

Первые радиометрические датировки тонштейнов из угленосных отложений Кузнецкого бассейна: U-Pb-геохронология тайлуганской свиты

В.В. Силантьев^{1,2*}, Я.М. Гутак^{1,3}, М. Тихомирова⁴, А.В. Куликова⁵, А.С. Фелькер^{1,6}, М.Н. Уразаева¹, Л.Г. Пороховниченко^{1,7}, Е.В. Карасев^{1,6}, А.С. Бакаев^{1,6}, В.В. Жаринова¹, М.А. Наумчева^{1,6}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета в г. Джизаке, Джизак, Узбекистан

³Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

⁴Технический университет Фрайбергской горной академии, Фрайберг, Германия

⁵Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

⁶Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

⁷Томский государственный университет, Томск, Россия

⁸Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

Тонштейны – твердые преимущественно каолинитовые глинистые прослои – широко распространены в углях Кузнецкого бассейна и содержат идиоморфные зерна циркона магматического генезиса, в количестве, достаточном для проведения урано-свинцового (U-Pb) датирования. Радиометрические датировки цирконов, отобранных из тонштейнов угольного пласта 78 тайлуганской свиты, впервые проведены двумя методами: методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (LA-ICP-MS) и методом термической ионизационной масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и химической абразией (CA-ID-TIMS). Полученные с помощью CA-ID-TIMS датировки равны $257,0 \pm 1,3$ и $256,6 \pm 0,4$ млн лет и определяют возраст нижней границы тайлуганской свиты и тайлуганского горизонта в 257,0 млн лет. Продолжительность тайлуганского горизонта оценена в 4,22 млн лет. Результаты датирования дают возможность напрямую сопоставить тайлуганский горизонт Кузбасса с верхней половиной вучапинского яруса и с большей частью чансинского яруса Международной хроностратиграфической шкалы.

Скорость накопления суммарных осадков тайлуганской свиты, рассчитанная без учета коэффициента уплотнения, составляет около 0,13–0,18 мм/год, а скорость накопления угля – 0,024 мм/год. Такие значения сопоставимы со скоростями накопления позднепалеозойских угленосных толщ Донбасса и западной Австралии. Скорость накопления торфа в тайлуганское время, рассчитанная при значении коэффициента уплотнения, принятом 10:1, составила 0,24 мм/год. Это значение сопоставимо со скоростями накопления торфа в голоценовых болотах Сибири и Европейской России.

Нахождение тонштейнов в угольных пластах тайлуганской свиты позволяет предположить, что верхняя поверхность торфа в момент его накопления располагалась ниже уровня воды, служившей защитным экраном для тонких вулканических осадков, предохраняя их от уничтожения.

Комплексы макрофлоры, остракод, конхострак и двустворок существенно изменяются по разрезу тайлуганской свиты; это дает возможность обосновать в Кузбассе стратиграфический уровень, отвечающий границе между вучапинским и чансинским ярусами.

Ключевые слова: Кузнецкий бассейн, тайлуганская свита, тонштейны, U-Pb-датирование, LA-ICP-MS, CA-ID-TIMS, геохронология, биостратиграфия

Для цитирования: Силантьев В.В., Гутак Я.М., Тихомирова М., Куликова А.В., Фелькер А.С., Уразаева М.Н., Пороховниченко Л.Г., Карасев Е.В., Бакаев А.С., Жаринова В.В., Наумчева М.А. (2023). Первые радиометрические датировки тонштейнов из угленосных отложений Кузнецкого бассейна: U-Pb-геохронология тайлуганской свиты. *Георесурсы*, 25(2), с. 203–227. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.15>

Введение

Радиометрическое урано-свинцовое (U-Pb) датирование изотопного возраста отдельных зерен циркона в том числе методом термической ионизационной масс-спектрометрии с изотопным разбавлением и химической абразией (CA-ID-TIMS) успешно применяется

уже более двух десятилетий в угленосных бассейнах Западной Европы (Ducassou et al., 2019; Pellenard et al., 2017), Восточной Европы (Донецкий бассейн) (Davydov et al. 2010; 2012), Северной Америки (Lyons et al., 2006), Южной Америки (Mori et al., 2012; Simas et al., 2012; Cagliari et al., 2014; Jurigan et al., 2019), Китая (Wang et al., 2018), Австралии (Metcalf et al., 2015; Ayaz et al., 2016).

Цель настоящей статьи – продемонстрировать, что датирование цирконов из тонштейнов базальной части тайлуганской свиты дает возможность напрямую сопоставить ее с Международной хроностратиграфической шкалой (International Commission on Stratigraphy, 2023)

* Ответственный автор: Владимир Владимирович Силантьев
e-mail: Vladimir.Silantiev@kpfu.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

и оценить продолжительность накопления слагающих ее осадков и скорость формирования угольных пластов.

Кузнецкий бассейн (Кузбасс) – один из крупнейших угольных бассейнов России – располагается в северной части Алтае-Саянской складчатой области на западе Сибири (рис. 1, А, Б). Долгое время Кузбасс рассматривался как сравнительно небольшой межгорный прогиб, ограниченный каледонидами Кузнецкого Алатау и Горной Шории (с востока и юга) и герцинидами Салаира и Колывань-Томской зоны (с запада и севера). В настоящее время считается, что Кузбасс представлял собой огромный предгорный прогиб, который примыкал с юга к Сибирской платформе (рис. 1, В) и располагался между уже консолидированными с этой платформой каледонидами (Минусинскими прогибами и Кузнецким Алатау) и еще подвижной герцинской областью Колывань-Томской зоны (Buslov et al., 2004; Гутак, 2021). Данная точка зрения обосновывается тем, что часть бассейна, примыкающая к Кузнецкому Алатау, характеризуется сокращенными мощностями разрезов и большой долей грубообломочного материала; по мере удаления от Кузнецкого Алатау мощность разрезов возрастает, одновременно увеличивается роль тонкообломочных пород (алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов) и пластов каменного угля.

Заложение Кузбасса началось в живетском веке среднего девона и совпало с ранними фазами герцинского тектогенеза (Гутак, Антонова, 2017). На первом этапе развития бассейна – с живетского века среднего девона по визейский век раннего карбона – здесь накапливалась морская зеленоцветная моласса. Второй завершающий этап – с серпуховского века раннего карбона до конца пермского периода – характеризовался накоплением мощной (до 7000 м) континентальной сероцветной угленосной

молассы, в которой основная часть рабочих пластов каменного угля локализована в отложениях пермской системы (Юзвицкий, 2003; Гутак, Рубан, 2016).

Палеогеографическая близость Кузнецкого бассейна и Сибирской платформы (рис. 1, В) обусловила их ботаническое и фаунистическое единство, что позволило выделить особую Ангарскую палеофлористическую и палеозоологическую область планеты – Ангариду (Вахрамеев и др., 1970).

Палеофлористические комплексы карбона и перми Кузбасса традиционно считаются эталонными для географически изолированной Ангарской палеофлористической области (Meyen, 1982; Мейен, 1990; Meyen et al., 1996; Будников, 1996; Oshurkova, 1996). В то же время некоторые данные по фауне конхострак, остракод, двустворок и рыб указывают на возможное наличие биотических связей между Ангаридой, Евразией (Лавруссией) и Гондваной (Неуструева, 1966; Бетехтина и др., 1988; Silantiev, 2018; Silantiev et al., 2015; Amler, Silantiev, 2021; Vakaev, Kogan, 2020; Жаринова, 2021; Бакаев, 2023).

Кузбасс является эталонным районом для всей Ангариды из-за высокой степени геологической изученности. Детальные исследования в Кузбассе начались в 1914 г. группой геологов Геологического комитета России и продолжались более ста лет многочисленными научными группами из организаций Ленинграда, Москвы, Новосибирска, Томска, Новокузнецка (Юзвицкий, 2003). Региональная стратиграфическая схема угленосных отложений, разработанная за это время, отличается высокой детальностью расчленения, подробным палеонтологическим и палеоботаническим обоснованием подразделений – свит, серий, горизонтов. В ее основе лежат исследования кернов сотен тысяч поисковых и

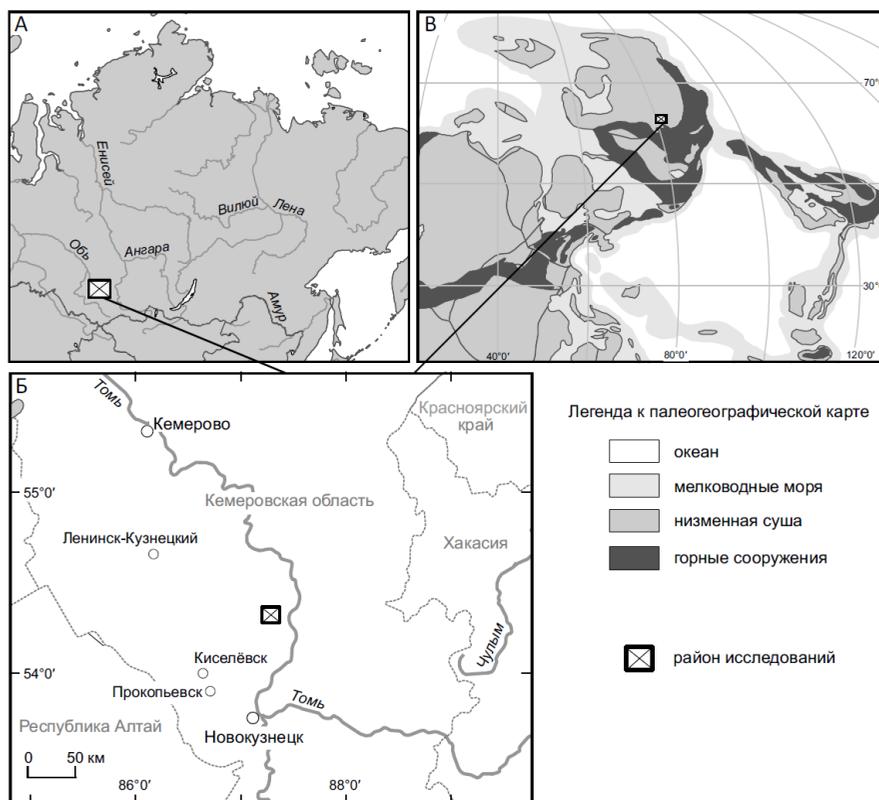


Рис. 1. Местоположение района исследования: (А, Б) на обзорных картах; (В) на палеогеографической карте поздней перми (карты составлены с помощью Rstudio (Posit team, 2023) для языка R (R Core Team, 2022) по данным (Cao et al., 2017) для (В))

разведочных скважин, горных выработок и естественных обнажений. Региональная стратиграфическая схема пермских отложений, утвержденная в 1979 г. (Решения..., 1982), выдержала проверку временем; с момента ее принятия только один раз были внесены в нее небольшие изменения (Решение..., 1996). Схема внедрена в практику геолого-съёмочных работ (Легенда Кузбасской серии..., 1999) и используется во всех без исключения геологических изысканиях как в Кузбассе, так и в смежных с ним регионах, т.е. лежит в основе всех межрегиональных корреляций Ангариды (Бетехтина и др., 1988; Будников, 1996; Кутыгин и др., 2020; Oshurkova, 1996; Budnikov et al., 2020 и др.). Современная обобщающая сводка по геологии Кузбасса опубликована в 2003 г. (Угольная база России, 2003).

Несмотря на свою детальность, Региональная стратиграфическая схема угленосных отложений Кузбасса может быть сопоставлена с Международной хроностратиграфической шкалой (МХШ) (International Chronostratigraphic Chart, ICC 2023) и с Общей стратиграфической шкалой (ОСШ) России (Стратиграфический кодекс..., 2019) только условно (на рис. 2 показана только пермская часть схемы). Прямая корреляция подразделений Кузбасса с МХШ невозможна из-за отсутствия в его разрезах морской фауны (конодонтов и др.), а прямая корреляция с ОСШ – из-за изолированности Ангариды от Еврамерики и областей Тетиса в позднем палеозое и эндемизма ее биоты (Meuyen et al., 1996; Будников, 1996; Oshurkova, 1996; Amler, Silantiev, 2021).

Проблема глобальной корреляции угленосных отложений Кузбасса дополняется его сложной блоковой тектоникой (Novikov et al., 2013). Разрезы разных блоков резко отличаются своим строением. Заметим, что если между разрезами невозможно напрямую проследить угольные пласты (например, между восточной и центральной, южной и северной частями Кузбасса), то они плохо сопоставимы (Будников, 1996). Как следствие, разрезы разных блоков имеют различную номенклатуру угольных пластов. Кроме того, разные методы расчленения и корреляции разрезов дают часто различные результаты, которые могут отличаться друг от друга на 500–3500 м (Ярков, 1996; Лежнин, Папин, 1996).

Тайлуганская свита (750 м) сложена чередованием песчано-глинистых пород, включающих мощные пласты и тонкие прослои каменного угля общей мощностью от 80 до 105 м. Свита отвечает верхней половине татарского отдела верхней перми ОСШ и примерно средней части лопинского отдела МХШ (рис. 2). Об этом свидетельствуют полученные нами радиометрические датировки тонштейнов из угольного пласта 78, залегающего в основании свиты, и радиометрические датировки туфовых прослоев из основания вышележащей мальцевской свиты (Davydov et al., 2021), ранее относимой целиком к нижнему триасу.

Тонштейны в угольных пластах Кузбасса известны давно, распространены по всему разрезу угленосной толщи и достаточно хорошо изучены в литологическом и геохимическом отношении (Ван, 1968; Казанский, Ван, 1985; Черновьянц, 1992; Arbutov et al., 2011, 2019 и др.). Тонштейны Кузбасса представляют собой, как правило, сцементированные твердые глинистые прослои в углях, имеют преимущественно каолиновый состав

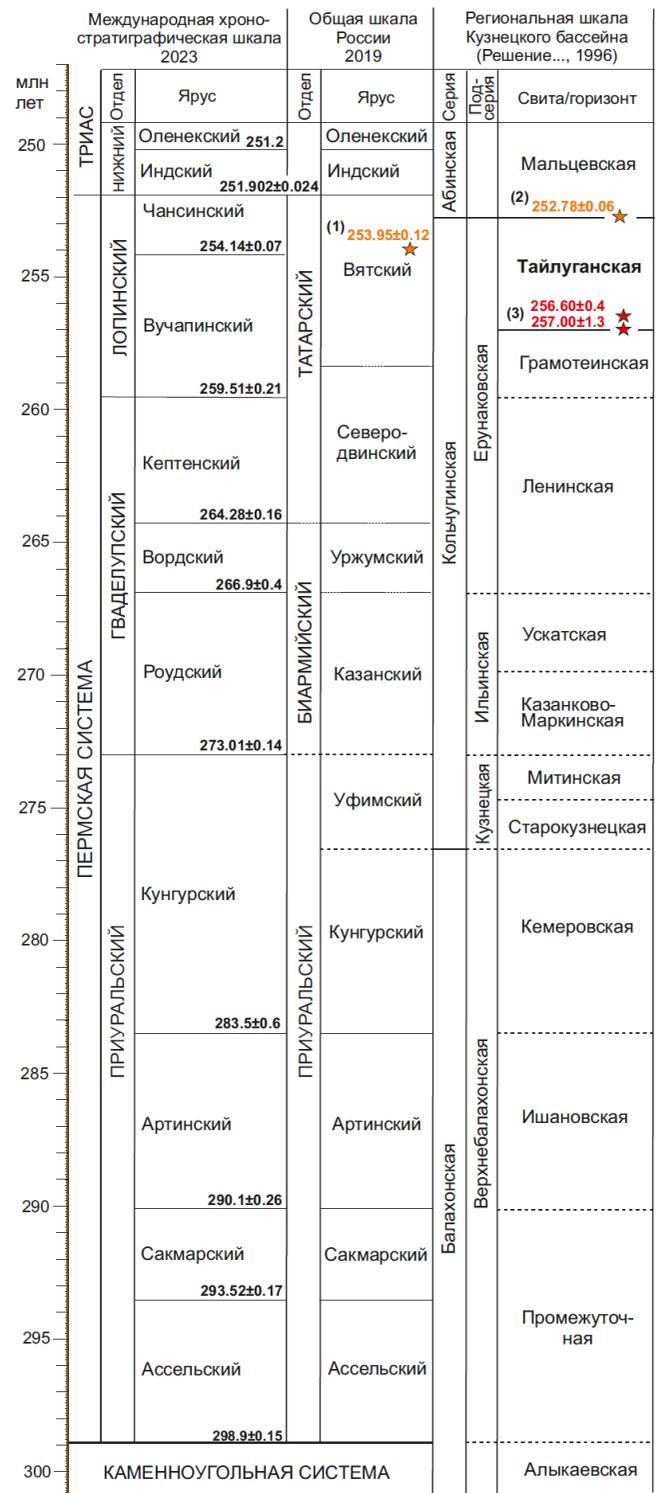


Рис. 2. Региональная стратиграфическая схема пермских угленосных отложений Кузбасса и ее сопоставление с Общей стратиграфической шкалой России (Стратиграфический кодекс..., 2019) и Международной хроностратиграфической шкалой (International Chronostratigraphic Chart, ICC 2023); радиометрические датировки: (1) Davydov et al., 2020; (2) Davydov et al., 2021; (3) настоящая работа

и отличаются от обычных вмещающих пород цветом (светло-серым, серым, буроватым, почти черным), составом и отсутствием слоистости. Наши полевые работы 2019–2022 гг. показали присутствие почти в каждом угольном пласте от одного до нескольких прослоев тонштейнов.

1. Геологическая обстановка

Осадочный комплекс Кузбасса формировался около 350 млн лет с раннего палеозоя по средний мезозой. Наиболее значительные опускания, сопровождавшиеся ингрессией морского бассейна, начались в девоне и продолжились в раннем карбоне. Затем несколько эпизодов складчатости изменили характер осадконакопления с морского на угленосный континентальный. Поднятие территории привело к денудации ранее образованных осадочных структур. Современное геологическое строение Кузбасс приобрел в начале мелового периода (рис. 3) (Юзвickий, 2003).

Общая характеристика угленосной толщи. Верхняя часть каменноугольной и вся пермская система Кузбасса представлены континентальными преимущественно терригенными угленосными отложениями. Их наибольшая мощность (7000–8000 м) приурочена к осевой и западной частям бассейна. Типичные разрезы сложены

песчаниками, алевролитами и аргиллитами с мощными пластами и тонкими прослоями углей, и подчиненными линзами гравелитов и конгломератов, маркирующих основания осадочных циклов. Доля каменного угля в общем разрезе составляет в среднем от 1% до 6% (70–480 м), но в некоторых свитах увеличивается до 20–25%.

Глинистые породы (аргиллиты) обычно представлены каолинитом и гидрослюдой. Прослой монтмориллонитовых глин встречаются реже. Твердые, светлоокрашенные тонкие прослойки каолинитового состава, известные как тонштейны, распространены в пластах каменного угля. Монтмориллонитовые глины и тонштейны обычно интерпретируются как продукты преобразований вулканического пепла. Достоверные тонштейны установлены в угольном пласте XI Распадского месторождения (кемеровский горизонт) (Арбузов и др., 2019) и пластах 5 и 6 Уропского месторождения (грамотейинский горизонт).

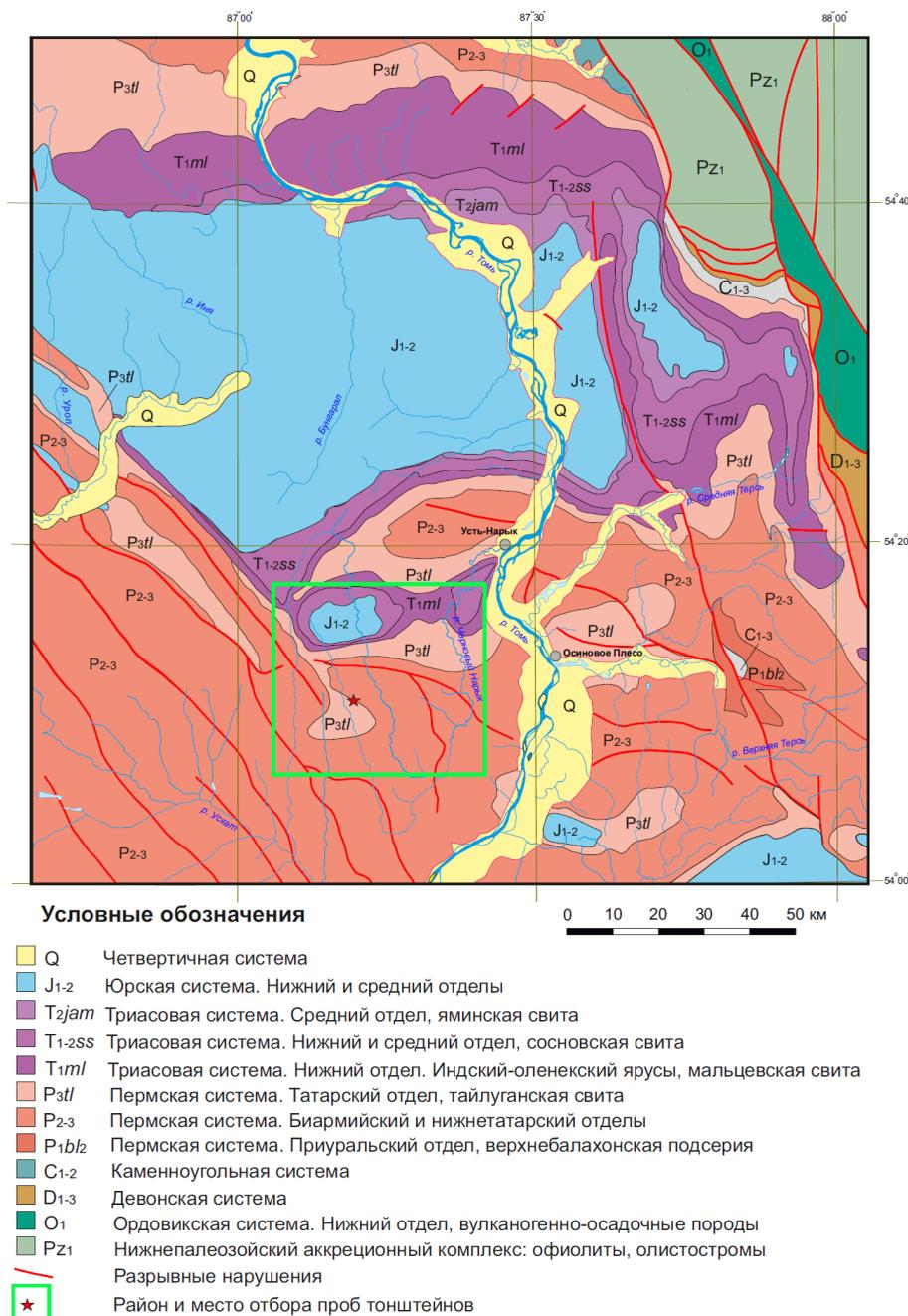


Рис. 3. Геологическая карта центральной части Кузбасса с указанием района отбора проб тонштейнов из пласта 78 (упрощено по (Г.А. Бабин и др., 2007))

Пирокластический материал играет значительную роль в угленосных отложениях Кузбасса (Ван, 1968; Ван, Казанский, 1985; Черновьянц, 1992). Установлено не менее 12 горизонтов пирокластического материала (туфы, туффиты, монтмориллонитовые глины), мощность которых достигает 10 м. Некоторые пирокластические горизонты Кузбасса прослеживаются в Минусинском и Тунгусском бассейнах (Казанский, Ван, 1996). Геохимия и минералогия вулканогенного материала, в том числе содержание в нем редких и радиоактивных элементов, изучены очень детально и рассмотрены в работах (Arbizov et al., 2011, 2019; Thompson et al., 2021).

Корреляция разрезов угленосных отложений Кузбасса проводится путем прослеживания стратиграфических элементов (свит, толщ, пачек) в многочисленных профилях разведочных скважин (рис. 4). В открытых

горных выработках используется прямое трассирование угольных пластов, для обозначения которых разработана специальная номенклатура. Литологические и палеонтологические признаки, используемые при корреляции, включают гранулометрический и минеральный состав пород, слоистость, состав конкреций; характерные комплексы фауны и флоры, маркирующие фаунистические горизонты и т.д.

Тайлуганская свита, радиометрические датировки возраста которой рассматриваются в настоящей статье, завершает разрез угленосной толщи верхнего палеозоя Кузбасса, т.е. является самым верхним элементом *кольчугинской серии* и *ерунаковской подсерии* (рис. 2 и 5).

Кольчугинская серия (мощностью до 6000 м) примерно соответствует биармийскому (среднему) и татарскому (верхнему) отделам пермской системы.

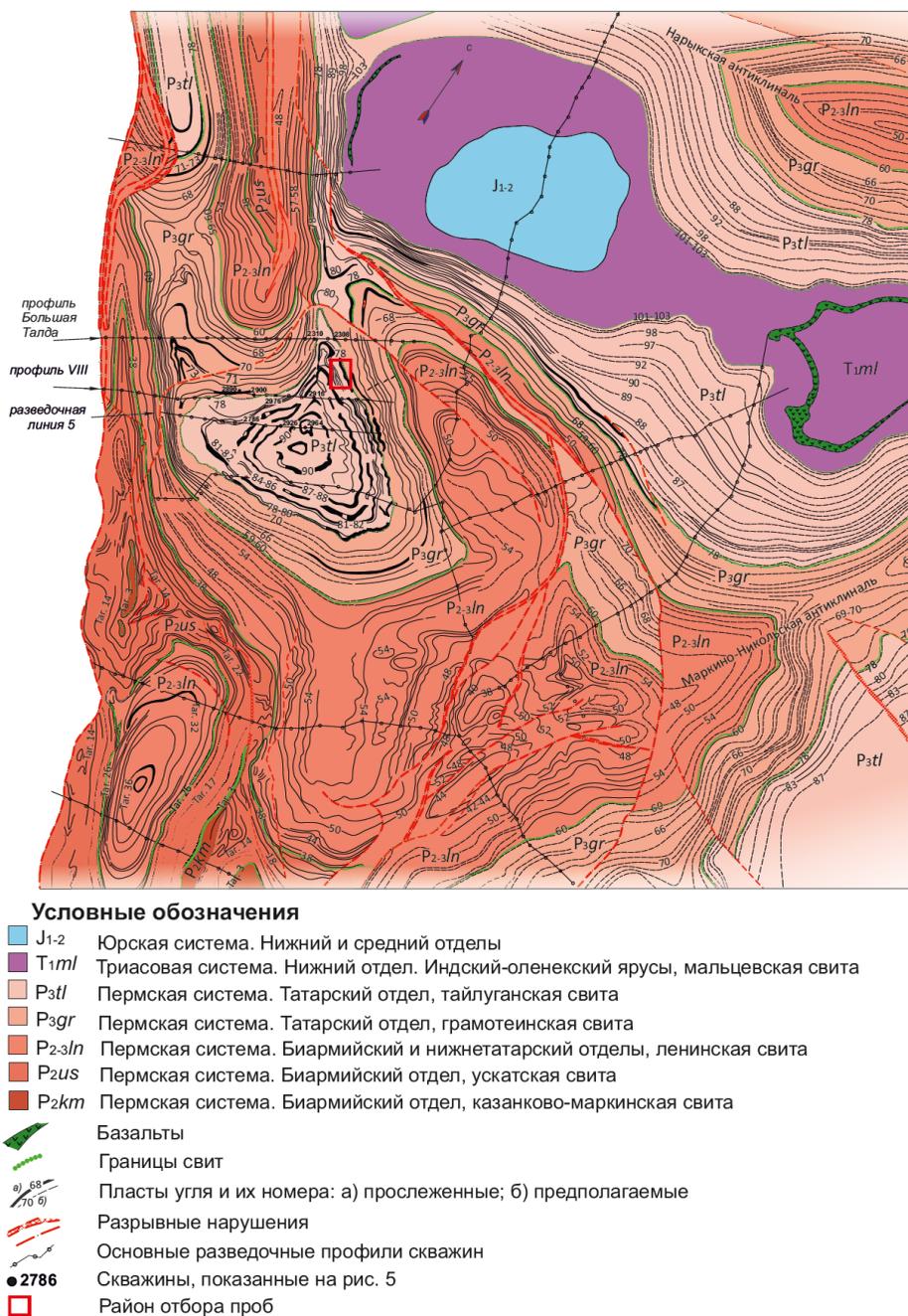


Рис. 4. Геологическая карта-схема Ерунаковского и Талдинского месторождений с основными пластами каменного угля; показано место отбора проб тонштейнов из пласта 78 (по данным (Шварц С.В., 2010) с упрощением; показаны только некоторые профили разведочных скважин). Сокращения: Таг. – пласты угля Тагарышской площади

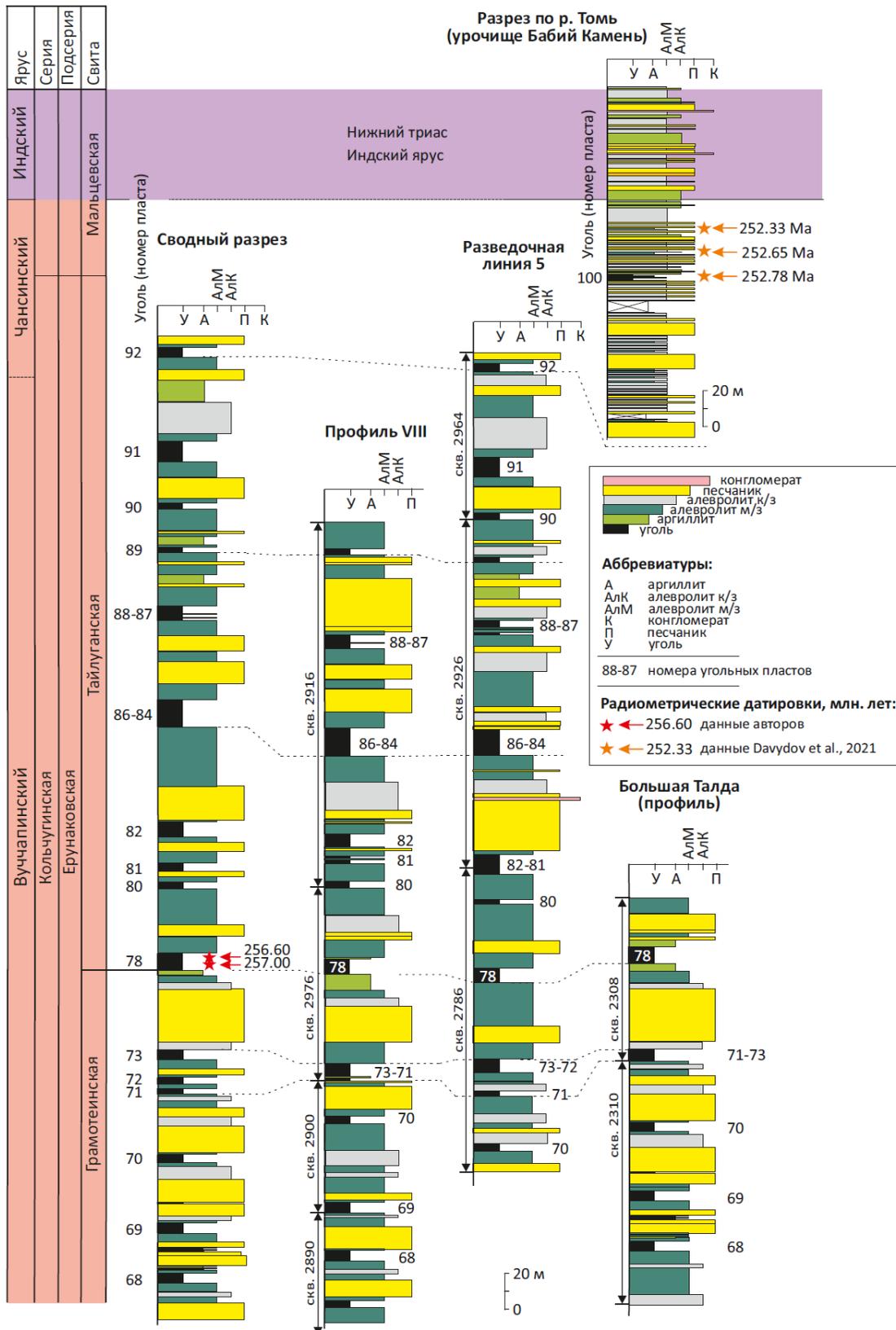


Рис. 5. Сводный разрез Ерунаковского и Талдинского месторождений, сопоставленный с разрезами разведочных профилей (рис. 4) и с Береговым разрезом правобережья р. Томь (урочище Бабий Камень) (Davydov et al., 2021); показаны уровень отбора проб тонштейнов из пласта 78 и полученные датировки

Нижняя граница серии проводится по поверхности субрегионального перерыва осадконакопления; верхняя – по смене угленосных отложений темно-серыми и зеленоватыми безугольными туфогенно-терригенными породами абинской серии. В полных разрезах верхней части кольчугинской серии наблюдается постепенное

замещение угленосных отложений туфогенно-терригенными породами, обладающими характерной сферoidalной отдельностью и цеолитовой минерализацией, т.е. граница между кольчугинской и абинской сериями выражена нечетко и является условной.

Ерунаковская подсерия (мощность 1600–300 м) – наиболее продуктивная часть кольчугинской серии – подразделяется на *ленинскую*, *грамотеинскую* и *тайлуганскую* свиты (рис. 2). Наиболее полные разрезы подсерии расположены в центральной части Кузбасса (Ерунаковский и смежные с ним геолого-экономические районы) (рис. 3, 4) и включают мощные (до 2000 м) песчано-глинистые толщи с высокой (в среднем 8–10%) угленосностью. Терригенные породы представлены преимущественно алевролитами (около 45%) и песчаниками (около 25%); отдельные слои этих пород достигают мощности 25–60 м. Тонкие углисто-глинистые и грубообломочные породы суммарно составляют около 20%.

Тайлуганская свита отличается изменчивым литологическим составом, высокой, но неравномерной угленосностью. Свита сложена переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов с пластами каменного угля. Подчиненное значение имеют гравелиты и конгломераты, углистые аргиллиты и алевролиты, а также туффиты и туфогенные породы (Богомазов, Вербицкая и др., 1996).

За нижнюю границу тайлуганской свиты (горизонта) мы принимаем основание пласта 78 (рис. 4, 5), как это следует из решений Межведомственного совещания по разработке стратиграфических схем среднего и верхнего палеозоя Средней Сибири (Решения..., 1982) и как ее понимают большинство исследователей Кузбасса (Лавренов и др., 2015; Угольная база России..., 2003). В то же время недавно появились публикации, где эта граница обозначается в кровле пласта 78 (Лавренов и др., 2018).

Максимальная угленосность тайлуганской свиты приурочена к Талдинскому (рис. 4) и смежным с ним месторождениям. В этих разрезах свита содержит от 12 до 23 пластов угля с общей мощностью от 80 до 105 м. Преобладают пласты со средней мощностью 15 м; на отдельных участках их мощность увеличивается до 20 м. Большинство угольных пластов имеет сложное строение и включает 5–6 (иногда больше) прослоев терригенных пород. Снизу вверх по разрезу свиты наблюдается постепенное уменьшение мощности циклов осадконакопления; угольные пласты верхней части свиты – тонкие; часто расщепляются и выклиниваются.

Угли тайлуганской свиты имеют типичный для кольчугинской серии преимущественно витринитовый состав (около 75%), но отличаются от углей ускатской и ленинской свит повышенным содержанием инертинита (до 20–25%). Некоторые угольные пласты (например, пласты 78 и 88) изучены очень детально; в частности, рассмотрено распределение в этих пластах инертинита и сделан вывод о частых пожарах во время торфонакопления (Hudspith et al., 2012).

В отложениях свиты распространены остатки растений, миоспоры, остракоды, конхостраки, двустворчатые моллюски, рыбы и другие организмы. Нижняя граница свиты принята в подошве 78 угольного пласта; верхняя – совпадает с верхней границей кольчугинской серии.

О границе перми и триаса в Кузбассе. Номинально нижняя граница триасовой системы проводится в 20 м выше кровли 103 угольного пласта Берегового разреза в правобережье р. Томь (урочище Бабий Камень) (Ермилов, 2003). На этом уровне в разрезе начинают преобладать туфогенно-терригенные породы со сфероидальной отдельностью и включениями розовых цеолитов; в породах

встречаются тонкие глинистые (пластичные) прослои – преобразованные вулканические туфы. Радиометрические датировки, полученные по цирконам из прослоев вулканических туфов, свидетельствуют о возрасте вмещающих отложений в 252,78, 252,65 и 252,33 млн лет (Davudov et al., 2021), что несколько древнее принятой датировки (251,902 млн лет) границы палеозоя и мезозоя (ИСС, 2023, рис. 2). Таким образом, нижняя часть вулканогенного разреза (нижние слои мальцевской свиты), относимого традиционно к триасу, имеет позднепермский возраст. Согласно расчетам, основанным на радиометрических датировках (Davudov et al., 2021), граница между пермской и триасовой системами в Береговом разрезе р. Томь (урочище Бабий Камень) может быть проведена примерно в 50 м выше кровли 100 угольного пласта (рис. 5).

2. Материал

Образцы тонштейнов для последующего выделения из них цирконов отобраны на территории Талдинского угольного разреза (центральная часть Кузбасса) из угольного пласта 78, залегающего в основании тайлуганской свиты, завершающей ерунаковскую подсерию кольчугинской серии (рис. 4, 5).

Образцы отобраны из четырех стратиграфических уровней. Вес каждого образца составил 1,5–2 кг. Цирконы выделены из всех образцов, но только в двух образцах (19kzb-11 и 19kzb-13) их размеры и количество оказались достаточными для проведения радиометрических датировок методом СА-ID-TIMS.

Мощность пласта 78 в месте отбора образцов составляет около 12 м. Образец 19kzb-11 отобран в 5 м выше подошвы пласта (рис. 6, А, Б) и представляет собой прослой твердого светло-серого тонштейна мощностью 2 см (рис. 6, В). Образец 19kzb-13 отобран в 2,5 м ниже кровли пласта (в 9,5 м выше подошвы) и представляет собой прослой твердого коричневатого-серого тонштейна мощностью 1,5 см (рис. 6, Д, Е).

3. Методы

Пробоподготовка. Выделение цирконов из образцов тонштейнов проведено в Казанском федеральном университете.

Выделение цирконов из тонштейнов включало три стандартных процедуры. Первоначально образцы тонштейнов дробили до фракции 0,5–1,5 см и обрабатывали в диметилсульфоксиде ((CH₃)₂SO) в течение 72 ч при температуре 50 °С. В результате этой обработки твердое вещество тонштейнов превращалось в глинистую массу, немного увеличиваясь в объеме. Следующая процедура включала диспергацию глинистой массы ультразвуком (частота излучения 25 кГц) с постоянным перемешиванием и постепенную отмывку глинистой фракции в системе сообщающихся сосудов. Эта процедура занимала от 72 до 96 ч на пробу. Минеральная фракция размером 30–250 мкм, получившаяся после отмывки глины, составила около 0,01% от веса глинистой массы. Ее дополнительно обрабатывали в тяжелой жидкости ГПС-В (концентрированном водном растворе гетерополивольфрамата натрия) с максимальной плотностью 3,00 ± 0,05 г/мл (по ТУ). Отдельные зерна цирконов выделяли из тяжелой фракции с помощью бинокуляра ZEISS Stemi DV4.

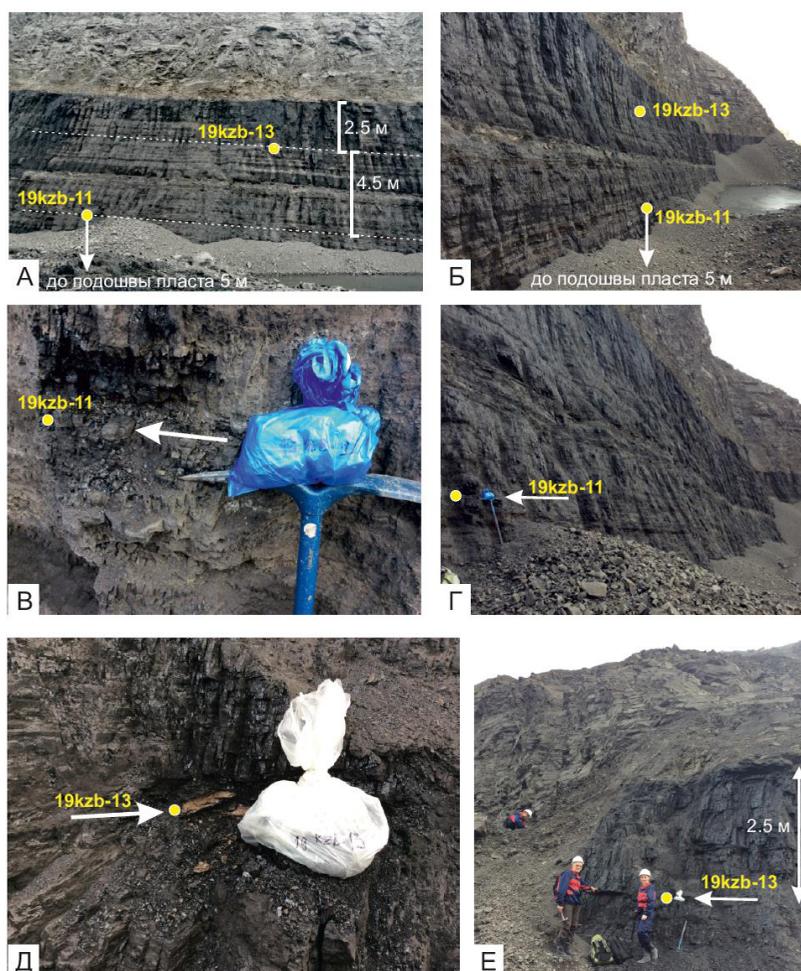


Рис. 6. Положение проб с тонштейнами в пласте 78 основания тайлуганской свиты, Талдинский угольный разрез: А, Б – стратиграфическое положение обр. 19kzb-11 и обр. 19kzb-13 на фронтальном (А) и перспективном (Б) снимках пласта; В, Г – место отбора обр. 19kzb-11; Д, Е – место отбора обр. 19kzb-13; белые стрелки на фотографиях указывают на тонштейны

Датирование цирконов методом LA-ICPMS было проведено в Научно-образовательном центре «Геотермохронологии» Казанского федерального университета. Для датирования зерна цирконов фиксировали в шашках из эпоксидной смолы Struers и приполировывали. Определение морфологии и внутреннего строения цирконов проводили по катодолуминесцентным изображениям минералов, полученным с помощью растрового электронного микроскопа с системой катодолуминесценции JSM 6510 LV (JEOL, Япония).

Для проведения U-Pb-датирования использовали систему лазерной абляции Analyte Excite 193 нм, представляющая собой эксимерный ArF-лазер (длина волны 193 нм, оснащенный двухкамерной ячейкой HelExII) (Teledyne Cetac Technologies, США). Измерения проводили на квадрупольном ИСП масс-спектрометре iCAP Q (ThermoScientific, Германия). Операционные параметры оборудования оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала ^{208}Pb при минимальном значении $^{248}\text{ThO}+^{232}\text{Th}+$ (менее 2%), используя стандарт NIST SRM 612. Все измерения выполняли по массам ^{202}Hg , $^{204}(\text{Pb} + \text{Hg})$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U . Измерение ^{235}U изотопа не проводили, а его содержание рассчитывали по измеренному сигналу изотопа ^{238}U , используя естественную распространенность $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137,818$ (Hiess et al., 2012). Диаметр лазерного луча составлял 35 мкм,

частота повторения импульсов – 5 Hz, плотность энергии лазерного излучения – 2,7–3,5 Дж/см².

Анализ пробы проводили по следующей схеме: в начале и конце сессии выполняли по три и два измерения двух стандартов (внешнего и контрольного) соответственно. Далее через каждые десять измерений цирконов образца проводили по одному измерению каждого из стандартов. Использовали международные эталонные образцы цирконов: 91500 – контрольный образец (1064 млн лет; Wiedenbeck et al., 1995) и Plešovice – внешний стандарт (337 млн лет; Slama et al., 2008). По внешнему стандарту проводили коррекцию на фракционирование элементов при лазерном испарении, дискриминацию масс и дрейф настроек масс-спектрометра во времени. По контрольному образцу проверяли точность измерений. В начале и конце сессии дополнительно проводили измерения исследуемых элементов в стандартном синтетическом стекле NIST SRM 612 для контроля чувствительности масс-спектрометра.

Обработку «сырых» данных, учет коррекций, выбор оптимального участка сигнала, расчет изотопных соотношений ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$) и соответствующих возрастов проводили с помощью программы Iolite 3.65 встроенной в Igor Pro (Paton et al., 2010). Расчет средневзвешенных значений возраста по изотопным соотношениям и построение диаграммы с конкордией

выполнены в Microsoft Excel со встроенным пакетом Isoplot (Ludwig, 2003) (Приложение, табл. 1).

Датирование циркона методом CA-ID-TIMS. Наиболее перспективные зерна цирконов были датированы методом CA-ID-TIMS в Лаборатории геохронологии Фрайбергской горной академии (Фрайберг, Германия). Отобранные зерна циркона (около 30 зерен на образец, имеющих идиоморфную длиннопризматическую форму) отжигали в муфельной печи при температуре 900 °С в течение 96 ч. Затем эти зерна подвергали кислотной обработке («химической абразии») концентрированными HF и HNO₃. Химическую абразию проводили под давлением при температуре 210 °С в течение 12 ч в кислотно-стойких армированных автоклавах Paq (Paq Instrument Company, США). При химической абразии растворяются кристаллические домены с сильным радиационным повреждением, которые, как предполагается, испытали посткристаллизационную потерю свинца (Mattinson, 2005).

Первоначально в целях сохранения мелких зерен циркона проведен эксперимент по обработке только двух зерен в течение 120 мин (Приложение, табл. 2, обр. 19kzb-11, зерна 1 и 2).

После проведения химической абразии остатки кислоты вместе с растворенным цирконовым материалом полностью удаляли пипеткой. Затем оставшиеся зерна циркона и их фрагменты помещали на 30 мин в 3,5 N HNO₃ при температуре 50 °С для удаления поверхностного свинца. Затем проводили несколько циклов очистки фрагментов зерен циркона водой в сочетании с многократной ультразвуковой обработкой.

Далее отбирали сохранившиеся фрагменты циркона для дальнейшей обработки. Отдельные зерна циркона или их фрагменты промывали 3,5 N HNO₃ и переносили в очищенные микрокапсулы с небольшой каплей этой кислоты и четырьмя каплями концентрированной HF. В пробы добавляли раствор маркировочного трассера ²⁰⁵Pb/²³³U/²³⁵U (ET535 в TU Bergakademie Freiberg, (Condon et al., 2015)).

Разложение цирконовых фрагментов проводили в армированных автоклавах Paq в кислоте HF при температуре 200 °С в течение 48 ч. После этого раствор выпаривали при 130 °С. Затем добавляли 6 N HCl в течение 24 ч при 200 °С для перевода фторидов растворенных элементов в хлориды. После высушивания образцы растворяли в десяти каплях 3,1 N HNO₃ и переносили в микроколонки для анионообменной одноколоночной хроматографии.

Уран (U) и свинец (Pb) отделяли от остальной части образца с помощью анионообменной хроматографии с использованием HCl и H₂O. Далее фракции U и Pb нанесли на «отожженные» Re-ленты ионного источника (одноленточный режим) вместе с силикагелевым активатором (Gerstenberger, Haase, 1997) и измеряли на масс-спектрометре IsotopX Phoenix с использованием счетчика ионов SEM Daly (IsotopX Ltd, Великобритания).

Результаты измерений масс-спектрометра были подтверждены путем повторного измерения цирконовых стандартов Temora 2 (Black et al., 2004) и 91500 (Wiedenbeck et al., 1995). Возраст стандарта Теморы 2 определен как 416,8 ± 0,3 млн лет (Black et al., 2003). Наша датировка 417,3 ± 0,6 млн лет (Káßner et al., 2021) полностью отвечает этим значениям. Принятые значения стандарта 91500 определены как 1062,4 ± 0,4 млн лет

(Wiedenbeck et al., 1995) и 1063,6 ± 0,3 млн лет (Schoene et al., 2006). Полученный нами средневзвешенный ²⁰⁶Pb/²³⁸U возраст этого стандарта составляет 1064,6 ± 1,3 млн лет (Káßner et al., 2021) и находится в пределах 0,1% от опубликованных значений. Основываясь на результатах стандартного датирования, мы полагаем, что представленные в настоящей статье возрасты CA-ID-TIMS имеют точность в пределах 0,1%.

4. Результаты

Результаты датирования методом LA-IC-PMS цирконов образцов 19kzb-13 и 19kzb-11, внешнего и контрольного стандартов соответственно, и измерения микроэлементов стандартного синтетического стекла NIST SRM 612 приведены в табл. 1 (Приложение). Измерения с дискордантностью < 10% или > 10% исключали из выборки (в таблице эти значения зачеркнуты).

Цирконы образцов 19kzb-13 и 19kzb-11 представлены доминирующими длиннопризматическими кристаллами длиной 80–120 мкм с коэффициентом удлинения до 5,5 и реже призматическими и короткопризматическими кристаллами. Кристаллы характеризуются бледно-розовой окраской и в катодоллюминесцентном изображении – осцилляторной зональностью, редко «полосчатой» зональностью (рис. 7). Отношение Th/U варьирует от 0,44 до 0,69, что подтверждает магматический генезис цирконов.

Из-за мелкого размера зерен, а также из-за наличия трещин и включений, удалось датировать лишь 17 зерен циркона из образца 19kzb-13 и 6 зерен циркона из образца 19kzb-11. Конкордантный возраст для тонштейна 19kzb-13 составляет 254,9 ± 1,6 млн лет, а для обр. 19kzb-11 – 250,7 ± 3,1 млн лет (рис. 8). В целом в пределах погрешностей датировки близки, но возраст обр. 19kzb-11 существенно «омоложен». Вероятнее всего, «омоложение» возраста в обр. 19kzb-11 связано с более мелкими размерами кристаллов в этом образце и недостаточным количеством измерений цирконов.

Возраст тонштейна 19kzb-13, полученный методом LA-IC-PMS, достаточно хорошо коррелируется с его возрастом, полученным методом CA-ID-TIMS (см. далее).

Результаты U-Pb CA-ID-TIMS-датирования цирконов. Для CA-ID-TIMS-датирования отобрали зерна циркона с большим соотношением длины к ширине, с ровными кристаллографическими гранями и острыми ребрами (наиболее идиоморфные кристаллы). В цирконах этого типа обычно отсутствуют унаследованные древние ядра. Цирконы из обр. 19kzb-11 имеют размер около 200 мкм по длинной оси; цирконы из обр. 19kzb-13 являются чуть более крупными (около 250–300 мкм) (рис. 9, А, Б).

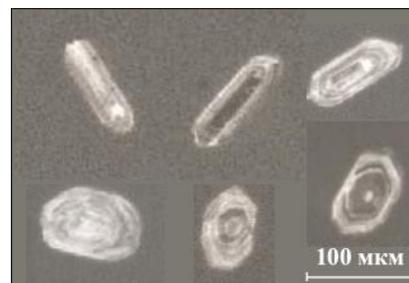


Рис. 7. Катодоллюминесцентные изображения некоторых зерен цирконов из образцов 19kzb-13 и 19kzb-11

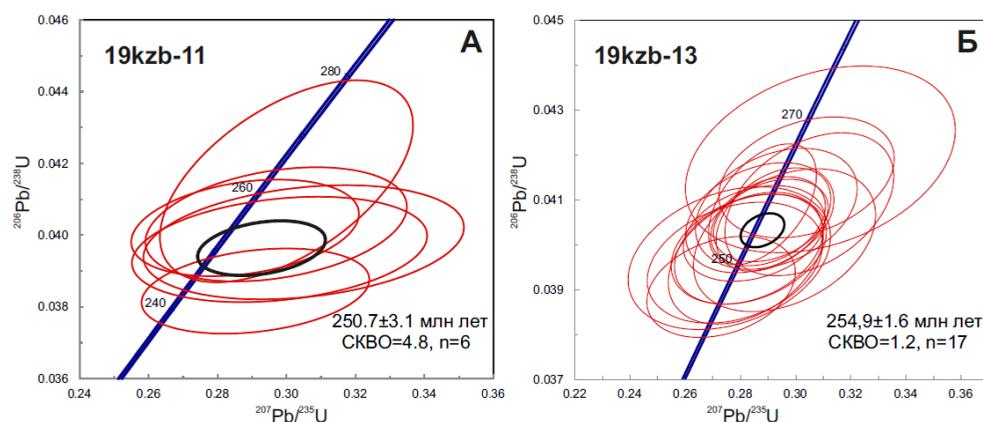


Рис. 8. Графики с конкордией для образцов 19kzb-11 (А) и 19kzb-13 (Б); эллипсы соответствуют погрешностям определений для каждого зерна $\pm 2\sigma$; Сокращения: СКВО – средний квадрат взвешенных отклонений; n – количество датированных зерен циркона

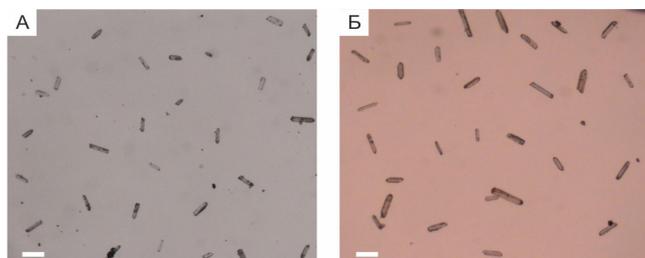


Рис. 9. Фотографии датированных зерен циркона: А – обр. 19kzb-11 (5 м выше подошвы пласта 78); Б – обр. 19kzb-13 (9,5 м выше подошвы пласта 78); масштабная линейка 200 мкм

Результаты изотопного U-Pb CA-ID-TIMS-анализа цирконов для обоих образцов представлены в табл. 2 (Приложение) и показаны в виде графиков ранжирования возрастов $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ на рис. 10. Средний возраст образцов, принимающийся за возраст кристаллизации, рассчитан по установленным возрастным кластерам с помощью программного обеспечения ET Redux (Bowring et al., 2011).

В обр. 19kzb-11 при помощи химической абразии удалили более 50% отобранных зерен циркона, так что осталось лишь несколько мелких фрагментов. Нам удалось датировать восемь таких фрагментов (рис. 10). Возраст отдельных цирконов варьирует от 228 до 262 млн лет и имеет высокую погрешность измерений из-за малого размера фрагментов циркона.

Четыре измерения (табл. 2 Приложения, зерна 1, 6, 7, 8) образуют кластер с идентичными возрастными интервалами между 253,8 и 258,2 млн лет. Эти измерения были использованы для расчета средневзвешенного возраста $257,0 \pm 1,3$ млн лет (средний квадрат взвешенных отклонений (СКВО) = 1,3).

Три фрагмента циркона из этого образца показывают более молодой возраст, который мы рассматриваем как полученный из-за потери Pb, полностью не компенсированной химической абразией. Работы (Widmann et al., 2019; Tichomirgowa et al., 2019) показали, что принятое «стандартное» время выщелачивания, равное 12 ч, для многих зерен циркона является слишком коротким, чтобы полностью компенсировать потерю Pb. Сохраняющиеся в зернах незначительные участки, испытавшие потерю Pb, часто приводят к смещению расчетов в сторону более

молодых значений, что может объяснить эти три более молодых измерения.

Датировка зерна 19kzb11-2 (около 262 млн лет; табл. 2 Приложения) явно древнее полученного возрастного кластера и, по-видимому, представляет собой датировку древнего зерна циркона, включенного во время интрузии из более древних порций магмы (Miller et al., 2007).

Для обр. 19kzb-13 (рис. 10) получены возрастные датировки тринадцати отдельных зерен. Значения датировок варьируют между 249 и 257 млн лет (за исключением одной, явно более древней датировки 261 млн лет, которую мы рассматриваем как датировку унаследованного древнего ядра циркона). Мы предполагаем, что большой разброс возрастов в сторону более молодых значений обусловлен остаточными потерями свинца. Три самые древние датировки из выборки (анализы 7, 9, g5; табл. 2 Приложения) имеют почти идентичный возраст, что позволило рассчитать средневзвешенный возраст, равный $256,6 \pm 0,4$ млн лет (СКВО = 0,1).

5. Обсуждение

Скорость накопления осадков. Полученные датировки цирконов из образцов 19kzb-11 и 19kzb-13 позволяют оценить возраст пласта 78 и возраст основания тайлуганской свиты в целом в 257 млн лет. Кровля тайлуганской свиты датирована в Береговом разрезе р. Томь у урочища Бабий Камень и имеет возраст $252 \pm 0,06$ млн лет (рис. 5; Davydov et al., 2021). Таким образом, длительность накопления осадков всей тайлуганской свиты составляет примерно 4,22 млн лет. По мощности свиты и длительности ее формирования можно рассчитать примерные скорости накопления осадков.

Мощность тайлуганской свиты составляет 550 м на участке Бабий Камень и достигает максимальной отметки в 750 м на Талдинском месторождении. Расчетная скорость накопления суммарных осадков тайлуганской свиты (без учета коэффициента уплотнения и перерывов в осадконакоплении) составляет около 130–180 м/млн лет, или 0,13–0,18 мм/год.

Такие величины скоростей накопления осадков сопоставимы со скоростями накопления каменноугольной угленосной толщи Донецкого бассейна, где они рассчитаны нами аналогичным образом на основании

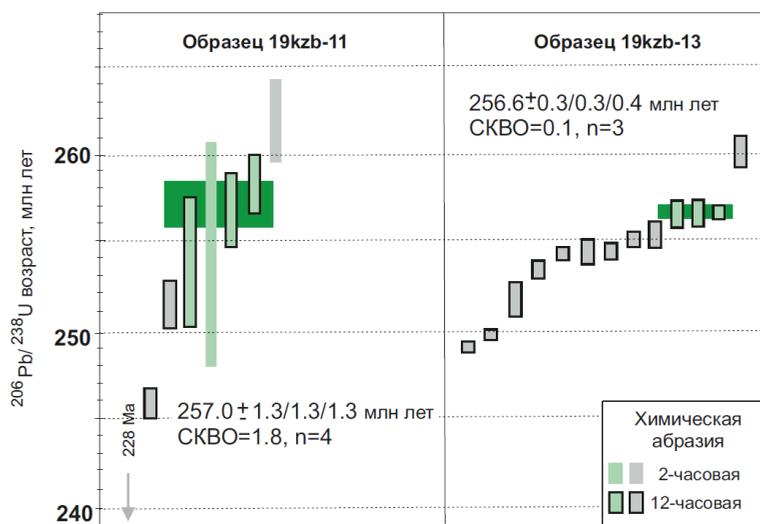


Рис. 10. График ранжирования возрастов $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ по результатам U-Pb CA-ID-TIMS-геохронологического датирования зерен циркона из угольного пласта 78 тайлуганской свиты. Сокращения на рис. 8. *Погрешность средневзвешенных возрастов определяется как $\pm x/y/z$, где x включает внутреннюю 2σ -ошибку измерения, y – внутреннюю 2σ -ошибку измерения плюс неопределенность калибровки трассера, z – внутреннюю 2σ -ошибку измерения плюс неопределенность калибровки трассера плюс неопределенность константы распада (Schoene et al. 2006). В дальнейшем мы используем ошибку z , которая позволяет сравнивать полученные результаты с другими методами датирования (Schoene et al., 2006)

опубликованных радиометрических датировок (Davuydov et al., 2010) и составляют от 0,2 до 0,36 мм/год. Близкие скорости, изменяющиеся от 0,037 до 0,58–0,72 мм/год, получены и для позднепермской угленосной толщи бассейна Боуэн Северо-Восточной Австралии (Ayaz et al., 2016).

Если предположить, что все терригенные породы тайлуганской свиты (мощность 450–650 м) откладывались «лавиным» осадконакоплением, сопоставимым с современными селями (Гутак и др., 2008), в геологическом смысле мгновенно, и при расчетах можно пренебречь длительностью их накопления, то можно рассчитать скорость накопления каменного угля.

Суммарная мощность пластов каменного угля тайлуганской свиты составляет около 100 м. Расчеты показывают, что 1 м угля накапливался за 42 000 лет, что составляет 0,024 мм/год (0,024 м/1000 лет). Приняв значение коэффициента уплотнения при переходе торфа в уголь равным 10:1, мы можем вычислить предполагаемую скорость накопления торфа в Кузбассе (палеоширота 65 с.ш.) в тайлуганское время, она равна 0,24 мм/год.

Это значение сопоставимо со скоростями накопления торфа в голоценовых болотах следующих районов:

- 0,16–0,39 мм/год для Сибири (60° с.ш.) (Карпенко, Прокушкин, 2018);
- в среднем 0,3 мм/год для Кузнецкого Алатау (54–55° с.ш.) (Адаменко, Гутак, 2014);
- 0,2 мм/год (значение получено за последние 2500 лет) для Европейской России (Тулльская область, 54° с.ш.) (Волкова и др., 2014).

В то же время скорости накопления торфа в голоценовых болотах различных регионов планеты, как правило, равны или несколько превышают 1 мм/год. Так, например, средняя скорость накопления торфа в тропических болотах Юго-Восточной Азии (Индонезия) составляет 1,3 мм/год (данные по 266 местонахождениям) (Fikri et al., 2022, библиография), а в субтропическом и умеренном климате Новой Зеландии изменяется от 0,6 до 1,9 мм/год (Moore, Shearer, 2003).

На территории Центральной и Восточной Европы (44°–55° с.ш.) скорость накопления торфа в голоценовых болотах составляет в большинстве случаев 1 мм/год, достигая значений 2,75 и даже 12,7 мм/год (Marcisz et al., 2022, библиография). В болотах севера Центральной Европы (54°–58° с.ш.), расположенных у побережья Балтийского моря, скорость накопления торфа составляет в среднем 3,5 мм/год (Stivrins et al., 2017, библиография). В северо-западной части провинции Квебек (53°–55° с.ш.), Канада, скорость накопления торфа в голоценовых болотах определена в пределах 1,6–5,4 мм/год (Piilo et al., 2019).

По мнению исследователей (Stivrins et al., 2017), основной причиной разных скоростей торфообразования в голоцене является видовой состав растений-торфообразователей, в частности, скорость зависит главным образом от того, какой вид рода *Sphagnum* доминирует в болоте.

Расчетная скорость накопления торфа в тайлуганское время в Кузбассе (0,24 мм/год) в пять раз и более отличается (в меньшую сторону) от скоростей накопления торфа в большинстве голоценовых болот (в среднем от 1 до 3,5 мм/год) современной Земли. По нашему мнению, одной из причин этого может быть условность коэффициента уплотнения торфа, принятого нами равным 10:1. На примере углей позднекаменноугольного возраста (Desmoinesian Series) Северной Америки было показано, что коэффициент уплотнения торфа при его переходе в уголь может меняться от 3:1 до 60:1 и эта величина зависит от биоразнообразия растений-торфообразователей (Winston, 1986). Биоразнообразие растений, в свою очередь, зависит от того, какие их экологические сообщества участвуют в накоплении торфа.

Торфопроизводящие системы состоят из шести основных растительных сообществ: 1) плавающие растения; 2) растения, укоренившиеся в стоячей воде, и полностью погруженные в воду; 3) растения (включая деревья), произрастающие в мелкой стоячей воде и поднимающиеся выше уровня воды; 4) мелкие растения,

образующие плотные маты на влажных, иногда затопляемых почвах; 5) заросли кустарника на влажных, богатых органикой почвах; 6) водно-болотные леса (Dai et al., 2020). Разнообразие растительных сообществ, образующих торф, определяет сложность биологической природы торфа и, соответственно, угля (Lindsay, 2018).

Отметим, что в кольчугинское время основными растениями-торфообразователями на уровне растительных сообществ были водно-болотные леса и сообщества мелких растений (Нейбург, 1948; 1960). Первые были образованы преимущественно ангарскими кордаитами. Вторые были представлены разнообразными мхами и водорослями, которые создавали плотные маты на влажных, иногда затопляемых органических почвах. В тайлуганское время большее значение стали приобретать сообщества укоренившихся водных растений с плавающими листьями в условиях стоячей воды и сообщества кустарниковых зарослей на влажных, богатых органикой почвах, а широко распространенные водно-болотные леса становились более угнетенными (Сендерзон и др., 1966). В перми Ангариды основными торфообразователями были ангарские кордаиты, мхи, сфенофиллы и в меньшей степени – разнообразные папоротники, птеридоспермы и примитивные гинкгофиты. Возможно, что торф, продуцируемый некоторыми из этих растительных групп, уплотнялся в большей степени, чем принято нами (10:1) при расчетах.

Считается, что значительное уплотнение торфа происходит одновременно с его накоплением и связано в большой степени с уменьшением количества воды, происходящим либо из-за сокращения количества атмосферных осадков, либо из-за увеличения давления на торфяную массу при ее захоронении, т.е. с процессами, приводящими к уменьшению порового пространства (Moore et al., 2021, библиография).

Условия торфонакопления. Наличие нескольких прослоев тонштейнов в угольном пласте 78 позволяет предположить условия формирования торфа. Вслед за М. Steech (2002), изучавшим позднепермские угли и тонштейны Сиднейского бассейна Австралии, мы полагаем, что верхняя поверхность торфа в момент его накопления располагалась ниже уровня воды. Такое расположение верхней поверхности торфа защищало тонкие вулканические осадки от последующего уничтожения и перераспределения дождевой водой и поверхностным стоком. В интервалах угля, содержащих тонштейны, отсутствуют стволы деревьев и крупные фрагменты растений, что подтверждает это предположение. Возможно, деревья произрастали на окраинах торфяника и поэтому приурочены к определенным стратиграфическим интервалам, сформировавшимся в то время, когда поверхность торфа была открыта после падения уровня воды.

Биостратиграфия. Временной интервал формирования тайлуганской свиты составляет 4,22 млн лет и охватывает вторую половину вучапинского века и большую часть чансинского века лопинской эпохи пермского периода МХШ; терминальная часть пермского периода отвечает времени формирования нижних слоев мальцевской свиты (Davydov et al., 2021, рис. 2). Обычно тайлуганские сообщества организмов рассматривались как единые комплексы, завершающие пермскую историю развития

той или иной группы (Бетехтина и др., 1988; Будников, 1996; Кутыгин и др., 2020; Oshurkova, 1996; Budnikov et al., 2020 и др.).

Далее мы попытались очень коротко ответить на вопросы: 1) какие наиболее яркие черты характерны для тайлуганских сообществ живых организмов; 2) имеются ли биостратиграфические данные, которые можно рассматривать как индикаторы рубежа между вучапинским и чансинским ярусами в Кузбассе.

Фитостратиграфия. В тайлуганском горизонте сохраняются основные доминирующие группы растений предшествующего грамотейинского времени: мелколистный кордаиты, членистостебельные, папоротники и птеридоспермы мезофитного облика. Среди кордаитов основной фон составляют мелколистный сульцильный *Cordaites minimus* (Neuburg) Meyen, 1966, *C. insignis* (Radczenko) Meyen, 1966, *C. minutifolius* (Radczenko) Meyen, 1966, семена *Samaropsis erunakovensis* Radczenko, 1955, *S. irregularis* Neuburg, 1948 и реже *Tungussocarpus tychtensis* (Zalessky) Suchov, 1969. Одновременно исчезают крупнолистный *Cordaites platyphyllus* Meyen, 1966 и другие виды. Голосеменные растения мезозойского облика увеличивают долю своего присутствия в комплексе. Часто встречаются *Yavorskya mungatica* Radczenko, 1936, *Rhipidopsis palmata* (Zalessky) Neuburg, 1948, *Ginkgoites plotnikovoensis* Gorelova, 1962, *Psymphyllum sibirica* (Zalessky) Burago, 1982; появляются листья *Tomia oblonga* Gorelova, 1962. Продолжают существование ранее распространенные виды *Comia* и *Zamiopteris*. Папоротники разнообразны и представлены *Pecopteris tajmyrensis* Schvedov, 1957, *Prynadaeopteris karpovii* (Radczenko) Naugolnykh, 2013, *P. venusta* Radczenko, 1956 и *Todites evenkensis* Radczenko, 1956. Сфенопсиды несколько сокращают свое разнообразие: получают достаточно широкое распространение крупнолистный аннулярии *Annularia jerunakovensis* Neuburg, 1948, *A. grandifolia* Schvedov, 1950 и *A. tajluganensis* Radczenko, 1962, одновременно исчезают виды *Sphenophyllum tomiense* Gorelova, 1956 и *Phyllothea equisetitoides* Schmalhausen, 1979. Мхи и каллиптериды имеют подчиненное значение.

Таким образом, флористический комплекс тайлуганского горизонта сохраняет основные черты предшествующего грамотейинского комплекса и уверенно отличается от мальцевского (триасового), для которого характерно полное отсутствие кордаитов, массовое появление в нижней части свиты спорофиллов плауновидных *Tomiostrabus*, появление разнообразных папоротников *Cladophlebis*, *Kedroviella*, *Katasiopteris*, *Korvunchania*, цикадофитов *Glossozamites*, а в средней части свиты хвойных *Quadrocladus* и пельтаспермовых *Lepidopteris* (Бетехтина и др., 1986, Davydov et al., 2021). Изменение таксономического состава по разрезу тайлуганской свиты показывают только кордаитантовые, разнообразие и распространенность которых во времени снижается. Уменьшение их разнообразия, возможно, связано с проявлениями вулканизма и глобальными изменениями климата (Davydov et al., 2021). Недостаточная изученность тайлуганского комплекса не исключает возможность его дальнейшего деления.

Неморские остракоды в тайлуганской свите образуют два комплекса (Будников, 1996). Нижний комплекс

представлен преимущественно видами рода *Darwinula*. Полностью отсутствуют виды рода *Tomiella*, широко распространенного в нижележащих отложениях. Однако встречаются другие представители семейства Cytheridae – *Iniella kusnetkiensis* (Spizh.), *Suriekovella limbata* (Mand.) и *S. pergraphica* Kash. Виды *Darwinula longula* Kash., *D. insolita* Kash. и *D. obsequena* Kash. известны также из Тимано-Печорской провинции (Будников, 1996).

Верхний комплекс состоит из видов родов *Darwinula*, *Suchonellina*, *Suchonella* и *Darwinuloides* (Спижарский, 1937; Мандельштам, 1956); представители семейства Cytheridae полностью исчезают (Неуструева, 1966). Род *Darwinula* доминирует и отличается наибольшим разнообразием видов, остальные роды представлены один-двумя видами. *Darwinuloscopina* верхнего комплекса отличаются от более древних представителей более крупными размерами, большей высотой раковины и формой переднего и заднего концов (Неуструева, 1966, с. 69). Вид *Darwinuloides svijazhicus* (Schneid.) и условно (из-за определения в открытой номенклатуре) *Suchonella* cf. *typica* Spizh. и *Suchonellina* cf. *inornata* Spizh. позволяют сопоставить верхнюю часть тайлуганской свиты с вятским ярусом Восточно-Европейской платформы (Спижарский, 1937, 1939).

В целом комплексы неморских остракод тайлуганской свиты отличаются от более древних: 1) сокращением разнообразия (главным образом за счет исчезновения семейства Cytheridae), 2) изменением видового состава подотряда *Darwinuloscopina*. Виды, впервые появившиеся в тайлуганском горизонте, обладают общими морфологическими чертами, отличающими их от предковых форм.

Тайлуганские комплексы отличаются от триасовой фауны остракод мальцевской свиты преобладанием эндемичных видов. Триасовая фауна остракод мальцевской свиты состоит только из представителей подотряда *Darwinuloscopina* (Кухтинов и др., 1986), среди которых широкое распространение имеют впервые появившийся род *Gerdalia*, а также роды *Suchonellina*, *Suchonella* и *Darwinuloides*; при этом одновременно уменьшается биоразнообразие рода *Darwinula*. Комплекс мальцевской свиты обнаруживает связь с Московской синеклизой, Прикаспийской и Днепровско-Донецкой впадинами, Тунгусской синеклизой (Кухтинов и др., 1986).

Насекомые в отложениях тайлуганской свиты известны только из низов разреза Бабий Камень (правый берег р. Томь, 8 км севернее пос. Усть-Нарык) и были найдены в ходе экспедиции Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН в 2018 г. Основная часть остатков насекомых обнаружена в самых верхах тайлуганской свиты в слое ожелезненных конкреций. Определены верхнепермские представители отрядов Mecoptera, Grylloblattida, Lophioneurida, Coleoptera. Наиболее многочисленны мекоптеры преимущественно пермского семейства Permochoristidae Tillyard, 1918 (Башкуев А.С., личн. сообщ.). Немного выше по разрезу, в слое серых аргиллитов встречены единичные надкрылья жуков семейства Permodynidae Tillyard, 1918 (Ян Е.В., личн. сообщ.), распространенные также в ерунаковских и мальцевских отложениях Кузбасса (Родендорф, 1961; Пономаренко, 2011). Комплекс насекомых из тайлуганской свиты пока немногочислен и требует дальнейшего изучения.

Неморские двустворчатые моллюски образуют в тайлуганском горизонте три хорошо узнаваемых ассоциации, выделяемых по доминированию того или иного рода или группы родов (Папин, 1969, 1973; Бетехтина и др., 1988). Стратиграфические интервалы, в которых встречаются эти ассоциации, имеют диахронные границы, несколько отличающиеся в разных районах Кузбасса. Это свидетельствует о том, что распространение двустворок контролировалось не только эволюционными процессами, но и пространственно-временным «скольжением» благоприятных для них ландшафтов.

Нижняя, наиболее древняя ассоциация *Palaeoanodonta* – *Anadontella* встречается в интервале угольных пластов 69–88, т.е. в верхах грамотеинского и нижней части тайлуганского горизонта. В ассоциации доминируют крупные (до 20 мм) представители ангарского рода *Anadontella*, реже встречаются крупные и средние (10–30 мм) раковины восточно-европейского рода *Palaeoanodonta* (= *Tajlugania*), в подчиненном значении находятся виды ангарского рода *Concinella*. Совместно с двустворками встречаются остракоды, чешуя рыб, редкие листья кордаитов.

Средняя ассоциация *Anadontella*–*Concinella* распространена в интервале пластов 80–89 в нижней половине тайлуганского горизонта. В ней доминируют крупные *Concinella*, встречающиеся совместно с многочисленными мелкими (угнетенными?) представителями рода *Anadontella*. Именно в этом интервале совместно с двустворками начинают встречаться мелколистные сульцивные кордаиты. Маркирующие слои с *Concinella* установлены в основании вятского яруса Двинско-Мезенского бассейна Восточной Европы (Urzaeva, Silantiev, 2019).

Верхняя ассоциация *Anadontella* + *депуваты* распространена в верхней половине тайлуганского горизонта от пласта 90 до границы с мальцевской свитой, а также в нижних слоях последней. Ассоциация характеризуется большим разнообразием форм и необычных очертаний раковин рода *Anadontella* и близких к нему родов. Диверсификация двустворок объясняется «...исчезновением обширных водных пространств и замещением их мелкими разрозненными водоемами...» (Бетехтина и др., 1988, с. 70).

В нижних слоях мальцевской свиты стратиграфически чуть выше слоев с ассоциацией *Anadontella* + *депуваты* встречен узкий стратиграфический интервал с ассоциацией мелких *Palaeomutela* (*Palaeoanodonta*). Это терминальные слои с фауной пермских двустворок в Кузбассе (Silantiev et al., 2020; Davydov et al., 2021).

Таким образом, в тайлуганском горизонте наблюдаются стратиграфическая последовательность не менее трех ассоциаций неморских двустворок, смешение представителей ангарских и еврамерийских родов, увеличение видообразования ангарских родов, родственных *Anadontella*, у рубежа перми и триаса.

Остатки рыб известны только из верхней части тайлуганской свиты и представлены чешуями и зубами лучеперых. А.А. Сергиенко определила (но не успела дать формальное описание) девять таксонов данного интервала (Данилов и др., 1978), из которых удалось обнаружить только один вид – *Planalepis diserta* Bakaev et Sergienko sp. nov. и дать ему описание (Бакаев, 2023).

В новых сборах из верхней части тайлуганской свиты (урочище Бабий Камень) нами определены *Gregarialepis*

binaria Bakaev et Sergienko sp. nov. (голотип происходит из ленинской свиты (Бакаев, 2023)), Gonatodidae gen. indet.

В нижних слоях мальцевской свиты, относящихся к терминальной перми (Davydov et al., 2021), определены *Gregarialepis binaria*, Gonatodidae gen. indet., Eurygnotoiidae gen. indet., Varialepididae gen. indet., Acrolepididae gen. indet.

Таксоны, установленные в верхней половине тайлуганской свиты и нижних слоях мальцевской свиты, образуют однородный ихтиокомплекс, преемственный с более ранними ихтиокомплексами казанково-маркинской и ленинской свит. Сходство обосновывается наличием *Gregarialepis binaria* и представителей семейства Eurygnotoiidae.

Ихтиокомплекс существенно отличается от заведомо раннетриасовых (оленинских?) ихтиокомплексов Тунгусской синеклизы: в нем отсутствуют формы, близкие к *Korutichthys* и *Avamia* из авамской свиты (Казанцева-Селезнева, 1980) и Scanilepiformes, Perleidiformes, Pholidopleuriformes и Semionotiformes из бугариктинской свиты (Sytchevskaya, 1999).

Тайлуганско-нижнемальцевский ихтиокомплекс эндемичный, почти не имеющий сходства с лопинскими ихтиокомплексами Европы. В нем есть формы Eurygnotoiiformes и Varialepididae, общие с ихтиофауной Европейской России. В то же время в тайлуганском комплексе отсутствуют Scanilepiformes и Discordichthyiformes, характерные для Европейской России (Миних, Миних, 2009; Бакаев, 2022), и Platysomidae и Palaeoniscidae, характерные для Западной Европы и Гренландии (Aldinger, 1937; Haubold, Schaumburg, 1985). По нашему мнению, присутствие европейских Eurygnotoiiformes и Varialepididae в лопинской ихтиофауне Сибири является свидетельством среднепермских (гваделупских) межрегиональных контактов (Бакаев, Kogan, 2020; Бакаев, 2023), нежели позднепермских функционирующих путей миграции. Это доказывается тем, что элементы, общие с другими ихтиофаунами, появляются в Сибири именно в среднепермскую эпоху.

Таким образом, редкость остатков рыб и значительный провинциализм тайлуганско-нижнемальцевской ихтиофауны пока не позволяют проводить надежную корреляцию с другими, более изученными регионами и выделить таксоны, маркирующие границу вучапинского и чансинского ярусов МХШ.

Приведенные выше данные показывают, что по макрофлоре, остракодам, конхостракам, неморским двустворкам в тайлуганском горизонте удастся выделить две-три ассоциации. Возможно, после дополнительных биостратиграфических исследований нам удастся установить в Кузбассе уровень, сопоставимый с границей между вучапинским и чансинским ярусами.

Заключение

Таким образом, на основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Радиометрические датировки тонштейнов из угольного пласта 78, равные $257,0 \pm 1,3$ и $256,6 \pm 0,4$ млн лет, позволяют оценить возраст нижней границы тайлуганской свиты примерно в 257,0 млн лет, а продолжительность накопления слагающих ее осадков в 4,22 млн лет. Новые датировки уточняют возраст тайлуганского горизонта Кузбасса и впервые дают возможность напрямую сопоставить его с МХШ.

2. Предполагаемая (расчетная) скорость накопления суммарных осадков тайлуганской свиты (без учета коэффициента уплотнения торф/уголь) составляет около 130–180 м/млн лет, или 0,13–0,18 мм/год, а скорость накопления угля – 0,024 мм/год. Такие значения скоростей сопоставимы со скоростями накопления угленосных толщ каменноугольного Донецкого бассейна (Davydov et al., 2010) и позднепермского бассейна Боуэн в Австралии (Ayaz et al., 2016).

3. Предполагаемая скорость накопления торфа в Кузбассе в тайлуганское время (палеоширота 65 с.ш.) составляет 0,24 мм/год при значении коэффициента уплотнения торфа, принятом 10:1. Это значение сопоставимо со скоростями накопления торфа в голоценовых болотах Сибири (60° с.ш.), Кузнецкого Алатау (54–55° с.ш.) и Европейской России (54° с.ш.), но в 5 и более раз меньше скоростей накопления торфа в большинстве других голоценовых болот Земли (в среднем от 1 до 3,5 мм/год). Возможно, это отличие связано с условностью принятого нами значения (10:1) коэффициента уплотнения.

4. Нахождение тонштейнов в угольных пластах тайлуганской свиты позволяет предположить, что верхняя поверхность торфа в момент его накопления располагалась ниже уровня воды, служившей защитным экраном для тонких вулканических осадков, предохраняя их от уничтожения дождевой водой и поверхностным стоком.

5. Биостратиграфические данные по растениям, остракодам, конхостракам, неморским двустворкам демонстрируют неоднородность тайлуганского комплекса и потенциальную возможность обоснования в Кузбассе уровня, отвечающего границе между вучапинским и чансинским ярусами. Данные по насекомым и рыбам недостаточны для таких выводов и требуют дополнительных коллекционных сборов.

6. Полученные данные показывают целесообразность радиометрического датирования цирконов из тонштейнов и туфовых прослоев других стратиграфических уровней верхнего палеозоя Кузбасса. Новые датировки уточняют хроностратиграфический каркас и рассчитанные скорости накопления суммарных осадков, угля и торфа, приведенные в настоящей работе.

Благодарность/Финансирование

Авторы выражают благодарность рецензентам и редактору за ценные замечания и комментарии, способствующие улучшению статьи.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10045, <https://rscf.ru/project/22-77-10045/>.

	№ точки	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						Th/U	D, %
		Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	2σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	2σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	2σ		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	2σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	2σ	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	2σ		
NIST612	1	0,9240	0,029	34,6000	1,200	0,2649	0,007									
	2	0,9060	0,029	34,0000	1,000	0,2666	0,007									
	3	0,8920	0,032	34,2000	1,200	0,2739	0,008									
	4	0,9500	0,040	34,9000	1,200	0,2652	0,009									
	5	0,9090	0,030	33,6000	1,100	0,2671	0,008									
	6	0,9220	0,030	34,3000	1,000	0,2726	0,008									
	7	0,9230	0,029	33,6000	1,000	0,2661	0,008									
	8	0,8920	0,028	33,1000	1,000	0,2678	0,007									
	9	0,8940	0,029	33,0000	0,940	0,2689	0,008									
91500	1	0,0750	0,004	1,9000	0,120	0,1792	0,004	0,37	1070	41	1061	23	1020	110	0,43	1
	2	0,0724	0,006	1,8200	0,140	0,1798	0,005	0,33	1033	52	1065	25	860	160	0,42	-3
	3	0,0731	0,005	1,8400	0,120	0,1795	0,004	0,35	1035	46	1063	23	880	150	0,41	-3
	4	0,0716	0,005	1,8600	0,140	0,1832	0,006	0,41	1050	49	1083	31	890	160	0,39	-3
	5	0,0717	0,006	1,8000	0,160	0,1786	0,005	0,29	1018	57	1059	25	840	180	0,39	-4
	6	0,0733	0,005	1,7800	0,110	0,1788	0,005	0,41	1021	43	1059	25	870	140	0,38	-4
	7	0,0765	0,006	1,8600	0,140	0,1786	0,005	0,38	1049	54	1058	28	970	170	0,39	-1
	8	0,0781	0,008	1,8700	0,200	0,1774	0,006	0,32	1040	74	1052	33	1050	200	0,41	-1
Plesovice	1	0,0530	0,003	0,3940	0,022	0,0536	0,001	0,37	337	17	337,6	7	260	120	0,11	0
	2	0,0540	0,003	0,4010	0,024	0,0538	0,001	0,37	339	17	338	7,6	330	130	0,10	0
	3	0,0562	0,004	0,3960	0,022	0,0528	0,001	0,41	336	16	331,9	7,6	380	130	0,10	1
	4	0,0536	0,003	0,3970	0,021	0,0542	0,001	0,35	337	15	340	6,2	290	120	0,10	-1
	5	0,0527	0,003	0,3890	0,020	0,0532	0,001	0,35	331	15	334,2	5,8	270	110	0,10	-1
	6	0,0526	0,003	0,3990	0,027	0,0537	0,001	0,28	338	19	336,9	6,4	270	130	0,10	0
	7	0,0534	0,003	0,3900	0,019	0,0536	0,001	0,38	332	14	336,8	6,4	290	110	0,11	-1
	8	0,0527	0,003	0,3980	0,026	0,0543	0,001	0,37	338	18	340,7	8,2	270	130	0,10	-1

Табл. 1. Результаты LA-ICPMS датирования стандартов и цирконов образцов 19-kzb11 и 19-kzb13 из угольного пласта 78 тайлуганской свиты

	№ точки	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет						Th/U	D, %	
		Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	2σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	2σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	2σ		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	2σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	2σ	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	2σ			
Образец 19-kzb13	Sample01	0,0655	0,003	0,5530	0,032	0,0609	0,002	0,48	442	20	381	10	710	110	0,63	16	
	Sample02	0,0514	0,004	0,3050	0,025	0,0409	0,001	0,39	268	20	258,1	8	240	160	0,53	4	
	Sample03	0,0527	0,003	0,2920	0,017	0,0406	0,001	0,40	258	14	256,3	5,8	250	120	0,56	1	
	Sample04	0,0516	0,004	0,2850	0,021	0,0403	0,001	0,29	254	17	254,3	5,4	200	140	0,44	0	
	Sample05	0,0518	0,004	0,2830	0,022	0,0399	0,001	0,32	251	18	252,2	6,5	200	160	0,54	0	
	Sample06	0,0516	0,004	0,2930	0,024	0,0408	0,001	0,33	256	19	257,9	6,8	170	160	0,58	-1	
	Sample07	0,0539	0,005	0,2820	0,023	0,0397	0,001	0,37	254	19	250,9	7,2	270	190	0,70	1	
	Sample08	0,0525	0,004	0,2730	0,022	0,0391	0,001	0,29	243	18	247	5,7	230	170	0,54	-2	
	Sample09	0,0526	0,004	0,2830	0,023	0,0399	0,001	0,31	251	18	252,3	6,5	230	170	0,54	-1	
	Sample10	0,0517	0,003	0,2910	0,017	0,0405	0,001	0,32	257	13	256,1	4,7	210	110	0,55	0	
	Sample11	0,0529	0,005	0,2780	0,026	0,0396	0,001	0,30	247	20	250,1	6,6	250	200	0,58	-1	
	Sample12	0,0634	0,005	0,3640	0,029	0,0419	0,001	0,28	310	21	264,3	5,7	550	170	0,53	17	
	Sample13	0,0532	0,005	0,2960	0,027	0,0401	0,001	0,36	259	21	253,5	7,8	230	180	0,50	2	
	Sample14	0,0608	0,005	0,3130	0,025	0,0375	0,001	0,37	276	20	237	6,8	510	160	0,48	16	
	Sample15	0,0526	0,006	0,2760	0,030	0,0397	0,001	0,30	245	24	251,1	8,3	230	230	0,63	-2	
	Sample17	0,0542	0,005	0,3040	0,026	0,0415	0,001	0,31	266	20	261,8	6,7	270	180	0,51	2	
	Sample18	0,0518	0,003	0,2900	0,017	0,0405	0,001	0,34	257	13	256	5	250	120	0,54	0	
	Sample19	0,0650	0,005	0,3190	0,021	0,0346	0,001	0,42	280	16	219,5	5,9	690	150	0,42	28	
	Sample20	0,0523	0,006	0,3090	0,040	0,0419	0,002	0,31	271	31	265	10	240	260	0,50	2	
	Sample21	0,0514	0,004	0,2870	0,022	0,0406	0,001	0,32	254	18	256,3	6,4	180	160	0,50	-1	
	Sample22	0,0674	0,006	0,3650	0,033	0,0397	0,001	0,33	308	25	250,9	7,6	600	200	0,40	23	
	Sample24	0,0512	0,003	0,2880	0,016	0,0409	0,001	0,48	255	13	258,3	6,5	190	110	0,45	-1	
	Образец 19-kzb11	Sample01	0,0535	0,005	0,2910	0,027	0,0384	0,001	0,27	255	21	243,1	6	260	180	0,66	5
		Sample02	0,0821	0,008	0,4540	0,044	0,0411	0,001	0,30	377	32	259,5	7,5	1040	210	0,80	45
Sample03		0,0728	0,005	0,3460	0,033	0,0333	0,002	0,47	297	24	211	9,6	910	150	0,62	41	
Sample04		0,0743	0,007	0,7310	0,076	0,0671	0,003	0,36	547	46	418	15	930	220	0,71	31	
Sample05		0,0548	0,006	0,2980	0,035	0,0396	0,001	0,26	258	26	250,1	7,4	230	210	0,65	3	
Sample06		0,0530	0,007	0,3000	0,030	0,0415	0,002	0,55	264	24	262	14	250	270	0,71	1	
Sample07		0,0514	0,005	0,2880	0,027	0,0402	0,001	0,29	257	23	254,1	7,1	210	190	0,86	1	
Sample08		0,0564	0,007	0,3050	0,038	0,0398	0,001	0,26	263	29	251,4	8	260	250	0,64	5	
Sample09		0,0528	0,006	0,2970	0,031	0,0403	0,001	0,31	258	24	254,4	7,9	200	210	0,57	1	

Табл. 1. Продолжение



Номер зерна	Возраст, млн лет								Состав				Изотопные отношения							
	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	Corr. coef.	% дискорд.	Th/U	Pb* (pg)	Pb _c (pg)	Pb*/Pb _c	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	
	(a)	abs	(a)	abs	(a)	abs		(b)	(e)	(d)	(e)	(f)	(h)	(i)	%	(i)	%	(i)	%	
Образец 19kzb-11																				
19kzb11-1	254,31	6,53	262,31	113,55	334,43	1114,84	0,003	23,96	0,59	2,34	6,09	0,38	41,69	0,040238	2,62	0,294777	49,12	0,053155	49,18	
19kzb11-2	261,86	2,24	253,37	38,84	175,50	404,52	0,005	-49,21	0,65	3,68	3,12	1,18	88,55	0,041457	0,87	0,283422	17,32	0,049605	17,34	
19kzb11-3	245,93	0,89	212,71	15,68	-140,87	202,47	0,013	274,58	0,49	10,54	3,87	2,72	187,42	0,038887	0,37	0,233049	8,17	0,043485	8,18	
19kzb11-4	227,98	0,25	227,66	3,79	224,34	42,95	0,024	-1,62	0,86	15,96	1,41	11,29	652,71	0,035999	0,11	0,251337	1,86	0,050660	1,86	
19kzb11-5	251,45	1,42	188,17	25,93	-547,61	406,07	0,009	145,92	0,50	5,90	3,43	1,72	125,53	0,039777	0,58	0,203602	15,10	0,037140	15,10	
19kzb11-6	256,66	2,24	242,02	39,05	102,25	429,20	0,008	-151,00	0,66	4,13	3,55	1,16	87,51	0,040617	0,89	0,269156	18,14	0,048082	18,15	
19kzb11-7	258,16	1,84	255,03	31,89	226,27	327,16	0,005	-14,10	0,68	5,00	3,50	1,43	102,41	0,040860	0,73	0,285518	14,14	0,050702	14,16	
19kzb11-8	253,76	3,68	247,42	64,96	187,69	689,33	0,003	-35,20	0,65	8,21	11,93	0,69	59,39	0,040150	1,48	0,275925	29,58	0,049865	29,62	
Образец 19kzb-13																				
19kzb13-3	254,30	0,69	253,83	9,84	249,44	100,70	0,048	-1,95	0,52	13,56	3,10	4,38	286,19	0,040237	0,28	0,284002	4,38	0,051214	4,38	
19kzb13-4	253,27	0,48	252,81	6,53	248,55	67,16	0,043	-1,90	0,44	12,64	1,97	6,41	419,08	0,040070	0,19	0,282715	2,92	0,051194	2,92	
19kzb13-5	255,16	0,83	248,91	11,29	190,37	119,04	0,030	-34,04	0,47	14,45	3,81	3,79	253,47	0,040376	0,33	0,277795	5,12	0,049923	5,12	
19kzb13-6	260,08	0,99	257,40	16,93	233,04	172,00	0,007	-11,61	0,58	7,53	2,86	2,63	177,24	0,041170	0,39	0,288529	7,44	0,050851	7,45	
19kzb13-7	256,47	0,80	253,57	13,41	226,84	138,25	0,014	-13,06	0,53	7,85	2,43	3,24	216,29	0,040586	0,32	0,283673	5,98	0,050714	5,98	
19kzb13-8	249,74	0,36	247,75	5,81	228,99	61,05	0,017	-9,06	0,51	22,23	3,05	7,29	465,45	0,039501	0,15	0,276342	2,64	0,050762	2,64	
19kzb13-9	256,50	0,79	257,04	13,52	261,97	136,85	0,008	2,09	0,52	20,33	6,35	3,20	214,54	0,040592	0,31	0,288073	5,95	0,051494	5,96	
19kzb13b-1	251,68	0,90	247,92	15,02	212,52	158,33	0,016	-18,42	0,47	15,71	5,58	2,81	192,98	0,039813	0,37	0,276554	6,83	0,050402	6,83	
19kzb13b-2	254,15	0,43	252,70	6,80	239,28	70,10	0,028	-6,21	0,49	20,33	3,24	6,28	405,87	0,040212	0,17	0,282576	3,04	0,050989	3,04	
19kzb13g-1	248,98	0,39	247,15	5,38	229,78	56,66	0,033	-8,36	0,55	35,13	4,43	7,93	499,58	0,039379	0,16	0,275586	2,45	0,050779	2,45	
19kzb13g-2	254,36	0,50	254,23	7,51	253,06	76,82	0,030	-0,51	0,33	20,43	3,76	5,43	368,39	0,040246	0,20	0,284509	3,34	0,051294	3,34	
19kzb13g-4	255,00	0,49	250,72	8,09	210,90	84,43	0,013	-20,91	0,57	12,20	2,26	5,41	345,32	0,040349	0,19	0,280082	3,64	0,050366	3,64	
19kzb13g-5	256,60	0,37	255,34	5,92	243,82	60,41	0,029	-5,24	0,43	21,49	3,01	7,14	465,33	0,040608	0,15	0,285919	2,62	0,051089	2,62	

Табл. 2. Результаты U–Pb (CA–ID–TIMS) геохронологического датирования зерен циркона из угольного пласта 78 тайлуганской свиты
 (a) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – изотопные датировки, рассчитанные с использованием констант распада $\lambda_{238} = 1,55125 \cdot 10^{-10}$ и $\lambda_{235} = 9,8485 \cdot 10^{-10}$ (Jaffey et al., 1971) (λ – константа распада — доля распавшихся ядер данного изотопа за единицу времени от общего их количества в закрытой системе)
 (b) % дискорд. – % дискордантности равен $100\% - [(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ датировка}) / (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \text{ датировка}) \cdot 100\%]$
 (c) Th/U – содержание Th, рассчитанное на основе радиогенного ^{208}Pb и датировки образца по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ при предполагаемой согласованности между U-Th- и Pb-системами
 (d) Pb* (pg) – общая масса радиогенного Pb в пикограммах ($1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ г}$)
 (e) Pb_c (pg) – общая масса обычного Pb (Pb_c – Pb соттон) в пикограммах ($1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ г}$)
 (f) Pb*/Pb_c – отношение радиогенного Pb (включая ^{208}Pb) к обычному Pb
 (h) $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – измеренное соотношение с поправкой только на фракционирование и вклад спайков
 (i) Измеренные соотношения ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) с поправкой на фракционирование, трассер и бланк
 abs – абсолютная числовая погрешность; Corr. coef. – коэффициент корреляции

Литература

- Адаменко М.М., Гутак Я.М. (2014). Новые данные об эволюции торфяных болот Кузнецкого Алатау в голоцене (на примере Тигертышского горного узла). *Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: мат. Четвертого Международного симпозиума*. Томск: Изд-во Томского ун-та, с. 257–259.
- Арбузов С.И., Вергунов А.В., Ильенко С.С., Иванов В.А., Иванов В.П., Соколов Б.Р. (2019). Геохимия, минералогия и генезис редкометалло-угольного месторождения в пласте XI на юге Кузнецкого бассейна. *Геосферные исследования*, (2), с. 35–61. <https://doi.org/10.17223/25421379/11/3>
- Бабин Г.А. (2007). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 – Новокузнецк. Объяснительная записка. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 665 с. (МПР России. ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «Запсибгеолсъемка»)
- Бакаев А.С. (2022). История изучения пермских костных рыб Европейской части России. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*, 164(3), с. 475–500. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2022.3.475-500>
- Бакаев А.С. (2023). К ревизии пермских лучеперых рыб из казанково-маркинской свиты Кузбасса. *Палеонтологический журнал*, (3), с. 97–104.
- Бетехтина О.А., Горелова С.Г., Дрягина Л.Л., Данилов В.И., Батяева С.П., Токарева П.А. (1988). Верхний палеозой Ангариды. *Труды Академии наук СССР. Сибирское отделение Института геологии и геофизики*. Новосибирск: Наука, 264 с.
- Богомазов В.М., Вербицкая Н.Г., Золотов А.П., Фаддеева И.З. (1996). Стратиграфия и условия образования кольчугинской серии Кузбасса. *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 2. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 104–115.
- Будников И.В. (1996). Решение рабочего палеоботанического коллоквиума, посвященного корреляции фитокомплексов карбона и перми Западного Верхоянья, востока Тунгусской синеклизы и Кузбасса (стратопла флорнозона верхнего палеозоя Ангариды), Новосибирск, 20–27 апр. 1992 г. *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 2. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 95–99.
- Ван А.В. (1968). Роль пирокластического материала в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна. *Советская геология*, (4), с. 129–138.
- Ван А.В., Казанский Ю.П. (1985). Вулканический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 128 с.
- Вахрамеев В.А., Добрускина И.А., Заклинская Е.Д., Мейен С.В. (1970). Палеозойские и мезозойские флоры Евразии и фитогеография этого времени. *Труды ГИН*, 208. М.: Наука, 431 с.
- Волкова Е.М., Пельгунова Л.А., Кочкина А.В. (2014). Динамика развития болот в карстово-суффозионных депрессиях и накопление химических элементов в торфяных залежах. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*, (4), с. 158–173.
- Гутак Я.М. (2021). Становление структуры западной части Алтае-Саянской складчатой области (мезозойский этап). *Геосферные исследования*, (1), с. 123–129. <https://doi.org/10.17223/25421379/18/10>
- Гутак Я.М., Антонова В.А., Багмет Г.Н., Габова М.Ф., Савицкий В.Р., Толоконникова З.А. (2008). Очерки исторической геологии Кемеровской области. Новокузнецк, 132 с.
- Гутак Я.М., Рубан Д.А. (2016). Молассовые толщи и тектонический режим их накопления: попытка концептуального синтеза с учетом новых геологических данных. *Вестник СибГИУ*, (1), с. 9–14.
- Гутак Я.М., Антонова В.А. (2017). Начальный этап развития Кузнецкого прогиба (юг Западной Сибири). *Проблемы палеоэкологии и исторической геоэкологии. Сборник трудов Всероссийской научной конференции*. Под ред. А.В. Иванова, И.В. Новикова, И.А. Яшкова. М., Саратов: ПИН РАН, СГТУ, ООО «Кузница рекламы», с. 101–109.
- Данилов В.И., Евтушенко В.Е., Меньшикова Л.В., Сергиенко А.А., Сухов С.В., Токарева П.А. (1978). Палеонтологическая характеристика опорного разреза верхнепермских отложений кольчугинской серии Кузнецкого бассейна. *Новое в стратиграфии и палеонтологии среднего и верхнего палеозоя Средней Сибири*. Новосибирск: СНИИГГиМС, с. 130–144.
- Ермилов В.И. (2003). Ерунаковский район. Прогнозные ресурсы. *Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай)*. Т. 2. М.: ООО «Геонформцентр», с. 271–287.
- Жаринова В.В. (2021). Корреляция отложений индского яруса Евразии по фауне конхострак. *ПАЛЕОСТРАТ–2020. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН*. М.: Палеонтологический ин-т им. А.А. Борисяка РАН, с. 30–31.
- Казанский Ю.П., Ван А.В. (1996). Применение тефрохронологии для расчленения и корреляции верхнепалеозойских отложений Кузбасса. *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 2. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 31–37.
- Казанцева-Селезнева А.А. (1980). Пермские палеониски Средней Сибири. *Палеонтологический журнал*, (1), с. 95–103.
- Карпенко Л.В., Прокушкин А.С. (2018). Генезис и история послеледникового развития лесного болота в долине р. Дубчес. *Сибирский лесной журнал*, (5), с. 33–44. <https://doi.org/10.15372/SJFS20180503>
- Кутыгин Р.В., Будников И.В., Сивчиков В.Е. (2020). Основные черты стратиграфии касимовско-гжельских и пермских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, 25(4), с. 5–29. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1>
- Лавренов П.Ф., Снежко Б.А., Щигрев А.Ф., Дмитриева Н.В., Филиппова Н.Е., Носков Ю.С., Зейферт Л.Л. (2015). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. 2-е изд. Серия Кузбасская. Лист N-45-IX (Крапивинский). Объяснительная записка. М.: МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 156 с.
- Лавренов П.Ф., Снежко Б.А., Щигрев А.Ф. и др. (2018). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000 Серия Кузбасская. Лист N-45-XVI (Осиновое Плесо). Объяснительная записка. М.: МФ ФГБУ «ВСЕГЕИ», 151 с.
- Легенда Кузбасской серии государственной геологической карты Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Новокузнецк, 1999.
- Лезнин А.И., Папин Ю.С. (1996). Роль первой региональной стратиграфической схемы Кузбасса в установлении крупных этапов угленакпления. *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 1. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 12–19.
- Мандельштам М.И. (1956). Остракоды угленосных отложений Кузнецкого бассейна. *Атлас руководящих форм ископаемых флоры и фауны пермских отложений Кузнецкого бассейна*. Л.: Гостоптехиздат, с. 58–109.
- Мейен С.В. (1990). Теоретические проблемы палеоботаники. М.: Наука, 285 с.
- Миних А.В., Миних М.Г. (2009). Ихтиофауна перми Европейской России. Саратов: Изд. центр «Наука», 244 с.
- Нейбург М.Ф. (1948). Верхнепалеозойская флора Кузнецкого бассейна. Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 343 с.
- Нейбург М.Ф. (1960). Листостебельные мхи из пермских отложений Ангариды. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 188 с.
- Неуструева И.Ю. (1966). Верхнепермские остракоды Кузнецкого бассейна. *Сборник «Континентальный верхний палеозой и мезозой Сибири и Центрального Казахстана»*. М.-Л.: Наука, с. 54–95.
- Общая стратиграфическая шкала России. https://vsegei.ru/ru/about/msk/str_scale/str_sch-2-2022.jpg
- Папин Ю.С. (1969). Процветающие, нормальные и угнетенные фауны пелелипод кольчугинской серии Кузбасса. *Палеонтологический журнал*, (1), с. 13–18.
- Папин Ю.С. (1973). Маркирующие фаунистические слои в осадках кольчугинской серии Кузбасса. *Геология и нефтегазоносность Западной Сибири. Труды Тюменского индустриального института*, (17), с. 104–115.
- Пономаренко А.Г. (2011). Новые жесткокрылые (Insecta, Coleoptera) местонахождения Вязники, терминальная пермь европейской России. *Палеонтологический журнал*, (4), с. 55–63.
- Решение совещания по стратиграфии верхнепалеозойских отложений Кузбасса (1996). *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 2. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 93–94.
- Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири (1979). Часть 2 (средний и верхний палеозой). Новосибирск, 1982.
- Родендорф Б.Б. (1961). Отряд Coleoptera. Жесткокрылые или жуки. *Палеозойские насекомые Кузнецкого бассейна*. Под ред. Б.Б. Родендорфа. *Труды ПИН*, (85). М.: Изд-во АН СССР, с. 393–469.
- Сендерзон Э.М., Шорин В.П., Шугуров В.Ф. (1966). Условия угленакпления и некоторые закономерности распространения углей Кузбасса. *Атлас углей Кузнецкого бассейна*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, с. 160–172.
- Спижарский Т.Н. (1937). Ostracoda кольчугинской свиты угленосных осадков Кузнецкого бассейна. *Труды ЦНИГРИ*, (97), с. 139–170.

- Спизарский Т.Н. (1939). Отряд Ostracoda. Раковинчатые раки. *Атлас руководящих форм ископаемых фаун СССР. Пермская система*. Т. 6. Ленинград: Госгеолиздат, с. 193–196.
- Стратиграфический кодекс России (2019). Утвержден Бюро МСК 18 октября 2005 г. Сост. А.И. Жамойда и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 96 с.
- Угольная база России (2003). *Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай)*. Т. 2. Под ред. А.П. Авдеев, В.П. Баповнев, С.М. Борисов. М.: ООО «Геоинформцентр», 604 с.
- Шварц С.В. (2010). Геологический отчет с подсчетом запасов в границах лицензии ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» КЕМ 11672 ТЭ» на Талдинском каменноугольном месторождении. Кемерово.
- Черновьянц М.Г. (1992). Тонштейны и их использование при изучении угленосных формаций. М.: Недра, 144 с.
- Юзвизкий А.З. (2003). Кузнецкий угольный бассейн. *Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай)*. Т. 2. М.: ООО «Геоинформцентр», с. 7–46.
- Ярков В.О. (1996). О методах стратиграфического деления угленосных толщ Кузбасса. *Кузбасс – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды*. Т. 1. Под ред. И.В. Будникова. Новосибирск: ЮжСибгеолком, ПССС «Интергео», с. 3–5.
- Aldinger H. (1937). Permian Ganoidfische Ostgrönland. *Meddelelser om Grönland*, 102(3), 392 p.
- Amler M.R.W., Silantiev V.V. (2021). A global review of Carboniferous marine and non-marine bivalve biostratigraphy. *Geological Society London, Special Publications*, 512(1), pp. 893–932. <https://doi.org/10.1144/sp512-2021-101>
- Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., Ilenok S.S. (2011). Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia). *International Journal of Coal Geology*, 86(4), pp. 318–328. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.03.005>
- Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V., Ilenok S.S., Mezhibor A.M., Ivanov V.P., Zarubina N.A. (2019). Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia. *Ore Geology Reviews*, 113, 103073. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103073>
- Ayaz S. A., Martin M., Esterle J., Amelin Y., Nicoll R. S. (2016) Age of the Yarrabee and accessory tuffs: implications for the upper Permian sediment-accumulation rates across the Bowen Basin. *Australian Journal of Earth Sciences*, 63(7), pp. 843–856. <https://doi.org/10.1080/08120099.2016.1255254>
- Bakaev A., Kogan I. (2020). A new species of Burguklia (Pisces, Actinopterygii) from the Middle Permian of the Volga Region (European Russia). *Paläontologische Zeitschrift*, 94(2), pp. 93–106. <https://doi.org/10.1007/s12542-019-00487-6>
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. (2004). Improved ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205(1–2), pp. 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>
- Bowring J.F., McLean N.M., Bowring S.A. (2011). Engineering cyber infrastructure for U-Pb geochronology: Tripoli and U-Pb_Redux. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(6), Q0AA19. <https://doi.org/10.1029/2010GC003478>
- Budnikov I.V., Kutygin R.V., Shi G.R., Sivtchikov V.E., Krivenko O.V. (2020). Permian stratigraphy and paleogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 196, 104365. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104365>
- Buslov M.M., Watanabe T., Fujiwara Y., Iwata K., Smirnova L.V., Safonova I.Y., Semakov N.N., Kiryanova A.P. (2004). Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: Tectonic pattern and model of formation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5), pp. 655–671. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00131-7)
- Cagliari J., Lavina E.L.C., Philipp R.P., Tognoli F.M.W., Basei M.A.S., Faccini U.F. (2014). New Sakmarian ages for the Rio Bonito formation (Paraná Basin, southern Brazil) based on LA-ICP-MS U-Pb radiometric dating of zircons crystals. *Journal of South American Earth Sciences*, 56, pp. 265–277. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.013>
- Cao W., Zahirovic S., Flament N., Williams S., Golonka J., Müller R.D. (2017). Improving global paleogeography since the late Paleozoic using paleobiology. *Biogeosciences*, 14(23), pp. 5425–5439. <https://doi.org/10.5194/bg-14-5425-2017>
- Condon D.J., Schoene B., McLean N.M., Bowring S.A., Parrish R.R. (2015). Metrology and traceability of U–Pb isotope dilution geochronology (EARTHTIME Tracer Calibration Part I). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 164, pp. 464–480. <https://doi.org/10.31223/osf.io/kr3ge>
- Creech M. (2002). Tuffaceous deposition in the Newcastle Coal Measures: challenging existing concepts of peat formation in the Sydney Basin, New South Wales, Australia. *International Journal of Coal Geology*, 51(3), pp. 185–214. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00084-8)
- Dai S., Bechtel A., Eble C.F., Flores R.M., French D.D., Graham I.T., Hood M.M., Hower J.C., Korasidis V.A., Moore T.A., Püttmann W., Wei Q., Zhao L., O’Keefe J.M.K. (2020). Recognition of peat depositional environments in coal: A review. *International Journal of Coal Geology*, 219, 103383. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103383>
- Davydov V.I., Crowley J.L., Schmitz M.D., Poletaev V.I. (2010). High-Precision U-Pb Zircon Age Calibration of the Global Carboniferous Time Scale and Milankovitch Band Cyclicity in the Donets Basin, Eastern Ukraine. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 11, Q0AA04. <https://doi.org/10.1029/2009gc002736>
- Davydov V.I., Korn D., Schmitz M.D. (2012). The Carboniferous period. *The Geologic Time Scale*, pp. 603–651. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00023-8>
- Davydov V.I., Arefiev M.P., Golubev V.K., Karasev E.V., Naumcheva M.A., Schmitz M.D., Silantiev V.V., Zharinova V.V. (2020). Radioisotopic and biostratigraphic constraints on the classical Middle-Upper Permian succession and tetrapod fauna of the Moscow syncline, Russia. *Geology*, 48(7), pp. 742–747. <https://doi.org/10.1130/G47172.1>
- Davydov V.I., Karasev E.V., Nurgaliev A.N.G., Schmitz M.D., Budnikov I.V., Biakov A.S., Kuzina D.M., Silantiev V.V., Urazaeva M.N., Zharinova V.V., Zorina S.O., Gareev B., Vasilenko D.V. (2021). Climate and biotic evolution during the Permian-Triassic transition in the temperate Northern Hemisphere, Kuznetsk Basin, Siberia, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 573(1), 110432. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110432>
- Ducassou C., Mercuzot M., Bourquin S., Rossignol C., Pellenard P., Beccaletto L., Ravier E. (2019). Sedimentology and U-Pb dating of Carboniferous to Permian continental series of the northern Massif Central (France): Local palaeogeographic evolution and larger scale correlations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533(1), 109228. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.06.001>
- Fikri H.N., Sachsenhofer R.F., Bechtel A., Gross D. (2022). Organic geochemistry and petrography in Miocene coals in the Barito Basin (Tutupan Mine, Indonesia): Evidence for astronomic forcing in kerapah type peats. *International Journal of Coal Geology*, 256, 103997. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.103997>
- Gerstenberger H., Haase G. (1997). A highly effective emitter substance for mass spectrometric Pb isotope ratio determinations. *Chemical Geology*, 136, pp. 309–312. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(96\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(96)00033-2)
- Haubold H., Schaumburg G. (1985). Die Fossilien des Kupferschiefers. Pflanzen- und Tierwelt zu Beginn des Zechsteins – eine Erzlagerstätte und ihre Paläontologie. *Die neue Brehm-Bücherei*. Berlin: A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 333 p.
- Hiess J., Condon D.J., McLean N., Noble S.R. (2012). 238U/235U Systematics in Terrestrial Uranium-Bearing Minerals. *Science*, 335(6076), pp. 1610–1614. <https://doi.org/10.1126/science.1215507>
- Hudspith V., Scott A.C., Collinson M.E., Pronina N., Beeley T. (2012). Evaluating the extent to which wildfire history can be interpreted from inertinite distribution in coal pillars: An example from the Late Permian, Kuznetsk Basin, Russia. *International Journal of Coal Geology*, 89(1), pp. 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.07.009>
- International Chronostratigraphic Chart. <https://stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2023-04.pdf>
- Jaffey A.H., Flynn K.F., Glendenin L.E., Bentley W.C., Essling A.M. (1971). Precision Measurement of Half-Lives and Specific Activities of ²³⁵U and ²³⁸U. *Physical Review C*, 4(5), pp. 1889–1906. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.4.1889>
- Jurigan I., Ricardi-Branco F., Neregato R., dos Santos T.J.S. (2019). A new tonstein occurrence in the eastern Paraná Basin associated with the Figueira coalfield (Paraná, Brazil): Palynostratigraphy and U-Pb radiometric dating integration. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102377. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102377>
- Käßner A., Tichomirowa M., Lapp M., Leonhardt D., Whitehouse M., Gerdes A. (2021). Two-phase late Paleozoic magmatism (~ 313–312 and ~ 299–298 Ma) in the Lusatian Block and its relation to large scale NW striking fault zones: evidence from zircon U–Pb CA–ID–TIMS geochronology, bulk rock- and zircon chemistry. *International Journal of Earth Sciences*, 110(8), pp. 2923–2953. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02092-y>

- Lindsay R. (2018). Peatland (mire types): Based on Origin and Behavior of Water, Peat Genesis, Landscape Position, and Climate. *The Wetland Book*. C.M. Finlayson, G.R. Milton, R.C. Prentice, N.C. Davidson (Eds.). Berlin: Springer Science+Business Media, pp. 251–273. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_279-1
- Ludwig K.R. (2003). User's manual for Isoplot/Ex version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publications*, 4, 72 p.
- Lyons P.C., Krogh T.E., Kwok Y.Y., Davis D.W., Outerbridge W.F., Evans, J.H.T. (2006). Radiometric ages of the Fire Clay tonstein [Pennsylvanian (Upper Carboniferous), Westphalian, Duckmantian]: a comparison of U-Pb zircon single-crystal ages and ⁴⁰Ar/³⁹Ar sanidine single-crystal plateau ages. *International Journal of Coal Geology*, 67, pp. 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.12.002>
- Marcisz K., Czerwiński S., Lamentowicz M., Łuców D., Słowiński M. (2022). How paleoecology can support peatland restoration. *Past Global Changes Magazine*, 30(1), pp. 12–13. <https://doi.org/10.22498/pages.30.1.12>
- Mattinson J.M. (2005). Zircon U-Pb chemical abrasion (“CA-TIMS”) method: Combined annealing and multi-step partial dissolution analysis for improved precision and accuracy of zircon ages. *Chemical Geology*, 220, pp. 47–66. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.03.011>
- Metcalfe I., Crowley J.L., Nicoll R.S., Schmitz M. (2015). High-precision U-Pb CA-TIMS calibration of Middle Permian to Lower Triassic sequences, mass extinction and extreme climate-change in eastern Australian Gondwana. *Gondwana Research*, 28(1), pp. 61–81. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.002>
- Meyen S.V. (1982). The Carboniferous and Permian floras of Angaraland: (a synthesis). *Biological Memoirs*, 7(1), pp. 1–109.
- Meyen S.V., Afanasieva G.A., Betekhtina O.A. et al. (1996). The former USSR: Angara and surrounding marine basins. *International Union of Geological Sciences Publication*, 33, pp. 180–237.
- Miller J., Matzel J., Miller C., Burgess S., Miller R. (2007). Zircon growth and recycling during the assembly of large, composite arc plutons. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 167, pp. 282–299. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.04.019>
- Moore T.A., Shearer J.C. (2003). Peat/coal type and depositional environment – are they related? *International Journal of Coal Geology*, 56(34), pp. 233–252. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(03\)00114-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(03)00114-9)
- Moore T.A., Moroeng O.M., Shen J., Esterle J.S., Pausch R.C. (2021). Using carbon isotopes and organic composition to decipher climate and tectonics in the Early Cretaceous: An example from the Hailar Basin, Inner Mongolia, China. *Cretaceous Research*, 118, 104674. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104674>
- Mori A.L.O., de Souza P.A., Marques J.C., Lopes R. da C. (2012). A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: Biostratigraphical and geochronological implications for Gondwanan correlations. *Gondwana Research*, 21 (2–3), pp. 654–669. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.05.019>
- Novikov I.S., Cherkas O.V., Mamedov G.M., Simonov Y.G., Simonova T.Y., Nastavko V.G. (2013). Activity stages and tectonic division in the Kuznetsk Basin, Southern Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 54(3), pp. 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.02.007>
- Oshurkova M.V. (1996). Paleoeological parallelism between the Angaran and Euramerican phytogeographic provinces. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 90(1–2), pp. 99–111. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(95\)00026-7](https://doi.org/10.1016/0034-6667(95)00026-7)
- Paton Ch., Woodhead J.D., Hellstrom J.C., Herg J.M., Greig A., Maas R. (2010). Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3), pp. 1–36. <https://doi.org/10.1029/2009gc002618>
- Pellenard P., Gand G., Schmitz M., Galtier J., Broutin J., Stéyer J.S. (2017). High precision U-Pb zircon ages for explosive volcanism calibrating the NW European continental Autunian stratotype. *Gondwana Research*, 51, pp. 118–136. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.07.014>
- Piilo S.R., Zhang H., Garneau M., Gallego-Sala A., Amesbury M.J., Väliant M.M. (2019). Recent peat and carbon accumulation following the Little Ice Age in northwestern Québec, Canada. *Environmental Research Letters*, 14(7), 075002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab11ec>
- Posit team (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. <https://www.R-project.org/>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://posit.co/>
- Schoene B., Crowley J.L., Condon D.C., Schmitz M.D., Bowring S.A. (2006). Reassessing the uranium decay constants for geochronology using ID-TIMS U–Pb data. *Geochim Cosmochim Acta*, 70, pp. 426–445. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.09.007>
- Silantiev V.V. (2018). Permian Non-marine Bivalve Mollusks: Review of Geographical and Stratigraphic Distribution. *Paleontological Journal*, 52(7), pp. 707–729. <https://doi.org/10.1134/S0031030118070092>
- Silantiev V.V., Candra S., Urazaeva M.N. (2015). Systematics of Nonmarine Bivalve Mollusks from the Indian Gondwana Coal Measures (Damuda Group, Permian, India). *Paleontological Journal*, 49(12), pp. 1235–1274. <https://doi.org/10.1134/s0031030115120114>
- Silantiev V., Carter J., Urazaeva M., Nourgalieva N., Nizamova A. (2020). Early Triassic Non-Marine Bivalves *Utschamiella* Ragozin, 1937 from the Kuznetsk Coal Basin: First Microstructural Data. *Proc. 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020 “Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources”*. Bologna, Italy: Filodiritto International Proceedings, pp. 248–255.
- Simas M.W., Guerra-Sommer M., Cazzulo-Klepzig M., Menegat R., Schneider Santos J.O., Fonseca Ferreira J.A., Degani-Schmidt I. (2012). Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. *Journal of South American Earth Sciences*, 39, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.001>
- Slama J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G. A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. (2008). Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249(1–2), pp. 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Stivrin N., Ozola I., Galka M., Kuske E., Alliksaar T., Andersen T.J., Lamentowicz M., Wulf S., Reitalu T. (2017). Drivers of peat accumulation rate in a raised bog: impact of drainage, climate, and local vegetation composition. *Mires and Peat*, 19(08), pp. 1–19. <https://doi.org/10.19189/Map.2016.OMB.262>
- Sytchevskaya E.K. (1999). Freshwater fish fauna from the Triassic of northern Asia. *Proceedings of the international meeting Buckow, 1997. Mesozoic Fishes 2. Systematics and Fossil Record*. G. Arratia, H.-P. Schultze (Eds.). München: Verlag Dr. Pfeil, pp. 445–468.
- Thompson L.N., Finkelman R.B., Arbuzov S.I., French D.H. (2021). An unusual occurrence of ferroan magnesite in a tonstein from the Minusinsk Basin in Siberia, Russia. *Chemical Geology*, 568, 120131. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120131>
- Tichomirowa M., Käßner A., Sperner B., Lapp M., Leonhardt D., Linnemann U., Münker C., Ovtcharova M., Pfänder J.A., Schaltegger U., Sergeev S., von Quadt A. (2019). Dating multiply overprinted granites: the effect of protracted magmatism and fluid flow on dating systems (zircon U-Pb: SHRIMP/SIMS, LA-ICP-MS, CA-ID-TIMS; and Rb-Sr, Ar-Ar) – granites from the Western Erzgebirge (Bohemian Massif, Germany). *Chemical Geology*, 519, pp. 11–38. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.04.024>
- Urazaeva M., Silantiev V. (2019). Permian Non-Marine Bivalve Fauna from Continental Deposits of the Dvina-Mezen Basin. *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2019: Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources*. Kazan: Kazan University Press, pp. 272–276.
- Wang J., Shao L.Y., Wang H., Spiro B., Large D. (2018). SHRIMP zircon U–Pb ages from coal beds across the Permian–Triassic boundary, eastern Yunnan, southwestern China. *Journal of Palaeogeography*, 7(2), pp. 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2018.01.002>
- Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel F. (1995). Three Natural Zircon Standards for U–TH–PB, LU–HF, Trace Element and Re Analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1), pp. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.1995.tb00147.x>
- Widmann P., Davies J.H.F.L., Schaltegger U. (2019). Calibrating chemical abrasion: its effects on zircon crystal structure, chemical composition and U–Pb age. *Chemical Geology*, 511, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.02.026>
- Winston R.B. (1986). Characteristics features and compaction of plant tissues traced from permineralized peat to coal in Pennsylvanian coals (Desmoinesian) from the Illinois basin. *International Journal of Coal Geology*, 6(1), pp. 21–41. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(86\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0166-5162(86)90023-6)

Сведения об авторах

Владимир Владимирович Силантьев – доктор геол.-мин. наук, доцент, заведующий кафедрой палеонтологии и стратиграфии, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) Федеральный университет; Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета в городе Джизак

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 18
e-mail: Vladimir.Silantiev@kpfu.ru

Ярослав Михайлович Гутак – доктор геол.- мин. наук, профессор, заведующий кафедрой геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности, Институт горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42

Марион Тихомирова – доктор наук, заведующая лабораторией изотопной геохимии и геохронологии, Институт геологии, Технический университет Фрайбергской горной академии.

Германия, 09599, Фрайберг, Академиштрассе, д. 6

Анна Викторовна Куликова – кандидат геол.-мин. наук, научный сотрудник, лаборатория геодинамики и магматизма, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; Научно-образовательный центр геотермохронологии, Казанский (Приволжский) Федеральный университет.

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 3

Анастасия Сергеевна Фелькер – кандидат геол.- мин. наук, младший научный сотрудник, Лаборатория артропод, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

Миляуша Назимовна Уразаева – кандидат геол.-мин. наук, доцент кафедры палеонтологии и стратиграфии, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Любовь Георгиевна Пороховниченко – кандидат геол.- мин. наук, инженер-исследователь, Лаборатория микропалеонтологии, Томский государственный университет; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 36

Евгений Владимирович Карасев – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Лаборатория палеоботаники, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

Александр Сергеевич Бакаев – кандидат геол.- мин. наук, научный сотрудник, Лаборатория палеоихтиологии, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

Вероника Владимировна Жаринова – кандидат геол.- мин. наук, старший преподаватель кафедры палеонтологии и стратиграфии, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) Федеральный университет; Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Мария Алексеевна Наумчева – кандидат геол.-мин. наук, младший научный сотрудник, Лаборатория протистологии, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН; Казанский (Приволжский) Федеральный университет

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

Статья поступила в редакцию 11.04.2023;

Принята к публикации 04.05.2023; Опубликована 30.06.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

First radiometric dating of tonsteins from coal-bearing succession of the Kuznetsk Basin: U-Pb geochronology of the Tailugan Formation

V.V. Silantiev^{1,2*}, *Ya.M. Gutak*^{1,3}, *M. Tichomirowa*⁴, *A.V. Kulikova*⁵, *A.S. Felker*^{1,6}, *M.N. Urazaeva*¹, *L.G. Porokhovnichenko*^{1,7}, *E.V. Karasev*^{1,6}, *A.S. Bakaev*^{1,6}, *V.V. Zharinova*^{1,8}, *M.A. Naumcheva*^{1,6}

¹Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

²Branch of the Kazan (Volga Region) Federal University in the city of Jizzakh, Jizzakh, Uzbekistan

³Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

⁴Technische Universität Bergakademie, Freiberg, Germany

⁵Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk, Russian Federation

⁶Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁷Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

⁸Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Vladimir V. Silantiev, e-mail: Vladimir.Silantiev@kpfu.ru

Abstract. Tonsteins, predominantly solid kaolinite clay interbeds, are widespread in the coals of the Kuznetsk Basin and usually contain idiomorphic zircon grains of magmatic origin in quantities suitable for uranium-lead (U-Pb) radiometric dating. For the first time, tonstein zircons from coal seam 78 of the Tailugan Formation (Fm) are dated by two methods: Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) and Chemical Abrasion Isotope-Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry (CA-ID-TIMS).

The CA-ID-TIMS datings of 257.0 ± 1.3 Ma and 256.6 ± 0.4 Ma determine the age of the lower boundary of the Tailugan Fm and the Tailuganian Regional Stage at 257.0 Ma. We estimate the duration of the Tailuganian to be around 4.22 million years. The dating results make it possible to directly correlate the Tailuganian of the Kuzbass with the upper half of the Wuchiapingian and with most of the Changhsingian of the International Chronostratigraphic Scale.

The accumulation rate of total sediments of the Tailugan Fm, calculated without considering the compaction index,

is approximately 0.13–0.18 mm/year, and the rate of coal accumulation is 0.024 mm/year. Such values are comparable to the accumulation rates of the Late Paleozoic coal-bearing strata of the Donetsk Basin and Western Australia. The rate of peat accumulation during the Tailuganian, calculated at a compaction index of 10:1, has been estimated at 0.24 mm/year. This value is comparable to the rates of peat accumulation in the Holocene bogs of the Kuznetsk Alatau in Siberia and the European part of Russia.

The presence of tonsteins in the coal seams of the Tailugan Fm suggests that the upper surface of the peat at the time of its accumulation was below the water level, serving as a protective screen for the thin volcanic deposits and preventing its erosion.

The assemblages of macroflora, ostracods, conchostracans and bivalves considerably vary through the section of the Tailugan Fm. This variation makes it possible to identify in Kuzbass the stratigraphic level that corresponds to the boundary between the Wuchiapingian and Changhsingian stages in the future.

Keywords: Kuznetsk Basin, Tailugan Formation, tonsteins, U-Pb dating, LA-ICP-MS, CA-ID-TIMS, geochronology, biostratigraphy

Acknowledgements

This study was supported by the Russian Science Foundation project # 22-77-10045, <https://rscf.ru/project/22-77-10045/>

Recommended citation:

Silantiev V.V., Gutak Ya.M., Tichomirowa M., Kulikova A.V., Felker A.S., Urazueva M.N., Porokhovnichenko L.G., Karasev E.V., Bakaev A.S., Zharinova V.V., Naumcheva M.A. (2023). First radiometric dating of tonsteins from coal-bearing succession of the Kuznetsk Basin: U-Pb geochronology of the Tailugan Formation. *Georesursy = Georesources*, 25(2), pp. 203–227. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.2.15>

References

- Adamenko M.M., Gutak Ya.M. (2014). New data on the evolution of peat bogs of the Kuznetsk Alatau in the Holocene (on the example of the Tigertysh mountain cluster). *Peatlands of Western Siberia and cycles of events: past and present: Proc. Fourth International Symposium. Tomsk: Tomsk University Press*, pp. 257–259. (In Russ.)
- Aldinger H. (1937). Permisch Ganoidfische Ostgrönland. *Meddelelser om Grönland*, 102(3), 392 p.
- Amler M.R.W., Silantiev V.V. (2021). A global review of Carboniferous marine and non-marine bivalve biostratigraphy. *Geological Society London, Special Publications*, 512(1), pp. 893–932. <https://doi.org/10.1144/sp512-2021-101>
- Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., Ilenok S.S. (2011). Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia). *International Journal of Coal Geology*, 86(4), pp. 318–328. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.03.005>
- Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V., Ilenok S.S., Mezhibor A.M., Ivanov V.P., Zarubina N.A. (2019). Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia. *Ore Geology Reviews*, 113, 103073. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103073>
- Arbuzov S.I., Vergunov A.V., Il'enok S.S., Ivanov V.A., Ivanov V.P., Soktoev B.R. (2019). Geochemistry, mineralogy and genesis of rare-metal coal deposit in the seam XI, southern part of the Kuznetsk basin. *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*, 2, pp. 35–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/25421379/11/3>
- Ayaz S. A., Martin M., Esterle J., Amelin Y., Nicoll R. S. (2016). Age of the Yarrabee and accessory tuffs: implications for the upper Permian sediment-accumulation rates across the Bowen Basin. *Australian Journal of Earth Sciences*, 63(7), pp. 843–856. <https://doi.org/10.1080/08120099.2016.1255254>
- Babin G.A. (2007). State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet N-45 – Novokuznetsk. Explanatory letter. St.Peterburg: VSEGEI, 665 p. (In Russ.)
- Bakaev A.S. (2022). A review of the history of studying the Permian bony fish of European Russia. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 164(3), pp. 475–500. (In Russ.) <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2022.3.475-500>
- Bakaev A.S. (2023). Revision of Permian Ray-Finned Fishes from the Kazankovo-Markino Formation of the Kuznetsk Basin. *Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological journal*, (3), c. 97–104. (In Russ.)
- Bakaev A., Kogan I. (2020). A new species of Burguklia (Pisces, Actinopterygii) from the Middle Permian of the Volga Region (European Russia). *Paläontologische Zeitschrift*, 94(2), pp. 93–106. <https://doi.org/10.1007/s12542-019-00487-6>
- Betekhtina O.A., Gorelova S.G., Dryagina L.L., Danilov V.I., Batyayeva S.P., Tokareva P.A. (1988). Upper Paleozoic of Angarida. *Proc. Academy of Sciences of the USSR. Siberian Branch of the Institute of Geology and Geophysics*. Novosibirsk: Nauka, 264 p. (In Russ.)
- Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. (2004). Improved ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemical Geology*, 205(1–2), pp. 115–140. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.003>
- Bogomazov V.M., Verbitskaya N.G., Zolotov A.P., Faddeeva I.Z. (1996). Stratigraphy and formation conditions of the Kolchuginskaya Series of Kuzbass. *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 2. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 104–115. (In Russ.)
- Bowring J.F., McLean N.M., Bowring S.A. (2011). Engineering cyber infrastructure for U-Pb geochronology: Tripoli and U-Pb_Redux. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(6), Q0AA19. <https://doi.org/10.1029/2010GC003478>
- Budnikov I.V. (1996). Working paleobotanical colloquium Decision dedicated to the correlation of phytocomplexes of the Carboniferous and Permian of the Western Verkhoyanie region, the east of the Tunguska syncline and Kuzbass (a stratotype of the flora-bearing Upper Paleozoic of Angarida), Novosibirsk, April 20–27. 1992. *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 2. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 95–99. (In Russ.)
- Budnikov I.V., Kutugin R.V., Shi G.R., Sivtchikov V.E., Krivenko O.V. (2020). Permian stratigraphy and paleogeography of Central Siberia (Angaraland) – A review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 196, 104365. <https://doi.org/10.1016/j.jseaeas.2020.104365>
- Buslov M.M., Watanabe T., Fujiwara Y., Iwata K., Smirnova L.V., Safonova I.Y., Semakov N.N., Kiryanova A.P. (2004). Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: Tectonic pattern and model of formation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5), pp. 655–671. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00131-7)
- Cagliari J., Lavina E.L.C., Philipp R.P., Tognoli F.M.W., Basei M.A.S., Faccini U.F. (2014). New Sakmarian ages for the Rio Bonito formation (Paraná Basin, southern Brazil) based on LA-ICP-MS U-Pb radiometric dating of zircons crystals. *Journal of South American Earth Sciences*, 56, pp. 265–277. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.013>
- Cao W., Zahirovic S., Flament N., Williams S., Golonka J., Müller R.D. (2017). Improving global paleogeography since the late Paleozoic using paleobiology. *Biogeosciences*, 14(23), pp. 5425–5439. <https://doi.org/10.5194/bg-14-5425-2017>
- Chernovyants M.G. (1992). Tonsteins and their use in the study of coal-bearing formations. Moscow: Nedra, 144 p. (In Russ.)
- Coal base of Russia (2003). Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorkovskiy, West Siberian basins; deposits of the Altai Territory and the Republic of Altai). V. 2. A.P. Avdeev, V.P. Bapovnev, S.M. Borisov Eds. Moscow: Geoinformtsentr, 604 p. (In Russ.)
- Condon D.J., Schoene B., McLean N.M., Bowring S.A., Parrish R.R. (2015). Metrology and traceability of U–Pb isotope dilution geochronology (EARTHTIME Tracer Calibration Part I). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 164, pp. 464–480. <https://doi.org/10.31223/osf.io/kr3ge>
- Creech M. (2002). Tuffaceous deposition in the Newcastle Coal Measures: challenging existing concepts of peat formation in the Sydney Basin, New South Wales, Australia. *International Journal of Coal Geology*, 51(3), pp. 185–214. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00084-8)

- Dai S., Bechtel A., Eble C.F., Flores R.M., French D.D., Graham I.T., Hood M.M., Hower J.C., Korasidis V.A., Moore T.A., Püttmann W., Wei Q., Zhao L., O'Keefe J.M.K. (2020). Recognition of peat depositional environments in coal: A review. *International Journal of Coal Geology*, 219, 103383. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103383>
- Danilov V.I., Evtushenko V.E., Menshikova L.V., Sergienko A.A., Sukhov S.V., Tokareva P.A. (1978). Paleontological characteristics of the reference section of the Upper Permian deposits of the Kolchugino Series of the Kuznetsk Basin. *New in stratigraphy and paleontology of the Middle and Upper Paleozoic of Central Siberia*. Novosibirsk: SNIIGGIMS, pp. 130–144. (In Russ.)
- Davydov V.I., Crowley J.L., Schmitz M.D., Poletaev V.I. (2010). High-Precision U-Pb Zircon Age Calibration of the Global Carboniferous Time Scale and Milankovitch Band Cyclicity in the Donets Basin, Eastern Ukraine. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 11, Q0AA04. <https://doi.org/10.1029/2009gc002736>
- Davydov V.I., Korn D., Schmitz M.D. (2012). The Carboniferous period. *The Geologic Time Scale*, pp. 603–651. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59425-9.00023-8>
- Davydov V.I., Arefiev M.P., Golubev V.K., Karasev E.V., Naumcheva M.A., Schmitz M.D., Silantiev V.V., Zharinova V.V. (2020). Radioisotopic and biostratigraphic constraints on the classical Middle-Upper Permian succession and tetrapod fauna of the Moscow syncline, Russia. *Geology*, 48(7), pp. 742–747. <https://doi.org/10.1130/G47172.1>
- Davydov V.I., Karasev E.V., Nurgaliev N.G., Schmitz M.D., Budnikov I.V., Biakov A.S., Kuzina D.M., Silantiev V.V., Urazaeva M.N., Zharinova V.V., Zorina S.O., Gareev B., Vasilenko D.V. (2021). Climate and biotic evolution during the Permian-Triassic transition in the temperate Northern Hemisphere, Kuznetsk Basin, Siberia, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 573(1), 110432. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110432>
- Decision of the Meeting on the stratigraphy of the Upper Paleozoic deposits of Kuzbass (1996). *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 2. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 93–94. (In Russ.)
- Decisions of the All-Union Conference on the development of unified stratigraphic schemes for the Precambrian, Paleozoic and Quaternary systems of Central Siberia (1979). Part 2 (Middle and Upper Paleozoic). Novosibirsk. (In Russ.)
- Ducassou C., Mercuzot M., Bourquin S., Rossignol C., Pellenard P., Beccalotto L., Ravier E. (2019). Sedimentology and U-Pb dating of Carboniferous to Permian continental series of the northern Massif Central (France): Local palaeogeographic evolution and larger scale correlations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 533(1), 109228. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.06.001>
- Ermilov V.I. (2003). Yerunakovskiy district. Forecast resources. *Coal base of Russia. Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovskiy, West Siberian basins, deposits of the Altai Territory and the Republic of Altai)*. V. 2. Moscow: Geoinformtsentr, pp. 271–287. (In Russ.)
- Fikri H.N., Sachsenhofer R.F., Bechtel A., Gross D. (2022). Organic geochemistry and petrography in Miocene coals in the Barito Basin (Tutupan Mine, Indonesia): Evidence for astronomic forcing in kerapah type peats. *International Journal of Coal Geology*, 256, 103997. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.103997>
- General stratigraphic scale of Russia. (In Russ.) https://vsegei.ru/r/about/msk/str_scale/str_sch-2-2022.jpg
- Gerstenberger H., Haase G. (1997). A highly effective emitter substance for mass spectrometric Pb isotope ratio determinations. *Chemical Geology*, 136, pp. 309–312. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(96\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(96)00033-2)
- Gutak Ya.M. (2021). Development of Structure of the West Part of the Altay-Sayan Orogen (the Mesozoic Stage). *Geosfernye issledovaniya = Geosphere Research*, (1), pp. 123–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/25421379/18/10>
- Gutak Ya.M., Antonova V.A. (2017). The initial stage of development of the Kuznetsk trough (south of Western Siberia). Problems of paleoecology and historical geocology. *Proc. All-Russian Scientific Conference dedicated to the memory of Professor Vitaly Georgievich Ochev*. A.V. Ivanova, I.V. Novikova, I.A. Yashkov Eds. Moscow, Saratov: PIN RAS, SGTU, OOO “Forge of Advertising”, pp. 101–109. (In Russ.)
- Gutak Ya.M., Ruban D.A. (2016). Molasse strata and the tectonic regime of their accumulation: an attempt at a conceptual synthesis based on new geological data. *Vestnik SibGIU*, (1), pp. 9–14. (In Russ.)
- Gutak Ya.M., Antonova V.A., Bagmet G.N., Gabova M.F., Savitskiy V.R., Tolokonnikova Z.A. (2008). Essays on the historical geology of the Kemerovo region. Novokuznetsk, 132 p. (In Russ.)
- Haubold H., Schaumberg G. (1985). Die Fossilien des Kupferschiefers. Pflanzen- und Tierwelt zu Beginn des Zechsteins – eine Erzlagerstätte und ihre Paläontologie. *Die neue Brehm-Bücherei*. Berlin: A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 333 p.
- Hiess J., Condon D.J., McLean N., Noble S.R. (2012). 238U/235U Systematics in Terrestrial Uranium-Bearing Minerals. *Science*, 335(6076), pp. 1610–1614. <https://doi.org/10.1126/science.1215507>
- Hudspith V., Scott A.C., Collinson M.E., Pronina N., Beeley T. (2012). Evaluating the extent to which wildfire history can be interpreted from inertonite distribution in coal pillars: An example from the Late Permian, Kuznetsk Basin, Russia. *International Journal of Coal Geology*, 89(1), pp. 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.07.009>
- International Chronostratigraphic Chart. <https://stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2023-04.pdf>
- Jaffey A.H., Flynn K.F., Glendenin L.E., Bentley W.C., Essling A.M. (1971). Precision Measurement of Half-Lives and Specific Activities of 235U and 238U. *Physical Review C*, 4(5), pp. 1889–1906. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.4.1889>
- Jurigan I., Ricardi-Branco F., Neregato R., dos Santos T.J.S. (2019). A new tonstein occurrence in the eastern Paraná Basin associated with the Figueira coalfield (Paraná, Brazil): Palynostratigraphy and U-Pb radiometric dating integration. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102377. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102377>
- Kazanskiy Yu.P., Van A.V. (1996). Using of tephrochronology for subdivision and correlation of Upper Paleozoic deposits of Kuzbass. *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 2. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 31–37. (In Russ.)
- Kazantseva-Selezneva A.A. (1980). Permian paleonisks of Central Siberia. *Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological journal*, 1, pp. 95–103. (In Russ.)
- Karpenko L.V., Prokushkin A.S. (2018). Genesis and History of the post-glacial Evolution of Forest Bog in the Valley of the Dubches River. *Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 5, pp. 33–44. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.15372/SJFS20180503>
- Käßner A., Tichomirowa M., Lapp M., Leonhardt D., Whitehouse M., Gerdes A. (2021). Two-phase late Paleozoic magmatism (~ 313–312 and ~ 299–298 Ma) in the Lusatian Block and its relation to large scale NW striking fault zones: evidence from zircon U–Pb CA–ID–TIMS geochronology, bulk rock- and zircon chemistry. *International Journal of Earth Sciences*, 110(8), pp. 2923–2953. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02092-y>
- Kutygin R.V., Budnikov I.V., Sivchikov V.E. (2020). The main features of the Kasimovian – Gzhelian and Permian stratigraphy in the Siberian platform and adjacent fold belts. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, 25(4), pp. 5–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-1>
- Lavrenov P.F., Snezhko B.A., Shchigrev A.F., Dmitrieva N.V., Filippova N.E., Noskov Yu.S., Zeifert L.L. (2015). State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000. 2nd ed. Kuzbass series. Sheet N-45-IX (Krapivinsky). Explanatory letter. Moscow: MF FSBI “VSEGEI”, 156 p. (In Russ.)
- Lavrenov P.F., Snezhko B.A., Shchigrev A.F. et al. (2018). State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000 Kuzbass series. Sheet N-45-XVI (Osinovoye Pleso). Explanatory letter. Moscow: MF FSBI “VSEGEI”, 151 p. (In Russ.)
- Legend of the Kuzbass Series of the State Geological Map of the Russian Federation (1999). Scale 1:200,000, Second edition. Novokuznetsk. (In Russ.)
- Lezhnin A.I., Papin Yu.S. (1996). The Role of the First Regional Stratigraphic Scheme of Kuzbass in Establishing Large Stages of Coal Accumulation. *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 1. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 12–19. (In Russ.)
- Lindsay R. (2018). Peatland (mire types): Based on Origin and Behavior of Water, Peat Genesis, Landscape Position, and Climate. *The Wetland Book*. C.M. Finlayson, G.R. Milton, R.C. Prentice, N.C. Davidson (Eds.). Berlin: Springer Science+Business Media, pp. 251–273. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_279-1
- Ludwig K.R. (2003). User’s manual for Isoplot/Ex version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publications*, 4, 72 p.
- Lyons P.C., Krogh T.E., Kwok Y.Y., Davis D.W., Outerbridge W.F., Evans, J.H.T. (2006). Radiometric ages of the Fire Clay tonstein [Pennsylvanian (Upper Carboniferous), Westphalian, Duckmantian]: a comparison of U-Pb zircon single-crystal ages and 40Ar/39Ar sanidine single-crystal plateau ages. *International Journal of Coal Geology*, 67, pp. 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.12.002>
- Mandelstam M.I. (1956). Ostracods of coal-bearing deposits of the Kuznetsk Basin. *Atlas of Guide Forms of Fossil Flora and Fauna of the Permian Deposits of the Kuznetsk Basin*. Leningrad: Gostoptekhizdat, pp. 58–109. (In Russ.)
- Marcisz K., Czerwiński S., Lamentowicz M., Łuców D., Słowiński M. (2022). How paleoecology can support peatland restoration. *Past Global Changes Magazine*, 30(1), pp. 12–13. <https://doi.org/10.22498/pages.30.1.12>

- Mattinson J.M. (2005). Zircon U-Pb chemical abrasion ("CA-TIMS") method: Combined annealing and multi-step partial dissolution analysis for improved precision and accuracy of zircon ages. *Chemical Geology*, 220, pp. 47–66. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.03.011>
- Metcalf I., Crowley J.L., Nicoll R.S., Schmitz M. (2015). High-precision U-Pb CA-TIMS calibration of Middle Permian to Lower Triassic sequences, mass extinction and extreme climate-change in eastern Australian Gondwana. *Gondwana Research*, 28(1), pp. 61–81. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.002>
- Meyen S.V. (1982). The Carboniferous and Permian floras of Angaraland: (a synthesis). *Biological Memoirs*, 7(1), pp. 1–109.
- Meyen S.V. (1990). Theoretical problems of paleobotany. Moscow: Nauka, 285 p. (In Russ.)
- Meyen S.V., Afanasieva G.A., Betekhtina O.A. et al. (1996). The former USSR: Angara and surrounding marine basins. *International Union of Geological Sciences Publication*, 33, pp. 180–237.
- Miller J., Matzel J., Miller C., Burgess S., Miller R. (2007). Zircon growth and recycling during the assembly of large, composite arc plutons. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 167, pp. 282–299. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.04.019>
- Minikh A.V., Minikh M.G. (2009). Ichthyofauna of the Permian of European Russia. Saratov: Nauka, 244 p. (In Russ.)
- Moore T.A., Shearer J.C. (2003). Peat/coal type and depositional environment – are they related? *International Journal of Coal Geology*, 56(34), pp. 233–252. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(03\)00114-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(03)00114-9)
- Moore T.A., Moroeng O.M., Shen J., Esterle J.S., Pausch R.C. (2021). Using carbon isotopes and organic composition to decipher climate and tectonics in the Early Cretaceous: An example from the Hailar Basin, Inner Mongolia, China. *Cretaceous Research*, 118, 104674. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104674>
- Mori A.L.O., de Souza P.A., Marques J.C., Lopes R. da C. (2012). A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: Biostratigraphical and geochronological implications for Gondwanan correlations. *Gondwana Research*, 21 (2–3), pp. 654–669. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.05.019>
- Neuburg M.F. (1948). Upper Paleozoic flora of the Kuznetsk Basin. Leningrad: Akad. nauk SSSR, 343 p. (In Russ.)
- Neuburg M.F. (1960). Leafy mosses from the Permian deposits of Angarida. Moscow: Akad. nauk SSSR, 188 p. (In Russ.)
- Neustrueva I.Yu. (1966). Upper Permian ostracods of the Kuznetsk Basin. *Continental Upper Paleozoic and Mesozoic of Siberia and Central Kazakhstan*. Moscow, Leningrad: Nauka, pp. 54–95. (In Russ.)
- Novikov I.S., Cherkas O.V., Mamedov G.M., Simonov Y.G., Simonova T.Y., Nastavko V.G. (2013). Activity stages and tectonic division in the Kuznetsk Basin, Southern Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 54(3), pp. 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.02.007>
- Oshurkova M.V. (1996). Paleoeological parallelism between the Angaran and Euramerican phytogeographic provinces. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 90(1–2), pp. 99–111. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(95\)00026-7](https://doi.org/10.1016/0034-6667(95)00026-7)
- Paton Ch., Woodhead J.D., Hellstrom J.C., Herg J.M., Greig A., Maas R. (2010). Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3), pp. 1–36. <https://doi.org/10.1029/2009gc002618>
- Papin Yu.S. (1969). Prosperous, normal and oppressed faunas of pelecypods of the Kolchugino Series of Kuzbass. *Paleontologicheskij zhurnal = Paleontological journal*, (1), pp. 13–18. (In Russ.)
- Papin Yu.S. (1973). Marked faunal layers in the sediments of the Kolchugin Series of Kuzbass. *Geology and oil and gas potential of Western Siberia. Proceedings of the Tyumen Industrial Institute*, 17, pp. 104–115. (In Russ.)
- Pellenard P., Gand G., Schmitz M., Galtier J., Broutin J., Stéyer J.S. (2017). High precision U-Pb zircon ages for explosive volcanism calibrating the NW European continental Autunian stratotype. *Gondwana Research*, 51, pp. 118–136. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.07.014>
- Piilo S.R., Zhang H., Garneau M., Gallego-Sala A., Amesbury M.J., Väilrant M.M. (2019). Recent peat and carbon accumulation following the Little Ice Age in northwestern Québec, Canada. *Environmental Research Letters*, 14(7), 075002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab11ec>
- Posit team (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. <https://www.R-project.org/>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://posit.co/>
- Rodendorf B.B. (1961). Order Coleoptera. Coleoptera or beetles. Paleozoic insects of the Kuznetsk Basin. Ed. B.B. Rodendorf. *Trudy PIN*, 85. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, pp. 393–469. (In Russ.)
- Schoene B., Crowley J.L., Condon D.C., Schmitz M.D., Bowring S.A. (2006). Reassessing the uranium decay constants for geochronology using ID-TIMS U–Pb data. *Geochim Cosmochim Acta*, 70, pp. 426–445. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.09.007>
- Schwartz S.V. (2010). Geological report with calculation of reserves within the boundaries of the license of OAO "MC" Kuzbassazrezugol "KEM 11672 TE" at the Taldinskoye coal deposit (2010). Kemerovo. (In Russ.)
- Senderzon E.M., Shorin V.P., Shugurov V.F. (1966). Conditions of coal accumulation and some patterns of distribution of Kuzbass coals. *Coal atlas of the Kuznetsk basin*. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, pp. 160–172. (In Russ.)
- Silantiev V.V. (2018). Permian Non-marine Bivalve Mollusks: Review of Geographical and Stratigraphic Distribution. *Paleontological Journal*, 52(7), pp. 707–729. <https://doi.org/10.1134/S0031030118070092>
- Silantiev V.V., Candra S., Urazaeva M.N. (2015). Systematics of Nonmarine Bivalve Mollusks from the Indian Gondwana Coal Measures (Damuda Group, Permian, India). *Paleontological Journal*, 49(12), pp. 1235–1274. <https://doi.org/10.1134/s0031030115120114>
- Silantiev V., Carter J., Urazaeva M., Nourgalieva N., Nizamova A. (2020). Early Triassic Non-Marine Bivalves *Utschamiella* Ragozin, 1937 from the Kuznetsk Coal Basin: First Microstructural Data. *Proc. 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020 "Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources"*. Bologna, Italy: Filodiritto International Proceedings, pp. 248–255.
- Simas M.W., Guerra-Sommer M., Cazzulo-Klepzig M., Menegat R., Schneider Santos J.O., Fonseca Ferreira J.A., Degani-Schmidt I. (2012). Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. *Journal of South American Earth Sciences*, 39, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.001>
- Slama J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G. A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. (2008). Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249(1–2), pp. 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Spizharskiy T.N. (1937). Ostracoda of the Kolchugin Formation of Coal-bearing Sediments of the Kuznetsk Basin. *Trudy TsNIGRI*, (97), pp. 139–170. (In Russ.)
- Spizharskiy T.N. (1939). Order Ostracoda. Shellfish crayfish. *Atlas of guide forms of fossil faunas of the USSR. Permian system*. Vol. 6. Leningrad: Gosgeolizdat, pp. 193–196. (In Russ.)
- Stivrins N., Ozola I., Galka M., Kuske E., Alliksaar T., Andersen T.J., Lamentowicz M., Wulf S., Reitalu T. (2017). Drivers of peat accumulation rate in a raised bog: impact of drainage, climate, and local vegetation composition. *Mires and Peat*, 19(08), pp. 1–19. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.262>
- Stratigraphic Guide of Russia (2019). Approved by the ISC Bureau on October 18, 2005. Compiled by A.I. Zhamoida et al. St. Petersburg: VSEGEI, 96 p. (In Russ.)
- Syrchevskaya E.K. (1999). Freshwater fish fauna from the Triassic of northern Asia. *Proceedings of the international meeting Buckow, 1997. Mesozoic Fishes 2. Systematics and Fossil Record*. G. Arratia, H.-P. Schultze (Eds.). München: Verlag Dr. Pfeil, pp. 445–468.
- Thompson L.N., Finkelman R.B., Arbuzov S.I., French D.H. (2021). An unusual occurrence of ferroan magnesite in a tonstein from the Minusinsk Basin in Siberia, Russia. *Chemical Geology*, 568, 120131. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120131>
- Tichomirowa M., Käbner A., Sperner B., Lapp M., Leonhardt D., Linnemann U., Munker C., Ovtcharova M., Pfänder J.A., Schaltegger U., Sergeev S., von Quadt A. (2019). Dating multiply overprinted granites: the effect of protracted magmatism and fluid flow on dating systems (zircon U–Pb: SHRIMP/SIMS, LA-ICP-MS, CA-ID-TIMS; and Rb–Sr, Ar–Ar) – granites from the Western Erzgebirge (Bohemian Massif, Germany). *Chemical Geology*, 519, pp. 11–38. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.04.024>
- Urazaeva M., Silantiev V. (2019). Permian Non-Marine Bivalve Fauna from Continental Deposits of the Dvina-Mezen Basin. *Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2019: Late Paleozoic Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources*. Kazan: Kazan University Press, pp. 272–276.
- Van A.V. (1968). The role of pyroclastic material in coal-bearing deposits of the Kuznetsk basin. *Sovetskaya geologiya*, (4), pp. 129–138. (In Russ.)
- Van A.V., Kazanskiy Yu.P. (1985). Volcanic material in sediments and sedimentary rocks. Novosibirsk: Nauka, 128 p. (In Russ.)
- Vakhrameev V.A., Dobruskina I.A., Zaklinskaya E.D., Meyen S.V. (1970). Paleozoic and Mesozoic floras of Eurasia and phytogeography of this time. *Trudy Geologicheskogo Instituta*, (208). Moscow: Nauka, 431 p. (In Russ.)
- Volkova E.M., Pel'gunova L.A., Kochkina A.V. (2014). The dynamic of development of mires in karst depressions and accumulation of chemical elements

in peat deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki*, (4), pp. 158–173. (In Russ.)

Wang J., Shao L.Y., Wang H., Spiro B., Large D. (2018). SHRIMP zircon U–Pb ages from coal beds across the Permian–Triassic boundary, eastern Yunnan, southwestern China. *Journal of Palaeogeography*, 7(2), pp. 117–129. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2018.01.002>

Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. (1995). Three Natural Zircon Standards for U–TH–PB, LU–HF, Trace Element and Re Analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1), pp. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.1995.tb00147.x>

Widmann P., Davies J.H.F.L., Schaltegger U. (2019). Calibrating chemical abrasion: its effects on zircon crystal structure, chemical composition and U–Pb age. *Chemical Geology*, 511, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.02.026>

Winston R.B. (1986). Characteristics features and compaction of plant tissues traced from permineralized peat to coal in Pennsylvanian coals (Desmoinesian) from the Illinois basin. *International Journal of Coal Geology*, 6(1), pp. 21–41. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(86\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0166-5162(86)90023-6)

Yarkov V.O. (1996). About the methods of stratigraphic division of the coal-bearing strata of Kuzbass. *Kuznetsk Basin – key region in stratigraphy of the Angarida Upper Paleozoic*. Vol. 1. Ed. I.V. Budnikov. Novosibirsk: YuzhSibgeolkom, PSSS “Intergeo”, pp. 3–5. (In Russ.)

Yuzvitsky A.Z. (2003). Kuznetsk coal Basin. *Coal base of Russia. Coal basins and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovsky, Zapadno-Sibirsky basins, deposits of the Altai Territory and the Republic of Altai)*. V. 2. Moscow: Geoinformtsentr, pp. 7–46. (In Russ.)

Zharinova V.V. (2021). Correlation of deposits of the Indus stage of Eurasia according to the conchostracan fauna. *PALEOSTRAT-2020. Annual meeting (scientific conference) of the paleontology section of the MOIP and the Moscow Branch of the Paleontological Society of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Borisyak Paleontological Institute RAS, pp. 30–31. (In Russ.)

About the Authors

Vladimir V. Silantiev – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Head of the Department of Paleontology and Stratigraphy, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University; Branch of the Kazan (Volga Region) Federal University in the city of Jizzakh

18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russian Federation
e-mail: Vladimir.Silantiev@kpfu.ru

Yaroslav M. Gutak – Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor, Head of the Department of Geology, Geodesy and Life Safety, Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University; Kazan (Volga Region) Federal University

42, Kirova st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

Marion Tichomirowa – Dr. rer. nat., Head of the Isotopic Geochemistry & Geochronology Laboratories, Institute of Mineralogy, Technische Universität Bergakademie Freiberg

6, Akademiestraße, Freiberg, 09599, Germany

Anna V. Kulikova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Researcher, Laboratory of Geodynamics and Magmatism, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Kazan (Volga Region) Federal University

3, Ak. Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Anastasia S. Felker – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Junior Researcher, Arthropod Laboratory, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; Kazan (Volga Region) Federal University

123, Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russian Federation

Milyausha N. Urazaeva – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Assistant Professor, Department of Paleontology and Stratigraphy, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University

18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russian Federation

Lyubov G. Porokhovnichenko – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Research Engineer, Laboratory of Micropaleontology, Faculty of Geology and Geography, Tomsk State University; Kazan (Volga Region) Federal University

36, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

Evgeniy V. Karasev – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Paleobotany, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; Kazan (Volga region) Federal University

123, Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russian Federation

Aleksandr S. Bakaev – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Researcher, Laboratory of Paleoichthyology, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; Kazan (Volga region) Federal University

123, Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russian Federation

Veronika V. Zharinova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Lecturer, Department of Paleontology and Stratigraphy, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University; Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences

18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russian Federation

Maria A. Naumcheva – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Junior Researcher, Laboratory of Protistology, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences; Kazan (Volga region) Federal University

123, Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russian Federation

Manuscript received 11 April 2023;

Accepted 4 May 2023; Published 30 June 2023