

М. М. Буслов¹✉, Ю. А. Бишаев¹, А. В. Травин¹

Взаимосвязи формирования Западно-Сибирского бассейна и горного обрамления в мезозое: U-Pb датирование детритовых цирконов осадочного выполнения и термохронология поднятий

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

Аннотация. На основе U-Pb датирования детритовых цирконов осадочного выполнения Западно-Сибирского, Кузнецкого и Иркутского бассейнов и термохронологии окружающих горных поднятий составлена тектоно-палеогеографическая схема Центральной Азии для мезозоя. Показано, что в мезозое в результате формирования Монголо-Охотского орогена на огромной территории Тянь-Шаня, Алтае-Саянского региона и Забайкалья, а также на южной части Сибирского кратона произошли сдвигово-надвиговые деформации и формирование горных поднятий. Интенсивное разрушение образованного орогена и Сибирского кратона привело к формированию крупнейших мезозойских нефтегазовых и угольных бассейнов Северной Евразии.

Ключевые слова: Монголо-Охотский ороген, Западно-Сибирский бассейн, детритовая термохронология

М. М. Buslov¹✉, Yu. A. Bishaev¹, A. V. Travin¹

Interrelations of the West Siberian Basin Formation and Mountainous Framing in the Mesozoic: U-Pb Dating of Detrital Zircons from Sedimentary Filling and Thermochronology of Uplifts

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: buslov@igm.nsc.ru

Abstract. Based on U-Pb dating of detrital zircons of sedimentary fill of the West Siberian, Kuznetsk and Irkutsk basins and thermochronology of surrounding mountain uplifts, a tectonic-paleogeographic scheme of Central Asia for the Mesozoic has been compiled. It is shown that in the Mesozoic, as a result of the formation of the Mongol-Okhotsk orogen, shear-thrust deformations and the formation of mountain uplifts occurred on the vast territory of the Tien Shan, the Altai-Sayan region and Transbaikalia, as well as on the southern part of the Siberian craton. Intensive destruction of the formed orogen and the Siberian craton led to the formation of the largest Mesozoic oil and gas and coal basins of Northern Eurasia.

Keywords: Mongol-Okhotsk orogen, West Siberian basin, detrital thermochronology

Введение

В фундаменте мезозойского Западно-Сибирского нефтегазового бассейна расположены в большей мере позднепротерозойско-палеозойские образования Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП), который в результате мезозойских и кайнозойских реактиваций образует горные системы и поднятия к югу от него. В их пределах широко развиты фрагменты мезозойских угленосных об-

разований (Иркутский, Канско-Ачинский, Кузнецкий и другие прогибы), которые представляют собой транзитные зоны предгорного прогиба Монголо-Охотского орогена. Считается, что его формирование связано с коллизией Северо-Китайского и Сибирского кратонов [1-3]. С запада Западно-Сибирский бассейн перекрывает палеозойские образования Уральского складчатого пояса, надвинутого на Восточно-Европейский кратон, с востока – Сибирский кратон (рис. 1).

Для решения проблем палеогеографической и палеогеодинамической эволюции осадочных бассейнов и орогенов в мировой практике используются U-Pb датирование детритовых цирконов осадочного выполнения и термохронология поднятий [4]. Путем корреляции геохронологических, стратиграфических и литологических данных по осадочным бассейнам с данными трекового датирования 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 возрастными породами 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.

Методы и материалы

В определение возраста и интенсивности роста горных поднятий широко используется термохронологический анализ, который реконструирует термическую историю геологического объекта на результатах мультиминерального датирования [5]. 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 340-360 °C, в биотите 330-350 °C, полевых шпатах 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 наклонности линии указывают на скорость и интенсивность денудации, что может рассматриваться как степень тектонической активизации в регионе, выраженной в росте горных

систем и поднятий [6]. U/Pb метод датирования цирконов является наиболее точным и надежным геохронологическим методом. Цирконы встречаются в большинстве разновидностей магматических, метаморфических и осадочных пород. В них содержатся относительно большие содержания урана и малые содержания исходного (обыкновенного) свинца. Благодаря химической устойчивости циркон мало подвержен наложенным термально-метасоматическим преобразованиям, поэтому несет важную информацию об условиях и истории формирования пород и позволяет ее реконструировать.

Результаты

Датирование пород различных регионов ЦАСП (Тянь-Шань, Алтае-Саянский регион, Забайкалье, Восточный Казахстан, Восточная Монголия) методом трекового анализа апатитов (AFT) свидетельствуют о крупных мезозойских поднятиях рельефа в поздней юре–мелу (~180-70 млн. лет) [7-12]. Эти поднятия возникли как результат проявления обширного Монголо-Охотского орогена, сформированного при закрытии одноименного океанического бассейна и последующей коллизии Северо-Китайского континента (Амурского супертеррейна) с Сибирским кратоном (рис. 1). Восточное звено орогена (Забайкалье и Восточная Монголия), расположенное в зоне фронтального столкновения Северо-Китайского и Сибирского кратоном, претерпело преимущественно складчато-надвиговые деформации. На южной окраине Сибирского кратона были сформированы Байкало-Патомская и другие складчато-надвиговые структуры, а в Западном Забайкалье – высокогорная область, соизмеримая с Гималаями [11,12], коллизионные граниты и комплексы разрушения орогена: метаморфические ядра и молассы [1,13]. В западном звене, на Тянь-Шане, Восточном Казахстане и Алтае-Саянской области в результате проявления сдвигово-надвиговых деформаций была образована внутриконтинентальная среднегорная область.

Процессы денудации Монголо-Охотского орогена, особенно его восточного звена, привели к образованию обломочного материала, который речными системами [14-16] выносился через транзитные зоны (современные Иркутский, Канско-Ачинский и Кузнецкий и др. прогибы) в шельфовую область Северной Евразии, в том числе крупнейший в мире Западно-Сибирский бассейн.

Для Западно-Сибирского бассейна были изучены детритовые цирконы из керна скважин Северо-Континентального, Тевлинско-Руссинского, Мишаевского, Северо-Егурьяхского и Нонг-Еганского месторождений, расположенных в его центральной части в северу от г. Сургут. Были исследованы песчаники из верхнеюрских отложений, подстилающих нефтегазоносную баженовскую свиту, собственно породы баженовской свиты, породы «аномальных разрезов» баженовской свиты или подачимовской толщи, и породы нижней части ачимовского комплекса. Образцы отобраны на глубинах 2750-2950 м.

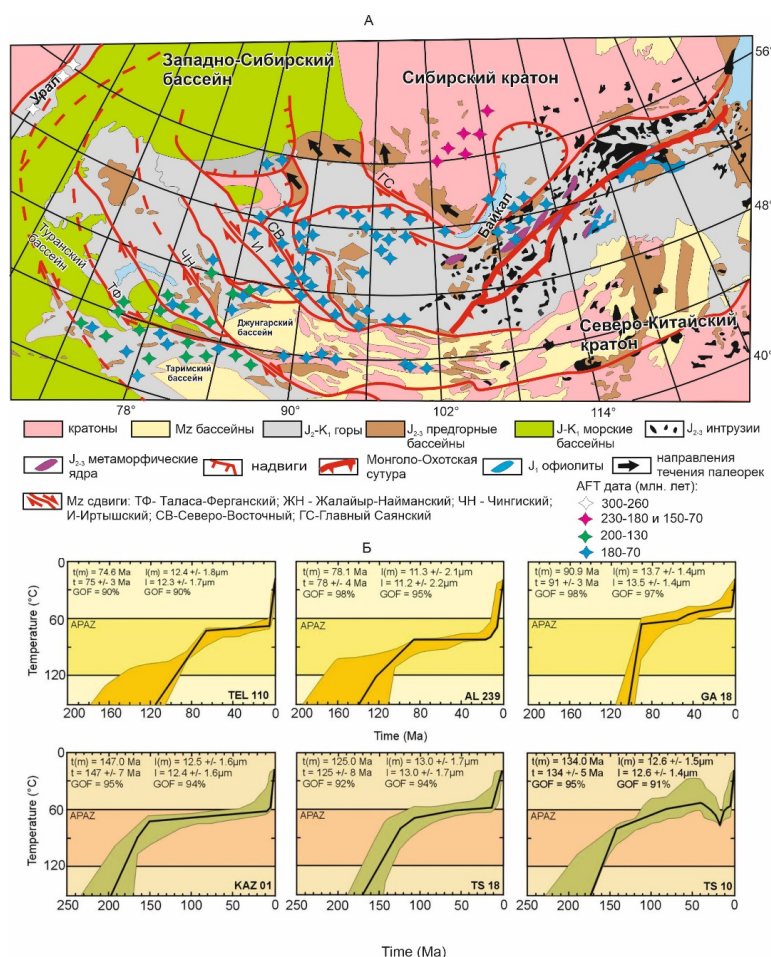


Рис. 1. Мезозойская тектоно-палеогеографическая схема Центральной Азии (А) и результаты трекового датирования апатита Алтая (верхний ряд) и Тянь-Шаня (нижний ряд)

U-Pb датирование детритовых цирконов (более 500 зерен) указанных бассейнов хорошо коррелируется с возрастными магматических пород, составляющих 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 возрастные пики на 300, 259 и 250 млн лет, что характерно для возрастов гранитойдных массивов Западного Забайкалья и Северной Монголии. Также проявлен возрастной пик на 468-482 млн лет, характерный для раннепалеозойских гранитоидов северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Древние возрастные пики цирконов в 1800 и 2300-2600 млн лет указывают, что снос в бассейны происходил также с Сибирского кратона.

Сибирским кратоном в результате мезозойской коллизии с Северо-Китайским кратоном претерпел поднятие и мощную денудацию, которая выявляется по данным AFT. В работе [17] представлены результаты AFT из керна скважин, вскрывших кровлю кристаллического фундамента Сибирской платформы в Непско-Ботуобинской антеклизе. Полученные трековые возрасты образуют два ме-

зозойских кластера: 1) поздний триас-ранняя юра (230-180 млн лет); 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 [18]. Эти датировки маркируют региональный этап воздымания и эрозии на всем Сибирском кратоне, который проявился синхронно с деформациями на Таймыре [19]. Выявление причины позднетриас-раннеюрского воздымания и эрозии Сибирском кратона требует дополнительных исследований. Позднеюрско-раннемеловые трековые возрасты отражают этап коллизии Северо-Китайского континента с Сибирским кратоном.

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 (рис. 1). По мнению [1, 2] в позднем мезозое Евразия претерпела интенсивную тектоническую реактивацию, связанную с закрытием Монголо-Охотского океанического бассейна и последующей коллизией с Северо-Китайским кратоном. 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]) в шельфовую область Арктического океана, в том числе крупнейший в мире Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн.

На обобщениях геолого-геофизических данных показано [20], 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 показано, что в поздней юре-раннем мелу на месте Уральского складчатого пояса формировался пенеплен, а 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 [14-16]. 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). Вероятно, что быстро поступающие осадки лавинной седиментации перекрыли насыщенные органикой баженовскую свиту (поздняя юра-ранний мел, 150-143 млн лет) и способствовало их катагенезу.

Заключение

Таким образом, в мезозое в результате формирования Монголо-Охотского орогена по южному обрамлению Сибирского кратона произошли складчато-надвиговые деформации его обрамления, а также общее поднятие. Интенсивное разрушение пород образованных орогенов и Сибирского кратона привело к формированию крупнейших нефтегазовых и угольных бассейнов Северной Евразии.

Проведена корреляция полученных результатов и показано, что на Тянь-Шане и Восточном Казахстане АФТ пики горообразования проявились в периоды ~ 200-130 и 180- 0 млн лет, в Алтае- Саянской области, Восточной Монголии и Забайкалье в периоды ~ 180-70 млн.лет. Указанные возрастные интервалы горообразования и связанной с ним денудации являются определяющими в формирование Западно-Сибирского, Иркутского, Канско-Ачинского и Кузнецкого бассейнов. Связанные с Монголо-Охотской орогенцией максимальные горные системы (до 8-6 км), сопоставимые с Гималайской, существовали в Забайкалье и восточной Монголии, а в пределах Алтае-Саянской области их высота достигала 3-4 км, а на большей части Восточного Казахстана достигала 2 км. Выявлен поступательный рост горных систем с юго-востока на северо-запад, который вызвал деформацию существующего на территории южной Сибири предгорного прогиба (Иркутский, Канско-Ачинский и Кузнецкий бассейны) и смещению береговой линии Западно-Сибирского бассейна к северу.

Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400057-2).

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. – V. 306. – № 1. – P. 33-56.
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. – С. 7-41.
3. Golonka J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic // *Tectonophysics*. – 2004. – V. 381. – P. 235-273.
4. Sharman G. R., Samuel A. J. Sediment unmixing using detrital geochronology // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2017. – V. 477. – P. 183-194.
5. Травин А. В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии // *Геология и геофизик*. – 2016. – № 57 (3). – С. 553-574.

6. 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). – С. 862-870.
7. Ketcham R. A. Forward and inverse modelling of low-temperature thermochronometry data // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2005. – Vol. 58. – P. 275-314.
8. De Grave J., De Pelsmaecker E., Zhimulev F. I., Glorie S., Buslov M. M. Meso-Cenozoic building of the northern Central Asian Orogenic Belt: thermotectonic history of the Tuva region // Tectonophysics. – 2014. – V. 621. – P. 44-59.
9. 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. – V. 544. – P. 75-92.
10. Jolivet M., Ritz J.-F., Vassallo R., Larroque C., Braucher R., Todbileg M., Chauvet A., Sue C., Arnaud N. et al. Mongolian summits: an uplifted, flat, old but still preserved erosion surface // Geology. – 2007. – V. 35. – P. 871-874.
11. Травин А. В., Буслов М. М., Бишаев Ю. А., Цыганков А. А., Михеев Е. И. Тектонотермическая эволюция Забайкалья в позднем палеозое-кайнозое: термохронология Ангара-Витимского гранитоидного батолита // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64 (9). – С. 1303-1317.
12. 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. – Vol. 2023.
13. 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. – V. 165. – P. 405-421.
14. 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. – P. 307-322.
15. 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. – P. 45-60.
16. 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. – С. 688-692.
17. 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. – С. 39-43.
18. 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. – С. 75-87.
19. 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.
20. 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. – С. 745-776.

© М. М. Буслов, Ю. А. Бишаев, А. В. Травин, 2025