

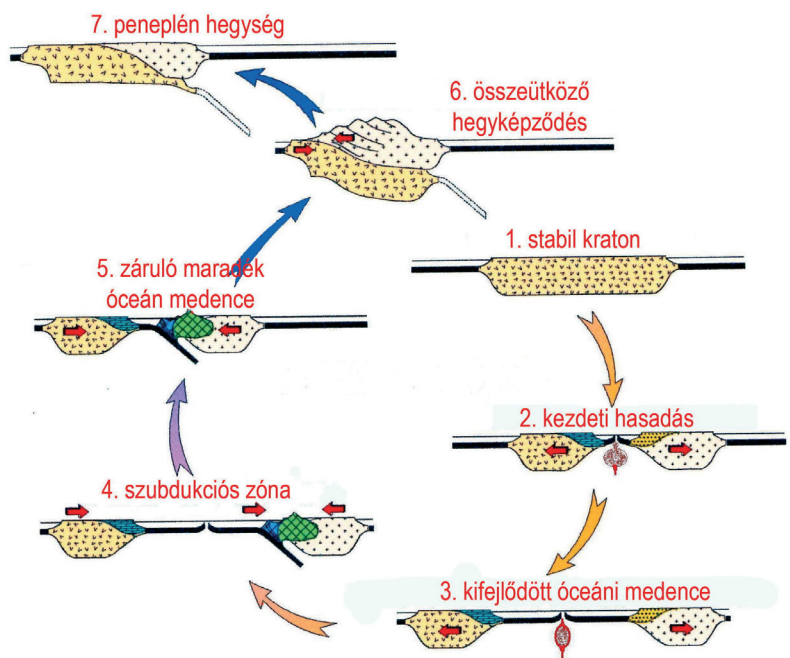
K. SZÚCS FERENC

Egy ősi kőzet keletkezése

„Mélységes mély a múltnak kútja”

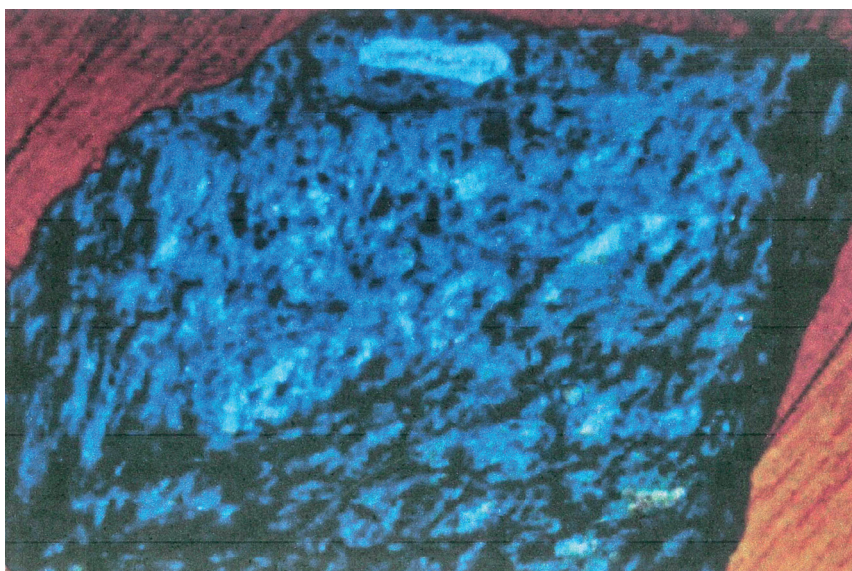
Az első képünkön látható kőzet az Egyesült Államokból, Észak-Karolinából származik, az Appalache-hegységből, azon belül is a Blue Ridge-ből. A Blue Ridge kőzetanilag gránit-gneisz felépítésű. A gránit nagy mélységben a magmából kikristályosodott ún. plutoni kőzet, mely főleg alkáli földpátból, kvarcból és kevés színes ásványból tevődik össze. A gneisz szemcsés vagy lemezes ásványokból áll, melyek váltakozó rétegekben helyezkednek el. A réteges szövet azt mutatja, hogy az eredeti gránit utólag tektonikai nyomásnak és hőmérsékletnek volt kitéve (1. ábra). Ennél a kőzetnél a réteges szövet csak halványan látható. A kőzet történetét ma már nagy vonalakban meg tudjuk határozni. A történet viszont nemcsak hosszú, hanem tektonikailag is bonyolult, amit a geológiai elméletek sok éves fejlődése előzte.

„Eppur si muove” – mégis mozog – állította Galilei a Föld bolygóról, vagyis hogy nem egy statikus tömeg, hanem ciklikus mozgásban van. Ugyanez vonatkozik a Föld nagyobb egységeire, a kontinensekre, a hegységekre és vetődésekre, habár e mozgások csak milliméteres évenkénti sebességűek. (Más persze a helyzet a vul-

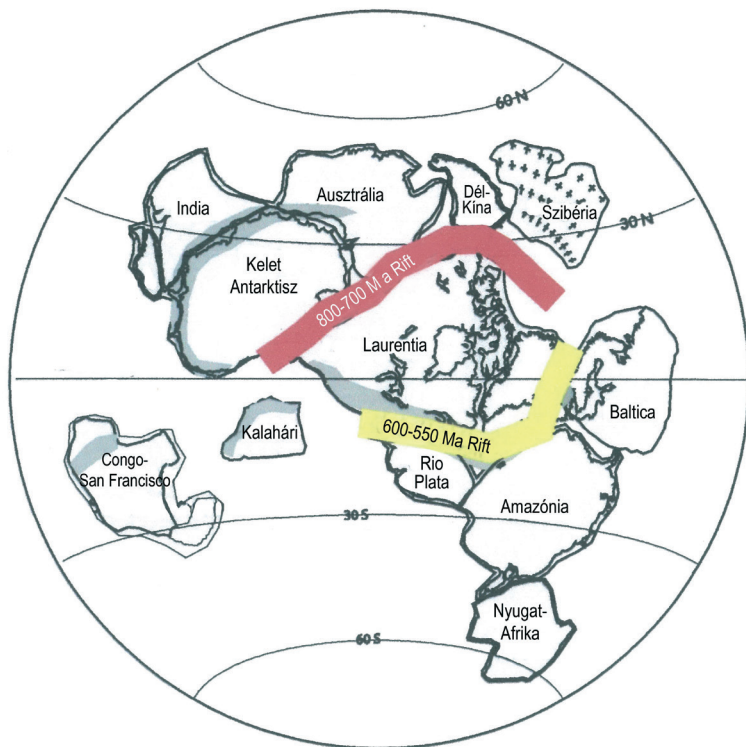


2. ábra. Egyszerű Wilson-ciklus

1. ábra. A Toxaway Gneisz Formáció egyik kőzetmintája



kánkitörések és a földrengések esetében.) Ezt a mozgást nevezte *Alfred Wegener* német kutató 1915-ben a *kontinensek vándorlásának*. A későbbi újabb felismerések megalapozták a *lemeztektonika elméletét*, ami a geológiában ahhoz hasonlítható, mint a fizikában a relativitáselmélet. Ez a geológiai elmélet kimutatja, hogy a litoszféra (a Föld külső burka) több darabból (kőzetlemezéből) áll, melyek a litoszféra alatti képlékeny asztenoszférán „úsznak” és egymásra hatással vannak. Ez az egységesítő elmélet a Föld különböző deformációival és az azokat létrehozó erőkkel foglalkozik. Továbbá tanulmányozza a kőzetlemezek közötti kölcsönhatásokat, melyek három formában nyilvánulnak meg: (1) *divergens* (táguló) lemezhatár, ahol új litoszféra keletkezik, (2) *konvergens* (összetartó) lemezhatár vagy *szubdukció*, ahol a litoszféra lemerül, alábukik a földképenybe, és (3) *transzform vetődés*, ahol két lemez egymás mellett csúszik.



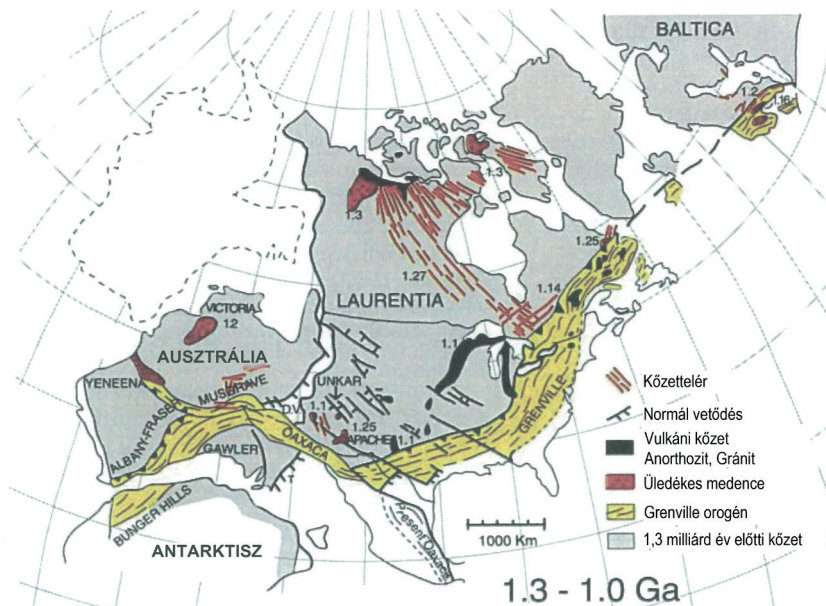
3. ábra. Tradicionális Rodinia-modell (Torsvik et al., 1996)

A transzform vetőket J. Tuzo Wilson kanadai geológus fedezte fel a Hawaii-szigetek tanulmányozása során. Ez a mozgás megmagyarázza az óceáni hegláncokra merőleges eltolódásokat. Ugyancsak Wilson nevéhez fűződik az óceán medencék kinyílásának és bezárásának a ciklikus elmélete, melynek az itt bemutatott gránit-gneisz kőzet is részese volt. A Pangea szuperkontinensről, mely kb. 300 millió évvel ezelőtt jött létre, az ekkortájt tömörültek együvé a kisebb kontinensek és szigetek, elég sokat tudunk. Viszont a tanulmányozás alatt álló gránit-gneisz kőzet, mint látni fogjuk, kb. 1,2 milliárd éves, tehát keletkezése jóval megelőzi a Pangea szuperkontinens létrejöttét.

A Wilson-ciklus szerint (2. ábra) a szuperkontinensek összetömrülnek, majd szétválnak, ismét egy tömegbe egyesülnek és a ciklus folytatódik.

A Pangea előtt több szuperkontinens létezett a földtörténet folyamán. Szuperkontinensnek nevezünk egy hatalmas földtömeget, amely több kontinensmagból, azaz *kratonból* áll. Eddig 6 szuperkontinentet tanulmányoztak a geológusok: Vaalbara, Ur, Kenorland, Columbia és Rodinia, majd a Pangea. A Pangea előtti szuperkontinensről, a Rodiniáról (3. ábra) már meglehetősen biztonságosan állíthatjuk, hogy 1,25 milliárd év körül kezdett összeállni és felbomlása körül-

belül 750 millió évvel ezelőtt kezdődött. Az 1. ábrán látható gránit-gneisz a Rodinia idejéből való.



Karlstrom, K.E. et al., 1999

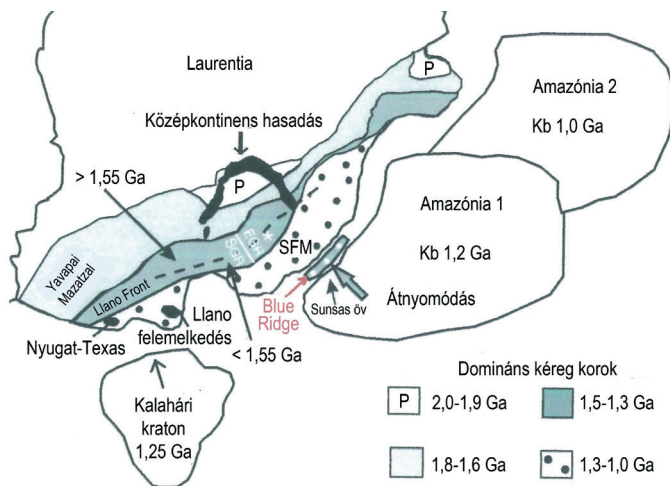
4. ábra. A Grenville orogén kiterjedése

A Rodinia név az orosz születés szóból származik. Úgy tűnik, hogy az északi félgömbön a szuperkontinens mag-

vát Laurentia (Észak-Amerika keleti része) képezte Ausztráliával és Kelet-Antarktisszal a nyugati, míg Baltikával és Amazóniával a keleti oldalon. A Rodinia sajátossága, hogy a szuperkontinens központja az Egyenlítőhöz közel helyezkedett el. A Rodinia szuperkontinens felbomlása egy felhasadással kezdődött (sárga szín a 3. ábrán) Észak-Amerika keleti részén 600–550 millió évvel ezelőtt, de az nem fejlődött ki és csak az árkokban öszszegyűlt törmelékekről és vulkáni kőzetekről tudunk róla. Egy második repedés (piros szín a 3. ábrán) kezdődött kb. 800–700 millió évvel ezelőtt Észak-Amerika nyugati oldalán, amely a Panthalassa-óceán (ős-Csendes-óceán) kifejlődéséhez vezetett. A szétválásokkal egyidejűleg a szuperkontinens darabjai – melyeket ma kontinensként ismerünk – hosszas vándorlásokon mentek keresztül. Például, Ausztrália és az Antarktis ma a déli féltekén található.

A Grenville orogén (hegyképző) ciklus egy az egész világot érintő esemény volt. A 4. ábra mutatja a Grenville övezetet, mely a kelet-európai kratontól (Baltica) Skócián, Kanadán, a mai Egyesült Államok keleti részén, Mexikón és Ausztrálián keresztül egészen az Antarktiszig terjed. A Grenville orogén darabjai megtalálhatók az összes jelenlegi kontinensen és a Rodinia szuperkontinens maradványainak tekinthetők. Viszont nem minden esetben bukkannak elő a föld felszínén.

A legtöbb kutató szerint Laurentia öszszütközéseinek is ki volt téve (5. ábra). Pontosabban Kelet-Laurentia öszszütközéseinek is ki volt téve (5. ábra).



5. ábra. Laurentia és Amazónia összeütközése (módosítva McLelland et al. után)

között Nyugat-Amazóniával. Az Amazónia kontinens Brazília ősi magvát képezte. Paleomágneses kutatások eredményei megerősítik az összeütközési teóriát. Feltehetőleg az összeütközés és a Blue Ridge hegyképződés 1,3 milliárd évvel ezelőtt kezdődött és 1,0 milliárd év körül fejeződött be. Tehát a szóban forgó kőzet (Toxaway Gneisz) ebben a ciklusban alakult ki mint gránit. Ez a képződmény Dél-Karolina és Észak-Karolina határvonalán fekszik a Déli-Blue Ridge Provincia keleti területén. Ez a formáció a Grenville orogén letarolt kőzetmaradványa.

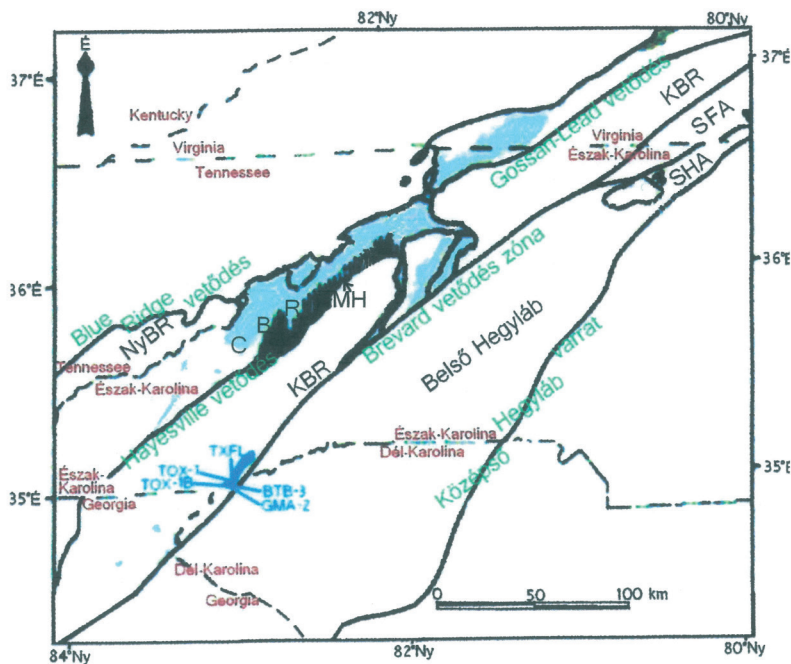
Az utóbbi években kifejlesztett nagy felbontóképességű ion mikroszkopos mérő (sensitive high-resolution ion microprobe = SHRIMP) nagyban elősegíti a Grenville Provincia tektonikai evolúciójának kutatását. A mérő használata előtt a kőzetet összetörik és olyan ásványt választanak ki, amiből ritkán távozik el az U, Th és Pb és nagyon sokféle kőzetben fordul elő. A cirkon ($ZrSiO_4$) felel meg leginkább ezeknek a követelményeknek, de néha használnak apatitot is (kalcium-foszfát). Az U és Th koncentrációja a cirkonban 560 és 1330 ppm között változik. A kiválasztott ásványt kézzel összeszedik és ismert izotóposztételű standarddal felragasztják epoxira, majd egyenként csiszolják és bevonják egy vezetőképes anyaggal (arany vagy alumínium), hogy elkerüljék az elektromos töltés felhalmozódását. Ezután kezdődik az analízis. A SHRIMP egy speciális tömegspektrográf. Oxigén- vagy cézium-ion-sugarat fókuszálnak a kőzetminta kicsiny, 10–30 mikrométer nagyságú kiválasztott pontjaira. A fröcskölt anyag egy része ionizálódik, a másodlagos ionokat pedig átírányítják a tömegspektrográfra.

A másodlagos ionsugarak egy elektrostatikus elemzőn mennek át, majd egy mágneses analizátor elválasztja őket mo-

műszer létezik a világon (Ausztráliában, Kínában, Oroszországban, az USA-ban és az Európai Unióban).

Carrigan (et al. 2003) használta eredményesen a Stanford Egyetem–USGS (az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat) által üzemeltetett ion-mikroszkopos mérőt a Déli-Appalache alapkőzeteinek az U-Pb analízisére. Ez a mérő egy ellenkező geometriájú (RG) SHRIMP (a mágneses az elektrostatikus elemző előtt van). Carrigan és társai analizálták a 6. ábrán feltüntetett Toxaway Dóm öt helyén gyűjtött Toxaway Gneisz kőzetmintákat (TOX-1 és TOX-1B = $35^{\circ} 00'26''E$, $83^{\circ} 04'29''N$; GMA-2 = $35^{\circ} 00'4''E$, $82^{\circ} 59'6''N$; BTB-3 = $35^{\circ} 00'4''E$, $82^{\circ} 59'6''N$; TXFL = $35^{\circ} 07'2''E$, $82^{\circ} 55'5''N$.)

A két uránizotóp és a tórium ólom-má való felbomlása három geológiai kort eredményez. Amikor az ásvány bezárva tartja az urániumot, a tóriumot és az összes izotópszármazékait, és amikor a kristályosodáskor bent maradt ólom mennyiségét korrigáljuk, a három geokronométer egyező (konkordáns) időkort mutat.



6. ábra. A Dél-Appalache általános tektonikai ábrázolása a Toxaway Gneisz kőzetminta gyűjtési helyek jelölésével, világoskék színnel Dél-Karolina és Észak-Karolina államok határvonalán. Toxaway gyűjtőhelyek: TOX-1, TOX-1B, TXFL, BTB-3, GMA-2. a világoskék árnyékolás kibukkanó alapkőzetet jelez. A függőleges vonalak a Mars Hill terrént mutatják. NyBR – Nyugati-Blue Ridge; CBR – Középső-Blue Ridge; KBR – Keleti Blue Ridge; MH – Mars Hill terrén; SHA – Sauratown-hegységáblak; SFA – Smith Folyó Allochton (Carrigan et al. után módosítva, 2001)

mentumuk (tömeg x sebesség) és sebességük szerint. Végül egy számláló készülék megállapítja az ionok fajtáját és mennyiségét. Jelenleg húsznál kevesebb ilyen

Az 1. ábra a TXFL-2 Toxaway Gneisz kőzetmintát ábrázolja, amit a szerző Észak-Karolinában a Toxaway-tó vízésésénél gyűjtött. A Toxaway Gneisz 1203 \pm 54 millió

éves, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ kormeghatározás alapján (Fullagar et al., 1979). Carrigan és társai szerint (2003) ugyanezen a ponton gyűjtött kőzet ($35^{\circ}07,2\text{E}$, $82^{\circ}55,5\text{Ny}$) SHRIMP radioaktív kormeghatározás szerint 1149 ± 32 millió éves magmás korú, illetve 1028 ± 14 millió éves metamorf korú. A 7. ábra mutatja a pontos helyet a Toxaway vízesésével és a gneiszkibukkanással. Az 1. ábrán látható kőzet szintén a fenti koordináta-ponttól származik és feltehetőleg hasonló SHRIMP-korú, habár ez a kőzetminta nem volt analizálva. Az egész-kőzet $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ és a SHRIMP ($^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ konkordia vagy $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$)



7. ábra. A Toxaway vízesésének és a kibukkanó gneisznek a helyszíne

kor közötti különbség a különböző analitikus módszer és a műszer (tömegspektrográf vs. SHRIMP) használatának tulajdonítható. A SHRIMP-kor tekinthető a valódi kor legjobb megközelítésének.

A Toxaway Gneisz kristályosodási kora tehát 1,15 milliárd év. Ez az időszak beleillik a Blue Ridge létezésének a korhatárába, ami 1,2–1,0 milliárd év. Mint tudjuk, a Blue Ridge a Grenville-hegységképződés (1,3–1,0 milliárd éves időszak) egyik része. Vannak bizonyítékai arra is, hogy a Blue Ridge orogenezis Laurentia és Amazónia kontinensek összeütközésének az eredménye. A Grenville-orogenezis pedig a Rodinia szuperkontinensen történt 1,25 milliárd és 750 millió éves időszak folyamán a proterozoikum idején, ami 2,5 milliárd évtől 540 millió évig tartott és három érára osztható: paleoproterozoikum (2,5–1,6 milliárd év), középproterozoikum (1,6–1,0 milliárd év) és új-proterozoikum (1,0 milliárd évtől 540 millió évig). Tehát, a Rodinia szuperkontinens (1,25 milliárd–750 millió

év) a közép-proterozoikum (1,6–1,0 milliárd év) és részben az új-proterozoikum (1,0 milliárd–540 millió év) idején létezett. Az 1,15 milliárd éves Toxaway Gneisz ezért a közép-proterozoikumban kristályosodott mint gránit, ami később metamorfózison ment keresztül, és ma is megtalálható a Blue Ridge hegyvonulatában mint gránit-gneisz.

A Toxaway Gneisz SHRIMP metamorf kora 1,03 milliárd év (McLelland et al., szerint, 2001). A Grenville Provincia regionális metamorfózison ment keresztül két szakaszban (kb. 1190–1150 Ma és kb.

(Clemson Egyetem) a kőzetminták megvitatásáért. Baráti köszönet Szörényi János professzornak a Nyugat-ausztráliai Egyetem SHRIMP laboratóriumának a bemutatásáért.

Irodalom

- Bream, B., R., Hatcher Jr., R., D., Miller, C., F., Fullagar, P., D., 2004. Detrital zircon ages and Nd isotopic data from southern Appalachian crystalline core, Georgia, South Carolina, North Carolina, and Tennessee: New provenance constraints for part of the Laurentian margin. Geological Society of America Memoir 197.
- Carrigan, C. W., Miller, C. F., Fullagar, P. D., Bream, B. R., Hatcher, Jr., R. D., and Coath, C. D., 2003. Ion microprobe age and geochemistry of southern appalachian basement, with implications for Proterozoic and Paleozoic reconstructions. Precambrian Research 120, 1-36.
- Fullagar, R., D., Hatcher, R., R. D., and Merschat, C., E., 1979. 1200 m. y.-old gneisses in the Blue Ridge Province of North and South Carolina. Southeastern Geology 20, 69-77.
- Hatcher, R. D. Jr., Bream, B., R., Miller, C., Eckert, J., O. Jr., and Carrigan, C., W., 2002. Structure of Southern Appalachian Blue Ridge internal massifs of Grenvillian basement, GSA NC 36th and SE 51st Joint Annual Mtg.
- Hatcher, R. D. Jr. and Merschat, A. J. Editors, 2005. Blue Ridge Geology Geotraverse, east of the Great Smoky Mountains National Park, Western North Carolina, Carolina Geological Society Annual Field Trip 2005.
- Karlstrom, K. E., Harlan, S. S., Williams, M. L., McLelland, J. M., Geissman, J. W., and Ahall, K. I., 1999. Refining Rodinia: Geologic evidence for the Australia-U.S. connection for the Proterozoic: GSA Today, v. 9, no. 10, p. 1-7.
- McLelland, J., Hamilton, M., Selleck, B., Walker, D., és Orrell, S., 2001. Zircon U-Pb geochronology of the Ottawan orogeny, Adirondack highlands, New York: regional and tectonic implications. Precambrian Research 109, 39-72.
- Torsvik, T.H., Smethurst, M.A., Meert, J.G., Van der Voo, R., McKerrow, W.S., Sturt, B.A., Brasier, M.D., and Walderhaug, H.J., 1996. Continental breakup and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic – a tale of Baltica and Laurentia. Earth Sci. Rev. 40, 229–258).
- Warner, R., Poterala, S., and Fleisher, C. 2008. A note on uranium minerals from the Spruce Pine area, North Carolina, Carolina Geological Society 2008 Fieldtrip and Annual Meeting, Little Switzerland, N.C.
- Wilson, J. T., 1966. Did the Atlantic close and then re-open? Nature, 211 (5050), 676-681.