critical change occurred at about 2.7 Ma, when a severe reconstruction of the ocean circulation took place, caused by final closure of the Panama Straits and lower salinity of surface waters in the Arctic Ocean. It favoured development of a perennial ice cover in the Arctic, a higher albedo of which resulted in immense ice ages in the northern hemisphere.

The setting of the lower boundary of the Quaternary (and the Pleistocene) enables its identification in geological sections around the world, both inland and in marine sequences. It is therefore extremely important during geological fieldworks and, especially, in geological mapping.

