

М. М. Буслов¹✉, Ю. А. Бишаев¹, А. В. Травин¹, С. Ф. Голицина¹

Тектоническая эволюция Сибирского кратона и складчатого обрамления в мезозой и ее влияние на формирование Западно-Сибирского бассейна

¹Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: buslov@igm.nsc.ru

Аннотация. В статье на основе результатов термохронологического анализа пород Сибирского кратона и его южного и северо-восточного складчатого обрамления, поднятий и горных сооружений западного и южного обрамления Западно-Сибирского бассейна и U-Pb датирования детритовых цирконов его осадочного выполнения предложена методическая основа для палеогеографических и палеогеодинамических реконструкций Северной Евразии в мезозое. Показана взаимосвязь формирования Западно-Сибирского бассейна с тектонической эволюцией Сибирского кратона и его складчатого обрамления.

Ключевые слова: Сибирский кратон, Монголо-Охотский и Верхоянский коллизионные орогенные пояса, Западно-Сибирский бассейн, тектонотермальный анализ, U-Pb датирование детритовых цирконов

M. M. Buslov¹✉, Yu. A. Bishaev¹, A. V. Travin¹, S. F. Golitsina¹

Tectonic evolution of the Siberian craton and its folded framework in the mesozoic and its influence on the formation of the West Siberian sedimentary basin

¹Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,
¹Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: buslov@igm.nsc.ru

Abstract. This article, based on the results of thermochronological analysis of rocks from the Siberian Craton and its southern and northeastern folded margins, uplifts and mountain structures in the western and southern margins of the West Siberian Basin, and U-Pb dating of detrital zircons from its sedimentary fill, proposes a methodological framework for paleogeographic and paleogeodynamic reconstructions of Northern Eurasia in the Mesozoic. The relationship between the formation of the West Siberian sedimentary basin and the tectonic evolution of the Siberian Craton and its folded margins is demonstrated.

Keywords: Siberian Craton, Mongol-Okhotsk and Verkhoyansk collisional orogenic belts, West Siberian Basin, teconothermal analysis, U-Pb dating of detrital zircons

Введение

Юго-восточная окраина Евразии образовались в мезозое в результате проявления процессов субдукции, приведших к формированию активных континентальных окраин, аккреций островных дуг и коллизий континентальных блоков. Монголо-Охотский (МООП) (рис.1) коллизионные орогенные пояса являются

ярким примером мезозойского континентального роста Евразии по обрамлению Сибирского кратона [1-4].

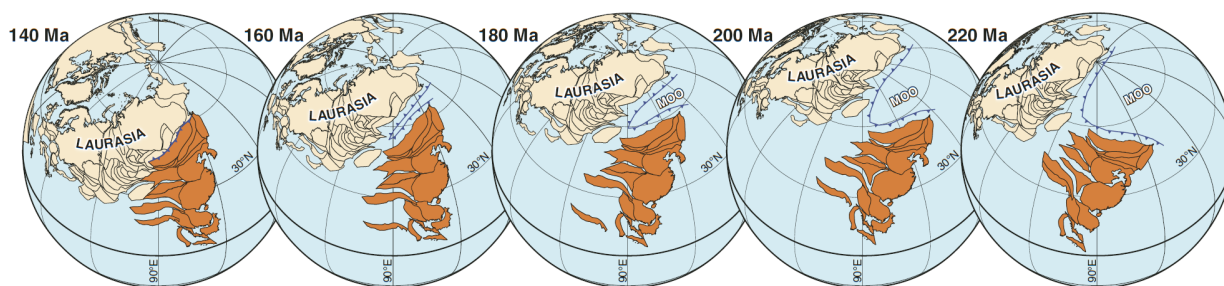


Рис. 1. Палеогеодинамические реконструкции коллизии Северо-Китайского континента и Евразии [4].

Цель настоящей статьи: на основе результатов термохронологического анализа пород Сибирского кратона и его южного и северо-восточного складчатого обрамления, поднятий и горных сооружений западного и южного обрамления Западно-Сибирского бассейна и U-Pb датирования детритовых цирконов его осадочного выполнения создать методическую основу для палеогеографических и палеогеодинамических реконструкций Северной Евразии и показать взаимосвязи формирования Западно-Сибирского бассейна с тектонической эволюцией Сибирского кратона и его складчатого обрамления в мезозой.

Методы и материалы

Для решения проблем палеогеографической и палеогеодинамической эволюции осадочных бассейнов и орогенов в мировой практике используются U-Pb датирование детритовых цирконов осадочного выполнения и термохронологический анализ горных поднятий [5, и ссылки в ней]. Путем корреляции геохронологических, стратиграфических и литологических данных по осадочным бассейнам с данными термохронологического анализа пород их горного обрамления (питающих провинций) можно уверенно выявлять пути рассеивания осадочного материала, определять области их сноса и объемы осадочного материала (коллекторов), поступающего в бассейн седиментации в различные промежутки времени. Полученные распределения возрастов детритовых цирконов сравниваются с возрастами пород горных обрамлений из предполагаемых питающих провинций. Корреляция данных трекового датирования горообразования с данными сравнительного анализа геохронологии цирконов осадочных бассейнов и их горного обрамления позволяют создать методическую основу построения качественных палеогеографических и палеогеодинамических реконструкций в эволюции осадочных бассейнов и орогенов.

В определение возраста и интенсивности роста горных поднятий широко используется термохронологический анализ, который реконструируется термическую историю геологического объекта на результатах мультиминерального

датирования [6]. Изотопные системы в различных минералах характеризуются разными значениями температуры закрытия. Температуры закрытия U-Pb системы в цирконе около 900°C, закрытия K/Ar изотопной системы в амфиболе находится около 550°C, в мусковите в диапазоне 340-360°C, в биотите в диапазоне 330-350°C, полевых шпатах в диапазоне 240-220°C. Таким образом, Ar/Ar датировки по перечисленным минералам будут фиксировать подъем исследуемой породы с глубин от 10-15 км до 7-8 км. Эффективная температура закрытия трековой системы апатита оценена как 110-120 °C. Метод трекового датирования апатита (AFT) применяется для реконструкции термической истории пород верхних частей континентальной коры (3-5 км) за период до нескольких сотен миллионов лет. Термическая история пород просчитывается компьютерной программой с построением графиков, отображающих тренд изменения температурного режима породы во времени (t-T). Принимая за основу градиент изменения температур с глубиной (25-30°/км), по полученному t-T-тренду можно оценить мощность и скорость денудации. Пологое поведение линии t-T-тренда интерпретируется как период тектонической стабилизации в регионе с формированием пенеплена. Значения наклона линии указывают на скорость и интенсивность денудации, что может рассматриваться как степень тектонической активизации в регионе, выраженной в росте горных поднятий [7].

Результаты

Датирование пород различных регионов северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса методом трекового анализа апатитов (AFT) свидетельствуют [8-11 и др.] о крупных мезозойских поднятиях рельефа в поздней юре-мелу (~160-70 млн. лет). Эти поднятия возникли как результат проявления обширного МООП (рис.2), сформированного при закрытии одноименного океанического бассейна и последующей коллизии Северо-Китайского континента (Амурского супертеррейна) с Сибирским кратоном. Восточное звено орогена (Прибайкалье, Забайкалье, Восточная Монголия и Северный Китай), расположенное в зоне фронтального столкновения Северо-Китайского континента с Сибирским кратоном, претерпело преимущественно складчато-надвиговые деформации. На южных окраинах кратона были сформированы Байкало-Патомская и др. складчато-надвиговые структуры, а в Западном Забайкалье – высокогорная область [12,13], коллизионные граниты и комплексы разрушения орогена: метаморфические ядра и молассы [14,15]. В западном звене, на обширной территории Казахстана, Северного Китая, Монголии, Алтае-Саянской области в результате проявления сдвигово-надвиговых деформаций была образована внутриконтинентальная низкогорная область.

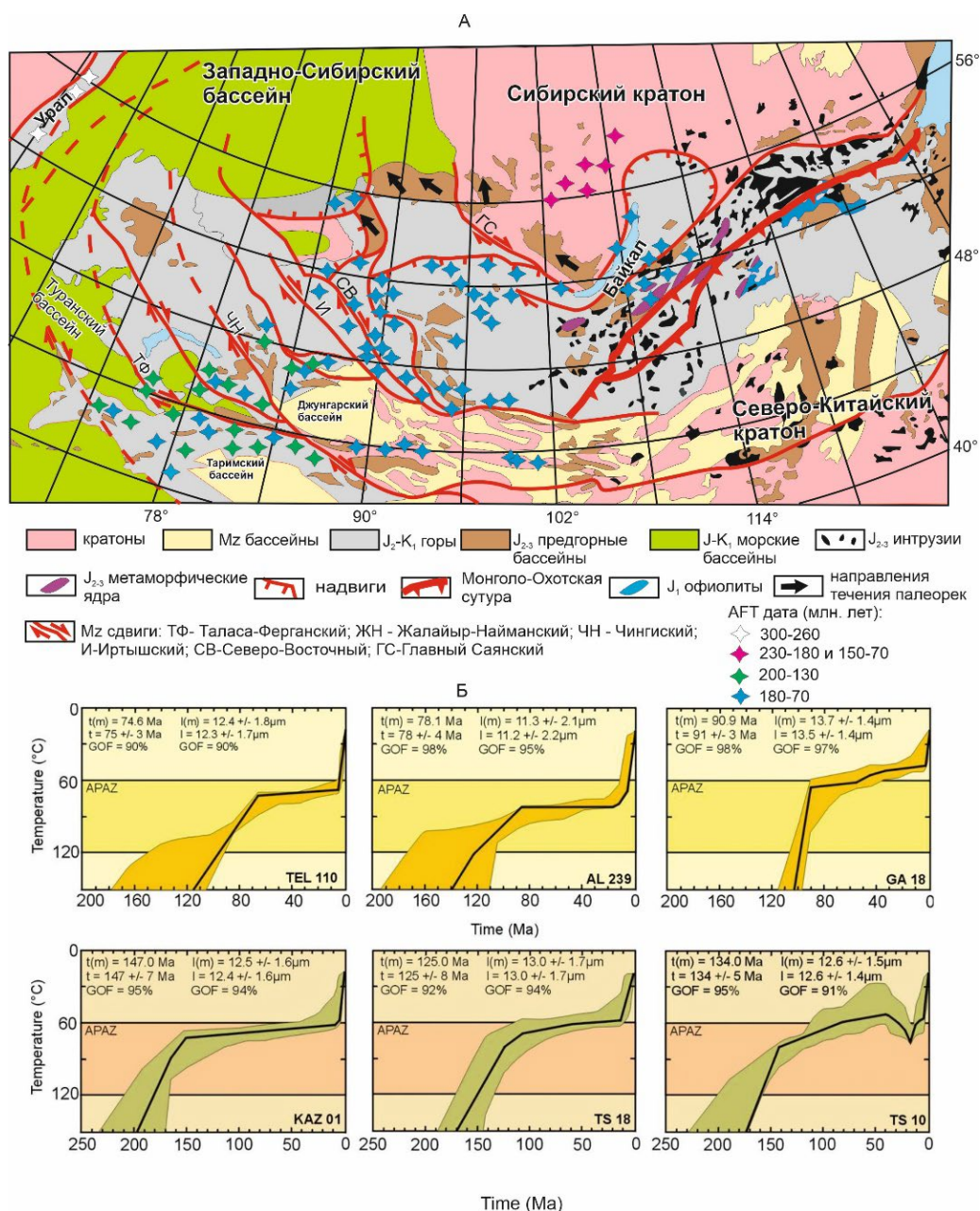


Рис. 2. Мезозойская тектоно-палеогеографическая схема Центральной Азии (А) и результаты трекового датирования апатита Алтая (верхний ряд) и Тянь-Шаня (нижний ряд).

На основе термохронологических исследований, основанных на U/Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar и трековом методах датирования, для позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита (АВБ) реконструирована тектонотермическая эволюция Забайкалья [12,13]. Последовательное закрытие изотопных систем от циркона, амфибола до биотита свидетельствует о быстром охлаждении пород АВБ сразу после кристаллизации и об эпохе интенсивной денудации пород мощностью до 7-4 км, связанной с обширной позднепалеозойской орогенцией на территории южной Сибири. После эпохи тектонической стабилизации, характеризующейся постепенным закрытием изотопной системы биотита в ранней перми – средней юре (295-170 млн

лет), происходит закрытие изотопной системы полевого шпата в средней юре – раннем мелу (170-140 млн лет). Этот интервал совпадает с началом формирования Монголо-Охотского орогена и характеризуется денудацией около 3 км мощности. Далее, в палеогене-миоцене (60-5 млн лет), на территории Забайкалья происходила медленная денудация, за которой наступил период относительно резкого охлаждения пород в течение последних 5 млн лет и денудацией около 3-2 км мощности, связанной с реактивацией территории Забайкалья в результате дальнего тектонического воздействия Индо-Евразийской коллизии. Высоту горного сооружения Забайкалья в средней юре – раннем мелу можно оценить в 8-6 км, учитывая, что современный рельеф достигает отметок 3-2 км, а при росте горных систем одновременно происходит их разрушение.

Процессы денудации МООП, особенно его восточного звена, привели к образованию обломочного материала, который речными системами [16,17] выносился через транзитные зоны (современные Иркутский, Тувинский, Канско-Ачинский и Кузнецкий прогибы) в шельфовую область Северной Евразии в том числе крупнейший в мире Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн. U-Pb датирование детритовых цирконов указанных бассейнов хорошо коррелируется с возрастами магматических пород, слагающих огромные по размерам гранитойдные массивы Забайкалья и Северной Монголии (Байкало-Витимский, Хангайский и Хэнтэйский), суммарной площадью выходов свыше 300 000 км². Датировки имеют ярко выраженные возрастны пики на 300, 259 и 250 млн лет, что характерно для возрастов гранитойдных массивов Западного Забайкалья и Северной Монголии. Также проявлен пик на 468-482 млн лет, что может свидетельствовать о сносе материала в результате разрушения раннепалеозойских гранитойдов северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Древние пики возрастов цирконов в 1800 и 2300-2600 млн лет указывают, что снос в бассейны происходил также с Сибирского кратона. Близкие пики возрастов детритовых цирконов, с увеличением доли докембрийских возрастов детритовых цирконов, характерны для меловых осадков Хатангского прогиба и Карского моря, наиболее удаленных от орогенных поясов.

В результате мезозойских коллизий Северо-Китайского континента с Сибирским кратоном, последний претерпел поднятие и мощную денудацию до 2-4 км, которая выявляется по данным AFT. В работе [18] представлены результаты AFT из керна скважин, вскрывших кровлю кристаллического фундамента Сибирской платформы в Непско-Ботуобинской антеклизе. Полученные трековые возрасты образуют два мезозойских кластера: 1) поздний триас–ранняя юра (231–179 млн лет) и 2) конец поздней юры– ранний мел (150–121 млн лет). Позднетриасово–раннеюрский кластер совпадает с большей частью трековых возрастов, полученных по Гулинскому плутону северной части кратона [19]. Эти датировки маркируют региональный этап воздымания и эрозии на площади всего Сибирского кратона, который проявился синхронно с деформациями на Таймыре [20]. Позднеюрско-раннемеловые трековые возрасты могут отражать заключительный этап коллизии в МООП.

Обсуждение

В раннем мезозое (среднем триасе-юре) океаническая плита Палео-Тетис, включающая докембрийские тектонические блоки, погружалась под Северную Евразию с юга, что привело к формированию кемерийского орогена [3]. Считается, что столкновение Гондванских континентальных блоков с Евразией вызвало реактивацию разломов и поднятие Тянь-Шаня и частично Восточного Казахстана, расположенных вблизи зоны столкновения. Вероятно, что эти территории могли быть источником сноса для триас-раннеюрских отложений, расположенных в основании разреза Западно-Сибирского бассейна. По мнению [1,2,4 и мн. другие] в позднем мезозое (средней юре-раннем мелу) Евразия претерпела интенсивную тектоническую реактивацию, связанную с закрытием Монголо-Охотского океанического бассейна и последующей коллизией с Северо-Китайским кратоном (рис.3).

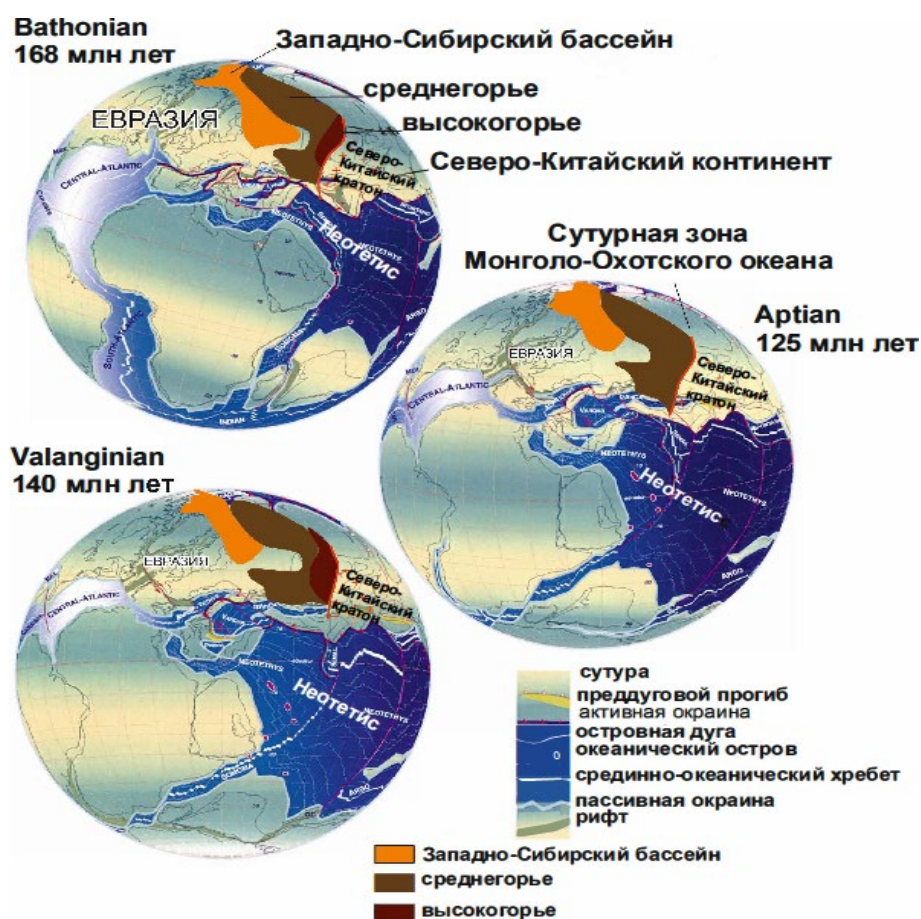


Рис. 3. Палеогеографическая реконструкция Северной Евразии в мезозое.

В результате был сформирован позднемезозойский коллизионный Монголо-Охотский пояс, который протягивается на расстояние свыше 3000 км от Центральной Монголии до Охотского моря. Денудация орогена привела к образованию обломочного материала, который речными системами выносился через транзитные зоны (современные Кузнецкий, Канско-Ачинский и Иркутский

[14,16,17,21]) в шельфовую область Арктического океана, в том числе крупнейший в мире Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн (рис.2).

На обобщениях геолого-геофизических данных показано [22], что при заполнении глубоководного палеобассейна Западной Сибири обломочный материал поступал в основном с Сибирского кратона, Алтае-Саянской складчатой области, в меньшей степени с Урала, Таймыра и Новой Земли. Отмечено, что в раннем мелу (140-125 млн. лет) происходило неравномерно заполнение глубоководного бассейна лавинной седиментацией с формированием клиноформ. Эта неравномерность отображена в асимметрии строения разреза. В восточной части бассейна клиноформы значительно более отчетливо фиксируются по сравнению с западной частью вблизи Урала.

На основе термохронологических данных нами выявлено, что в поздней юре-раннем мелу максимальное горообразование происходило в юго-восточном обрамлении Западно-Сибирского бассейна в Восточной Монголии и Забайкалье. Здесь мощность денудации оценивается до 5-3 км, а высота гор до 8-6 км, что соизмеримо с Гималаями [12,13]. Несомненно, что наличие столь крупного горного сооружения вблизи Западно-Сибирского бассейна явилось основной причиной формирования лавинной седиментации в его юго-восточной и восточной частях, которая происходила за счет катастрофического сползания дельтовых осадков, формирующихся мощной палеоречной системой, сохранившейся в транзитных бассейнах (Иркутском, Канско-Ачинском и Кузнецком).

Заключение

Таким образом, в средней юре-раннем мелу в результате формирования Монголо-Охотского коллизионного орогенов (МООП) по южному обрамлению Сибирского кратона произошли складчато-надвиговые деформации его литосферы и крупные сводовые поднятия внутри, а также общее поднятие. Интенсивное разрушение пород коллизионного орогенов и пород Сибирского кратона, включающего пермско-триасовые траппы, привело к формированию крупнейшего в мире Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна с приуроченностью клиноформ, как результата лавинной седиментации, к его юго-восточной и восточной частям. Формирование клиноформ происходило за счет катастрофического сползания дельтовых осадков, формирующихся мощной палеоречной системой, сохранившейся в транзитных бассейнах (Иркутском, Канско-Ачинском и Кузнецком).

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (FWZN-2026-0018).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Zorin Yu.A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia//Tectonophysics. 1999.Vol.306.33-56. DOI: 10.1016/S0040-1951(99)00042-6.
- 2.Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г. и др. Модель формирования

- орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. 7–41.
3. Golonka, J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic // *Tectonophysics*. 2004. V. 381. 235–273. DOI:10.1016/j.tecto.2002.06.004.
4. Van der Voo, R., van Hinsbergen, D.J.J., Domeier, M., et al. Cretaceous closure of the Mongol-Okhotsk Ocean: A paleomagnetic and seismological-tomographic analysis, in Anderson, T.H., Didenko, A.N., Johnson, C.L., Khanchuk, A.I., and MacDonald, J.H., Jr., eds., *Late Jurassic Margin of Laurasia—A Record of Faulting Accommodating Plate Rotation*: Geological Society of America. 2018. Special Paper 513. 589–606. DOI: 10.1130/2015.2513(19).
5. Sharman G.R., Samuel A. J. Sediment unmixing using detrital geochronology // *Earth and Planetary Science Letters*. 2017. Vol. 477. 183–194. DOI:org/10.1016/j.epsl.2017.07.044.
6. Травин А.В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии // *Геология и геофизика*. 2016. № 57 (3). 553–574.
7. Ketcham, R.A. Forward and inverse modelling of low-temperature thermochronometry data. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2005. Vol. 58. 275–314. DOI:10.2138/rmg.2005.58.11.
8. Буслов М.М., Кох Д.А., Де Граве И. Мезозойско-кайнозойская тектоника и геодинамика Алтая, Тянь-Шаня и северного Казахстана по результатам трекового датирования апатитов // *Геология и геофизика*. 2008. № 49 (9). 862–870.
9. De Grave, J., De Pelsmaeker, E., Zhimulev, F.I., Glorie, S., Buslov, M.M., Van den haute, P. Meso-Cenozoic building of the northern Central Asian Orogenic Belt: thermotectonic history of the Tuva region // *Tectonophysics*. 2014. Vol. 621. 44–59. DOI:10.1016/j.tecto.2014.01.039.
10. Glorie, S., De Grave, J., Zhimulev, F.I., Buslov, M.M. et al. Structural control on Meso-Cenozoic tectonic reactivation and denudation in the Siberian Altai: insights from multi-method thermochronometry // *Tectonophysics*. 2012. Vol. 544–545. 75–92. DOI:10.1016/j.tecto.2012.03.035.
11. Jolivet, M., Ritz, J.-F., Vassallo, R., Larroque, C., Braucher, R., Todt, B., Chauvet, A., Sue, C., Arnaud, N., et al. Mongolian summits: an uplifted, flat, old but still preserved erosion surface // *Geology*. 2007. Vol. 35. 871–874. DOI:10.1130/G23758A.1.
12. Травин А.В., Буслов М.М., Бишаев Ю.А., Цыганков А.А., Михеев Е.И. Тектонотермическая эволюция Забайкалья в позднем палеозое-кайнозое: термохронология Ангаро-Витимского гранитоидного батолита // *Геология и геофизика*. 2023. Т. 64 (9). 1303–1317.
13. Buslov M. M., Kulikova A. V., Sklyarov E. V., Travin A. V. Mesozoic Tectonothermal Evolution of the Zagan Metamorphic Core Complex in Western Transbaikalia: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and FTA Dating // *Lithosphere*. 2024. lithosphere_2023_306. DOI: 10.2113/2024/lithosphere_2023_306.
14. Буслов М.М., Бишаев Ю.А., Травин А.В. Взаимосвязи формирования Западно-Сибирского бассейна и горного обрамления в мезозое: U-Pb датирование детритовых цирконов осадочного выполнения и термохронология порднаний // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2025. Т. 2. № 2. С. 164–170. DOI: 10.33764/2618-981X-2025-2-2-164-170.
15. Donskaya, V., Windley, B.F., Mazukabzov, A.M., Kröner, A., Sklyarov, E.V., Gladkochub, D.P., Ponomarchuk, V.A., Badarch, G., Reichow, M.K., Hegner, E. Age and evolution of late Mesozoic metamorphic core complexes in southern Siberia and northern Mongolia // *Journal of the Geological Society*. 2008. Vol. 165. 405–421. DOI: 10.1144/0016-76492006-162.
16. Davies C., Allen M., Buslov M., Safonova I. Deposition in the Kuznetsk Basin, Siberia: insights into the Permian-Triassic transition and the Mesozoic evolution of Central Asia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010. V. 295. 307–322. doi:10.1016/j.palaeo.2010.06.008.
17. Le Heron D.P., Buslov M.M., Davies C., Richards K., Safonova I.Yu. Evolution of Mesozoic fluvial systems along the SE flank of the West Siberian Basin, Russia // *Sedimentary Geology*. 2008, V. 208. 45–60. DOI:10.1016/j.sedgeo.2008.05.001.
18. Багдасарян Т.Э., Гайдук А.В., Хубанов В.Б., Латышев А.В., Веселовский Р.В. Первые результаты трекового датирования апатита с применением LA-ICP-MS из кровли фундамента Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская антеклиза) // *Доклады Российской академии*

наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 2. 39–43.

19. Мышенкова М.С., Зайцев В.А., Томсон С., Латышев А.В., Захаров В.С., Багдасарян Т.Э., Веселовский Р.В. Термальная история Гулинского плутона (север Сибирской платформы) по результатам трекового датирования апатита и компьютерного моделирования // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11 (1). 75–87.

20. Khudoley A.K., Verzhbitsky V.E., Zastrozhnov D.A., et al. Late Paleozoic – Mesozoic tectonic evolution of the Eastern Taimyr-Severnaya Zemlya Fold and Thrust Belt and adjoining Yenisey-Khatanga Depression // Journal of Geodynamics. 2018. V. 119. P. 221–241.

21. Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Михеева Е.А., и др. Источник сноса и палеогеографические условия формирования юрских континентальных отложений на юге Сибирской платформы (по SM-ND- и U-Pb данным) // Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 6. 688–692.

22. Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Никитенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н. Палеогеография Западно-Сибирского бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5-6. 745–776.

© М. М. Буслов, Ю. А. Бишаев, А. В. Травин, С. Ф. Голицина, 2026