

УДК 551.761.2:551.242.5:550.93

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-3-26-37

**ВОЗРАСТ ТЕТРАПОДНОЙ ФАУНЫ «MASTODONSAURUS»
(СРЕДНИЙ ТРИАС) ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ:
ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ РАДИОИЗОТОПНОГО U-Pb LA-ICPMS ДАТИРОВАНИЯ.
СТАТЬЯ 2. ДАТИРОВКИ И МОДЕЛЬ СЕДИМЕНТАЦИИ**

**Владимир Владимирович Силантьев¹✉, Анна Викторовна Куликова²,
Игорь Витальевич Новиков³, Анастасия Сергеевна Фелькер⁴,
Динара Надировна Мифтахутдинова⁵, Руслан Рустемович Габдуллин⁶,
Кажмурат Максutowич Ахмеденов⁷, Джамиля Болтановна Якупова⁸,
Евгения Михайловна Нуриева⁹, Яна Ягфаровна Саэтгалеева¹⁰**

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета, Джизак, Республика Узбекистан;

Vladimir.Silantiev@kpfu.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0003-2858-0708>

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия; ak_cool@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4263-5031>

³ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия; inovik@paleo.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-7400-5790>

⁴ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия; felkafelka95@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-3734-2026>

⁵ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета, Джизак, Республика Узбекистан;

Dinara.Miftakhutdinova@kpfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9115-1343>

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт геохимии и аналитической химии

имени В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; gabdullin@fgp.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8296-7191>

⁷ Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, Уральск, Казахстан; kazhmurat78@mail.ru,

<http://orcid.org/0000-0001-7294-0913>

⁸ Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, Уральск, Казахстан; yakupova_j@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-3875-1224>

⁹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия; evgeniya.nurieva@kpfu.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-3234-0870>

¹⁰ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия; yana.saetgaleeva@yandex.ru,

<https://orcid.org/0009-0002-9005-0775>

Аннотация. В статье приводятся первые данные радиоизотопного U-Pb LA-ICPMS датирования тетраподной фауны «*Mastodonsaurus*» (средний триас). Радиоизотопные датировки ($241,6 \pm 1,0$ млн лет) отложений, непосредственно подстилающих слои индерского горизонта с фауной «*Mastodonsaurus*» в разрезе Кок-Тау (Прикаспийская впадина) свидетельствуют о том, что основание индерского горизонта приблизительно соответствует границе анизийского и ладинского ярусов, и может быть использовано как примерный нижний возрастной предел распространения этой фауны. Полученные радиоизотопные датировки, а также палеонтологические данные по букобайскому горизонту Южного Приуралья, позволяют оценить возраст фауны «*Mastodonsaurus*» как целиком ладинский. Предложена палеогеографическая модель условий формирования осадков в эльтонское и индерское время.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, Прикаспийская впадина, средний триас, фауна тетрапод, U-Pb LA-ICPMS датирование цирконов, модель седиментации

Для цитирования: Силантьев В.В., Куликова А.В., Новиков И.В., Фелькер А.С., Мифтахутдинова Д.Н., Габдуллин Р.Р., Ахмеденов К.М., Якупова Д.Б., Нуриева Е.М., Саэтгалеева Я.Я. Возраст тетраподной фауны «*Mastodonsaurus*» (средний триас) Восточно-Европейской платформы: первые данные радиоизотопного U-Pb LA-ICPMS датирования. Статья 2. Датировки и модель седиментации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 3. С. 26–37.

THE AGE OF THE TETRAPOD FAUNA “MASTODONSAURUS” (MIDDLE TRIASSIC) OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM: THE FIRST DATA OF RADIOISOTOPE U-PB LA-ICPMS DATING. ARTICLE 2. DATINGS AND MODEL OF SEDIMENTATION

Vladimir V. Silantiev¹✉, Anna V. Kulikova², Igor V. Novikov³, Anastasia S. Felker⁴,
Dinara N. Miftakhutdinova⁵, Ruslan R. Gabdullin⁶, Kazhmurat M. Akhmedenov⁷,
Jamilya B. Yakupova⁸, Evgeniya M. Nurieva⁹, Yana Ya. Saetgaleeva¹⁰

¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; Kazan Federal University, Branch in Jizzakh, Jizzakh, Republic of Uzbekistan; Vladimir.Silantiev@kpfu.ru✉

² Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; ak_cool@mail.ru

³ Borissiak Paleontological Institute of RAS, Moscow, Russia; inovik@paleo.ru

⁴ Borissiak Paleontological Institute, Moscow, Russia; felkafelka95@gmail.com

⁵ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; Kazan Federal University, Branch in Jizzakh, Jizzakh, Republic of Uzbekistan; Dinara.Miftakhutdinova@kpfu.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; gabdullin@fgp.msu.ru

⁷ M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan; kazhmurat78@mail.ru

⁸ M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan; yakupova_j@mail.ru

⁹ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; evgeniya.nurieva@kpfu.ru

¹⁰ Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia; yana.saetgaleeva@yandex.ru

Abstract. The article presents the first data of the U-Pb LA-ICPMS dating of the tetrapod fauna “*Mastodonsaurus*” (Middle Triassic). The U-Pb age (241.6 ± 1.0 Ma) of the sediments directly underlying the layers of the Inder Formation with the fauna “*Mastodonsaurus*” in the Kok-Tau section (Pre-Caspian Depression) indicates that the base of the Inderian Regional stage roughly corresponds to the Anisian-Ladinian boundary and can be used as the lower age limit for the distribution of this fauna. The obtained radioisotopic dating, as well as palaeontological data on the bone-bearing Bukobayan Regional stage of the Southern Urals, place the stratigraphic range of the fauna “*Mastodonsaurus*” within the Ladinian Stage. A palaeogeographic model of the sediment accumulation in the Eltonian and Inderian time is proposed.

Keywords: East European Platform, Pre-Caspian Depression, Middle Triassic, continental sediments, radioisotope U-Pb LA-ICPMS dating, tetrapod faunas

For citation: Silantiev V.V., Kulikova A.V., Novikov I.V., Felker A.S., Miftakhutdinova D.N., Gabdullin R.R., Akhmedenov K.M., Yakupova J.B., Nurieva E.M., Saetgaleeva Ya.Ya. The Age of the Tetrapod Fauna “*Mastodonsaurus*” (Middle Triassic) of the East European Platform: First U-Pb LA-ICPMS Radioisotopic Dating Results. Article 2. Datings and Model of Sedimentation. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 3: 26–37. (In Russ.).

Введение. В первой части статьи [Силантьев и др., 2025] дан анализ роли наземных позвоночных при расчленении и корреляции континентальных триасовых отложений Восточно-Европейской платформы и Приуралья. Приведено описание фауны «*Mastodonsaurus*», как наиболее поздней из среднетриасовых тетраподных комплексов Восточной Европы. Дано геологическое описание района исследований — карьер Кок-Тау в Казахстане. Установлено четыре стратиграфических уровня, включающих остатки фауны «*Mastodonsaurus*», а также сопутствующие уровни (около 50-ти) со скоплениями пресноводных и морских беспозвоночных, растительных остатков, ихнофоссилий. Организмы-следопродуценты ихнофоссилий *Skolithos*, *Lockeia*, *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Ophiomorpha* относились к организмам-сестонофагам (фильтраторам), питавшимся взвесью и осадком. Комплексы седиментологических признаков и характер ихноценозов указывают на осадконакопление индерской свиты в условиях крузиановой ихнофауны.

Материал и методы. Выделение мономинеральной фракции циркона. Образец весом около 2 кг

светло-окрашенной глины (преобразованный туф) из палеопочвенного уровня (верхний слой эльтонской свиты) послужил материалом для выделения тяжелой фракции минералов (рис. 1). Выделение тяжелой фракции проведено в Казанском федеральном университете с помощью диспергации глинистой массы ультразвуком (25 кГц) с постоянным перемешиванием и постепенной отмывкой глинистой фракции в системе сообщающихся сосудов. Эта процедура занимала от 48 ч на пробу весом 400 г. Минеральная фракция размером 50–250 мкм, получившаяся после отмывки глины, составила около 0,05 % от веса глинистой массы. В дальнейшем проба была разделена на легкую и тяжелую фракцию с использованием тяжелой жидкости ГПС-В (концентрированный водный раствор гетерополивольфрамата натрия) плотностью $2,80 \pm 0,05$ г/мл. Отдельные зерна циркона выделялись из тяжелой фракции с помощью бинокуляра ZEISS Stemi 2000-C.

Методы исследования морфологии циркона. Изучение кристаллов циркона, выделенных из глины (преобразованного туфа), имело цель верифи-

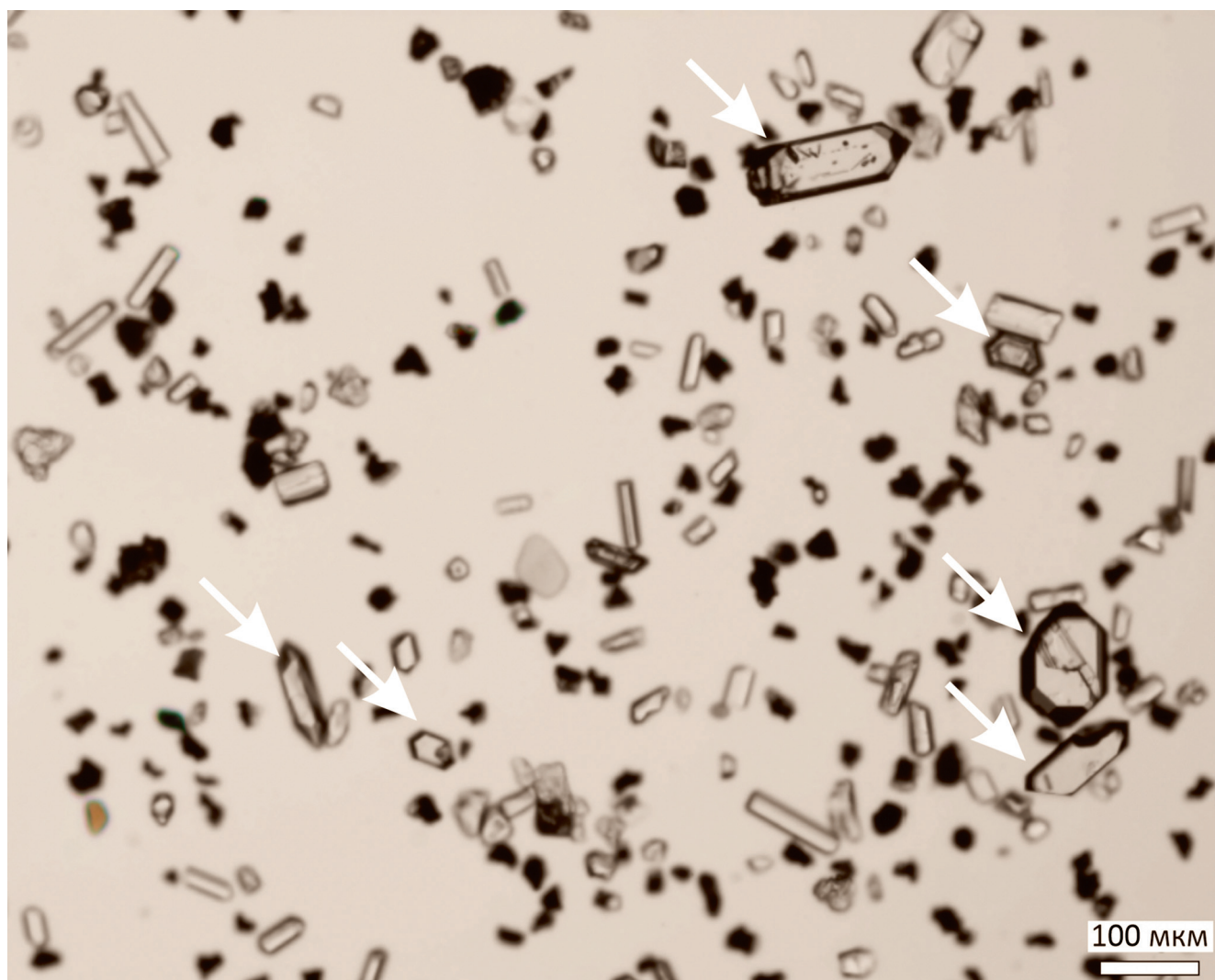


Рис. 1. Тяжелая фракция минералов, выделенная из глины (преобразованного туфового прослоя); зерна цирконов показаны белыми стрелками

цировать их вулканогенную природу. Циркон, как известно, кристаллизуется в тетрагональной сингонии; при этом цирконий нередко изоморфно замещается ураном, торием и другими радиоактивными элементами. Кристаллическая решетка циркона чутко реагирует на изменения химического состава и температуры кристаллизации расплава. Изменения этих параметров приводят к кристаллизации разных морфотипов кристаллов: коротких призматических, изометрических, игольчатых [Markl, 2008]. Для определения морфологии и внутреннего строения цирконов использовались катодолуминесцентные изображения (CL) минералов, полученные с помощью микроскопа ZEISS Axio Lab A1 с катодолуминесцентной приставкой CITL MK5-2, а также проводился анализ по методике Ж. Пюпина [Pupin, 1980], с использованием предложенной им диаграммы (рис. 2), связывающей форму кристаллов с температурой кристаллизации.

При изучении морфологии цирконов проводились следующие исследования: а) определение доминирующей простой кристаллографической формы; б) совершенство огранки или степень идиоморфизма

кристаллов; в) характер граней: наличие комбинационной штриховки, деформации, абразии, признаков растворения и вторичной перекристаллизации; г) определение внутреннего строения цирконов на основе CL изображений.

Радиоизотопное датирование методом LA-ICPMS. Датирование цирконов методом LA-ICPMS было проведено в Научно-образовательном центре Геотермохронологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Для проведения U/Pb-датирования цирконов использовалась система лазерной абляции на основе эксимерного лазера (длина волны 193 нм) Analyte Excite (Teledyne Cetac Technologies, США), соединенная с квадрупольным масс-спектрометром с ионизацией в индуктивно-связанной плазме iCAP Qc (ThermoScientific, Германия).

Все измерения выполняли по массам ^{202}Hg , $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U . Диаметр лазерного луча составлял 35 мкм, частота повторения импульсов 5 Гц и плотность энергии лазерного излучения 2,5–3,0 Дж/см².

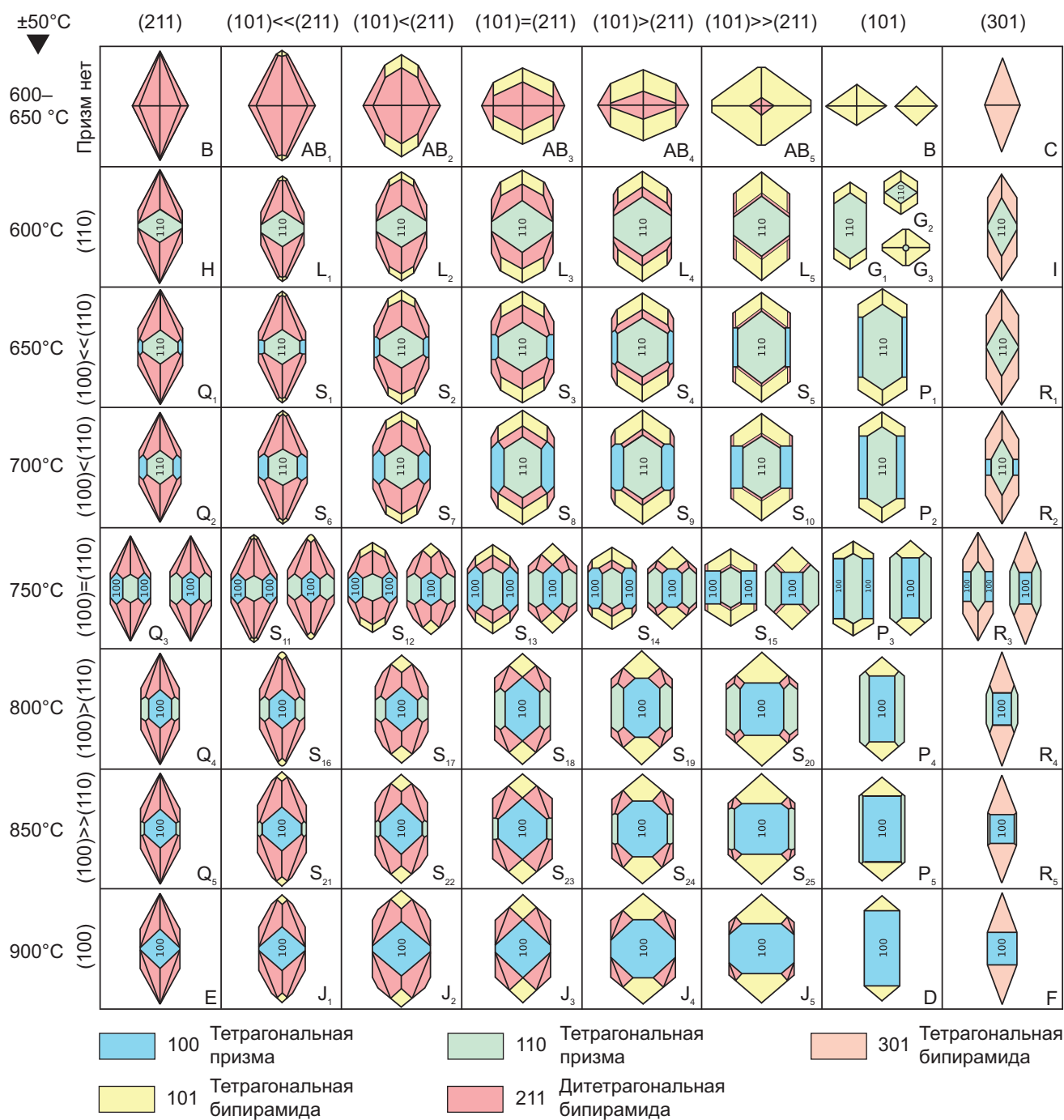


Рис. 2. Типы и подтипы кристаллов циркона и геотермометрическая шкала по Ж. Пюпину [1980; из Silantiev, et al., 2024 с упрощением]

Анализ пробы проводился по следующей схеме: в начале и в конце сессии измерений выполнялось по три и два измерения двух стандартов (внешнего и контрольного) соответственно. Использовались международные эталонные образцы цирконов: Plešovice — внешний стандарт (337 млн лет [Slama, et al., 2008]) и 91500 — контрольный образец (1065 млн лет [Weidenbeck, et al., 1995]). Далее через каждые десять измерений по одному измерению внешнего и контрольного стандартов. По внешнему стандарту проводилась коррекция на фракционирование элементов при лазерном испарении, дискриминацию масс и дрейф настроек масс-спектрометра во времени. Контрольный образец измерялся для проверки

правильности измерений. Также в начале, середине и в конце сессии дополнительно измерялось стандартное синтетическое стекло NIST SRM 612 для учета чувствительности масс-спектрометра.

Обработка масс-спектрометрических данных, учет коррекций, выбор оптимального участка сигнала, расчет изотопных отношений ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$) и соответствующих возрастов проводился с помощью программы Iolite 3.65, встроенной в Igor Pro 7 [Paton, et al., 2010]. Построение диаграмм с конкордией и графики плотностных вероятностей выполнялись в Isoplot 4.15 [Ludwig, 2003]. Диаграммы с конкордией построены по возрастам, рассчитанным по изотопным

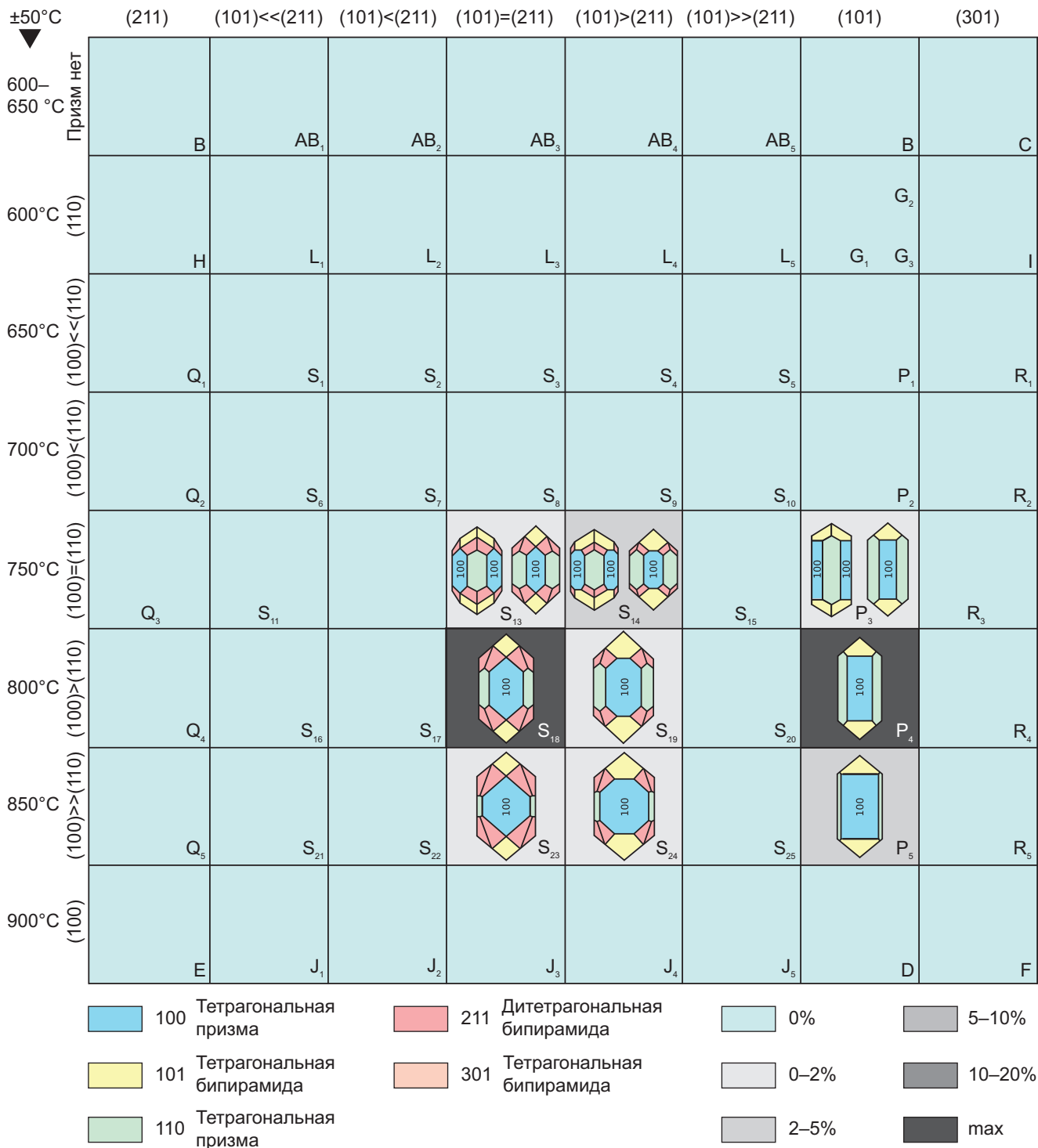


Рис. 3. Количественное распределение морфотипов кристаллов цирконов в обр. К-3-1 согласно диаграмме Ж. Пюпина [Pupin, 1980]; преобладают подтипы S18 и P4 с развитыми призматическими гранями {100}

отношениям $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Измерения, где дискордантность < -10 % или > 10 % исключались из выборки (в Приложении 3 [Приложение..., 2025] эти значения зачеркнуты).

Результаты исследования. Морфологический анализ и U-Pb LA-ICPMS датирование циркона. Из образца К-3-1 было выделено более 100 зерен цирконов. В изученной пробе преобладают прозрачные кристаллы (более 60 %), которые являются либо бесцветными (около 30 %), либо имеют желтоватый

(около 15 %) или коричневый (около 15 %) оттенки. Мутные непрозрачные кристаллы составляют около 40 % и в большинстве случаев окрашены в желтоватые и коричневатые оттенки.

В целом выборка циркона содержит около 65 % идиоморфных зерен хорошей сохранности. Зерна с обломанными краями и гранями составляют 15–10 %, зерна с интенсивной трещиноватостью составляют около 10 % и не менее 15 % зерен содержат хорошо различимые включения.

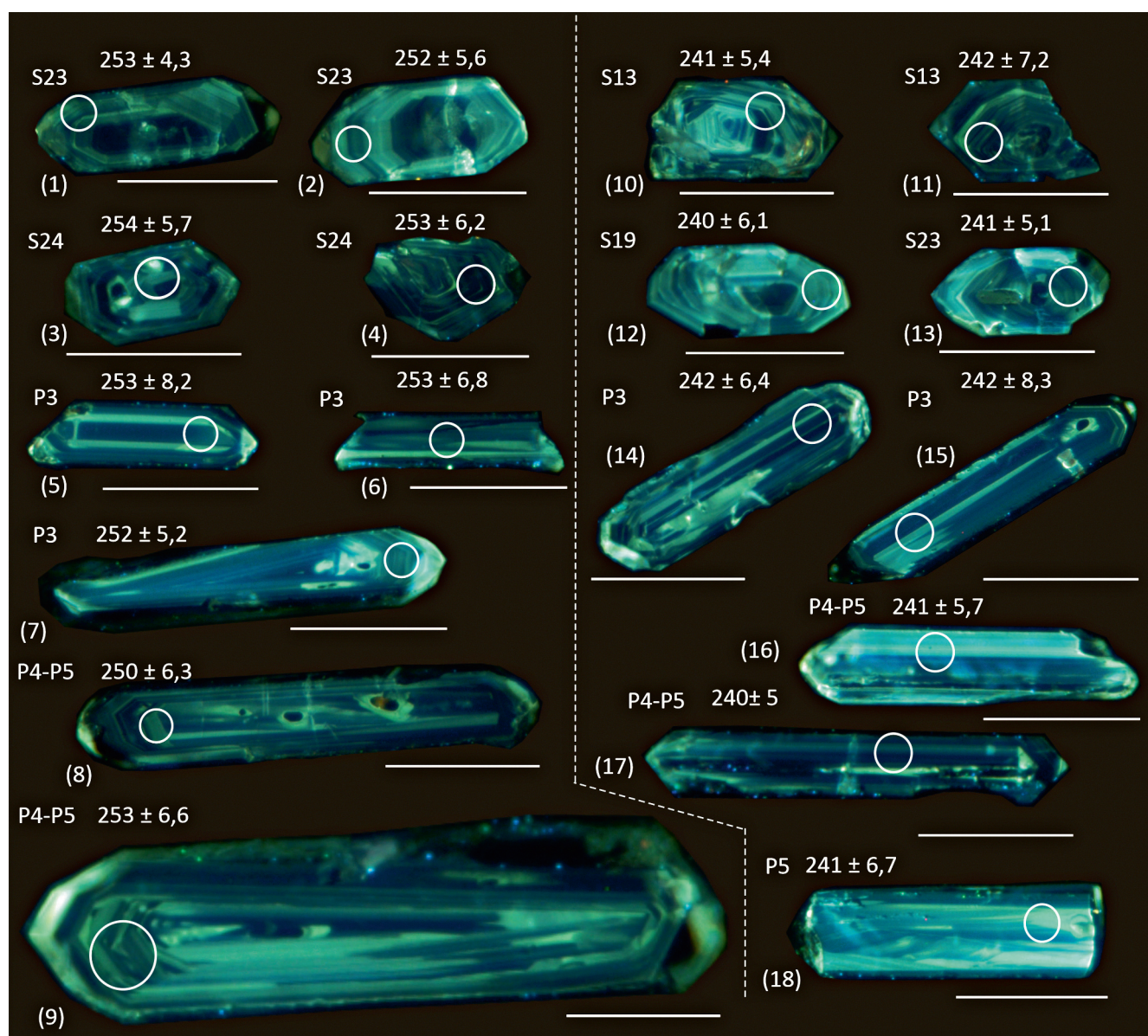


Рис. 4. Католюминисцентные изображения цирконов пробы К-3-1 с обозначением участков лазерной абляции (круг) и полученными U-Pb возрастами

Цирконы преимущественно в виде среднепризматических кристаллов с отношением длины к ширине от 2 до 4 составляют около 90 %. Короткопризматические кристаллы с отношением длины к ширине менее 2 — около 5 %. Длиннопризматические кристаллы с отношением длины к ширине более 4 встречаются редко, их количество не превышает 1 %. Большинство зерен (около 85 %) имеют хорошо развитые $\{100\}$ – $\{110\}$ призмы и $\{101\}$ – $\{211\}$ пирамиды. Кристаллы циркона (110 зерен) были разделены на основные типы и вторичные подтипы согласно классификации Ж. Пюпина [Pupin, 1980] (рис. 3). Диаграмма (рис. 3) свидетельствует, что в выборке идиоморфных кристаллов выделяется две популяции. Первая, преобладающая, популяция представлена кристаллами S-типа ($\{100\}$ – $\{110\}$ призмы, $\{101\}$ – $\{211\}$ пирамиды), среди которых доминирует подтип S_{18} (около 60 %), совместно с которым

встречаются единичные зерна подтипов S_{13} , S_{14} , S_{19} , S_{23} и S_{24} , в сумме не превышающие 5 % зерен. Вторая, меньшая по количеству зерен, популяция представлена кристаллами подтипа P ($\{100\}$ – $\{110\}$ призмы, $\{101\}$ пирамиды). В ней доминирует подтип P_4 , составляющий в сумме чуть более 30 %, наряду с которым встречаются единичные кристаллы подтипов P_3 и P_5 (составляющие в сумме не более 5 %).

Согласно CL изображениям, в пробе доминируют цирконы с осцилляторной зональностью, реже с полосчатой (рис. 4; Приложение 2 [Приложение..., 2025]). В некоторых зернах видны признаки метасоматических вторичных изменений. Отношение Th/U варьирует от 0,32 до 0,98. Указанные Th/U отношения, также как осцилляторная и полосчатая зональность, характерны для цирконов магматического происхождения [Corfu, et al., 2003; Wu, Zheng, 2004].

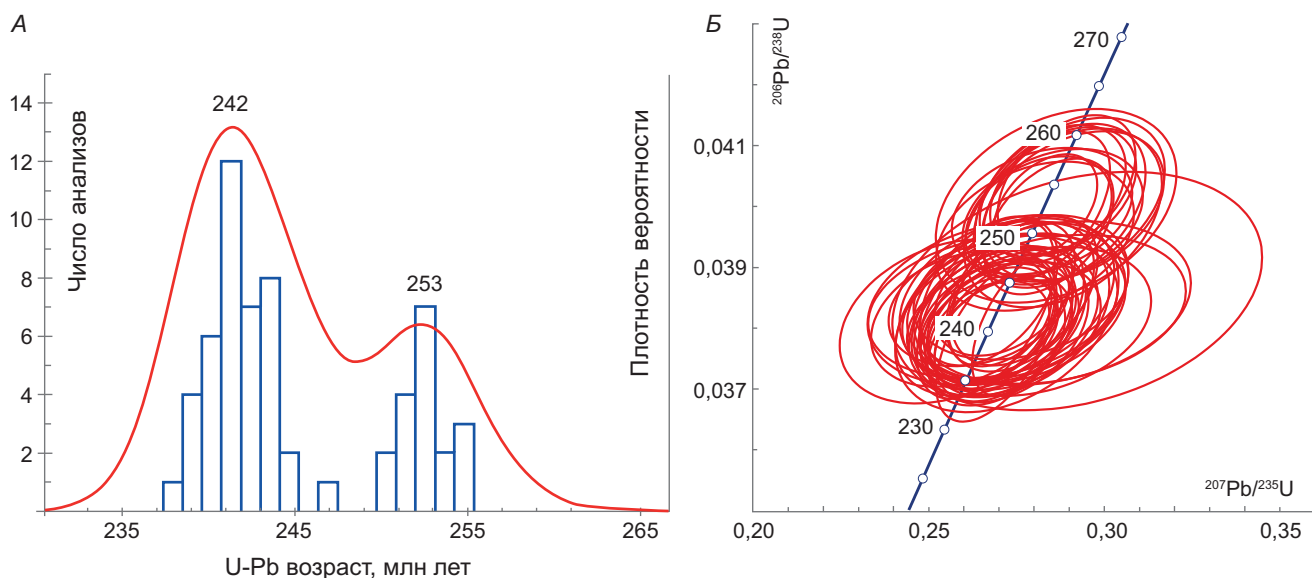


Рис. 5. График плотности вероятности и гистограмма распределения возрастов (А) и график с конкордией (Б) для цирконов образца № К-3-1

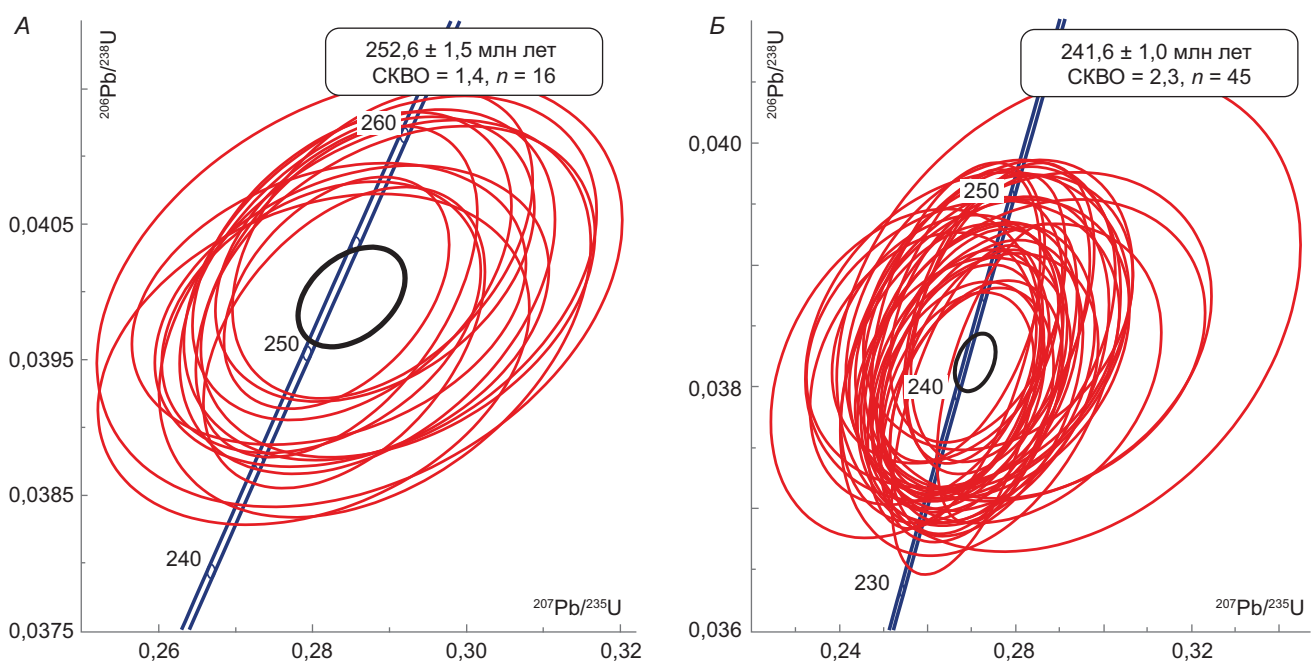


Рис. 6. Графики с конкордией для цирконов образца № К-3-1: (А) древний возрастной кластер, (Б) молодой возрастной кластер; эллипсы соответствуют погрешностям определений отношений для каждого зерна стандарта $\pm 2\sigma$

Датирование было проведено по 80 цирконам. Из этой выборки 19 измерений было исключено по причине высокой ($\geq 10\%$) дискордантности полученных значений возраста. Результаты датирования внешнего и контрольного стандартов, цирконов образца К-3-1 приведены в Приложении 3 ([Приложение..., 2025]). Для построения гистограммы относительной вероятности использовались $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (< 1000 млн лет) и $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (> 1000 млн лет) возрасты 61 циркона с дискордантностью (D, %) в интервале от -10% до $+10\%$. В пробе отчетливо выделяются два возрастных кластера цирконов: ~ 242 и ~ 253 млн лет (рис. 5; 6).

По морфологическим признакам цирконы с разными возрастами не отличаются (рис. 3–4). Однако, в выборке цирконов с возрастом ~ 253 млн лет чаще

встречаются обломки кристаллов (например, рис. 4, (4)–(6)).

Более древние цирконы имеют конкордантное значение возраста $252,6 \pm 1,5$ млн лет (рис. 5, А; 6, А). Наиболее молодой возраст $241,6 \pm 1,0$ млн лет (рис. 5, Б; 6, Б), в целом отвечающий границе между анизийским и ладинским ярусами, принят нами как возраст формирования туфового прослоя и вмещающих его отложений эльтонской свиты.

Таким образом, изученная выборка зерен цирконов содержит две популяции, одна из которых, с более молодым возрастом $241,6 \pm 1,0$ млн лет, вероятно происходит из вулканического пепла, а вторая, с возрастом $252,6 \pm 1,5$ млн лет, включает зерна, принесенные из области сноса. Конкордантный возраст

второй выборки может свидетельствовать о том, что на рубеже перми и триаса на рассматриваемой территории наблюдались пеплопады (ashfalls), которые впоследствии были уничтожены эрозией. Цирконы данного возраста вошли в состав минеральной составляющей палеопочв, формировавшихся уже в триасовое (эльтонское) время.

Обсуждение результатов. Нижняя граница ладинского яруса является одной из немногих ратифицированных границ триасового периода. Эталон (GSSP) границы является первое появление аммонитов *Eoprotachyceras curionii* в формации Бухенштайн в разрезе Баголино на севере Италии [Brack, et al., 2005; Lucas, 2010; Ogg, et al., 2020]. Радиоизотопное U-Pb датирование пяти вулканических пеплов указывает на возраст границы в пределах $241,464 \pm 0,064/0,097/0,28$ млн лет [Wotzlaw, et al., 2018].

Согласно современным палеогеографическим реконструкциям, с поздней перми до среднего триаса (260–240 млн лет) изученная территория находилась на южном окончании Лавразии (примерно 30–35° с.ш.). Основные рифты и трапповые провинции пермо-триасового рубежа были представлены Днепровско-Доценко-Карпинским (ДДК), Центрально-Азиатским (ЦА), Центрально-Казахстанским (ЦК), зоной Тейсера-Торнквиста (ТТЗ), Западно-Сибирским (ЗС) и Тунгусским бассейнами (ТБ) [400 миллионов..., 2005]. Ближайшими к месту расположения изученного разреза можно считать ДДК, ЦА, ЦК и ЗС вместе с ТБ — Сибирской трапповой провинцией.

Возрастной кластер цирконов ($252,6 \pm 1,5$ млн лет) в обр. К-3-1 может отражать вулканические события на рубеже перми и триаса, скорее всего в основном связанные с рифтами ДДК, ЦА, ЦК [400 миллионов..., 2005; Kent, Muttoni, 2020; Scotese, Schettino, 2017].

В Восточном Предкавказье известны рифтогенные комплексы раннего-среднего триаса системы бассейнов Восточный Маньч-Каясула-Моздок. Здесь распространены вулканиды известково-щелочной серии (андезиты, риолиты, игнимбриты и туфы). В позднетриасовое время на протяжении южного края Скифской платформы располагался известковисто-щелочной вулканический пояс субширотного простирания. Магматизм среднего и позднего триаса был надсубдукционным [400 миллионов..., 2005]. Причины магматизма среднего триаса в зоне сочленения океана Палео-Тетис и Лавразии, несмотря на множество исследований и гипотез, остаются дискуссионными. В целом, магматическая активность объясняется рифтингом и субдукцией (см. обзор в статье [Abbas, et al., 2018]). Кратковременные магматические события, вызванные локальной тектонической активностью в ладинском веке, зафиксированы в Южных и Восточных Альпах [Beltrán-Triviño, et al., 2016; Storck, et al., 2019; Huang, et al., 2022; Neubauer, et al., 2021]. Возрастной кластер цирконов ($241,6 \pm 1,0$ млн лет)

в обр. К-3-1 может быть связан с вулканическими событиями, сопровождавшими раскрытие рифтового бассейна Восточный Маньч-Каясула-Моздок.

Полученная радиоизотопная датировка ($241,6 \pm 1,0$ млн лет) отложений, непосредственно подстилающих слои индерской свиты с фауной «*Mastodonsaurus*» в разрезе Кок-Тау, в пределах погрешностей совпадает с датировкой границы анизийского и ладинского ярусов (~241,5 млн лет) [Wotzlaw, et al., 2018; Ogg, et al., 2014, 2020]. Таким образом, основание индерского горизонта в целом соответствует границе анизийского и ладинского ярусов и может быть использовано как нижний возрастной предел распространения фауны «*Mastodonsaurus*» (рис. 7). Для определения верхней возрастной границы этой фауны следует учитывать имеющиеся данные по букобайской свите Южного Приуралья, которая по тетраподам и спорово-пыльцевым комплексам (включая палиноассоциацию из верхов свиты [Твердохлебов и др., 2020]), считается не моложе позднего ладина.

По комплексу темноспондильных амфибий фауна «*Mastodonsaurus*» сопоставляется с позднеладинским тетраподным комплексом леттенкейпера (Lettenkeuper) Центральной Европы [Ochev, Shishkin, 1989; Shishkin, et al., 2000, 2023]. Обе эти ассоциации наземных позвоночных характеризуются доминированием близких форм мастодонзаврид, а также плагиозаврид с «пустулярным» типом покровного орнамента (соответственно, *Plagioscutum caspiense* и немецкий *Plagiosuchus pustuliferus*) [Шишкин, 1987; Шишкин, Очев, 1992]. Дополнительное сходство им придает также присутствие трематозаврид-букобайин (в леттенкейпере — *Trematolestes hagdorni* [Schoch, 2006]) и редких реликтовых хронизухий-быстровианид (в леттенкейпере — *Bystrowiella schumanni* [Witzmann, et al., 2008]). Так как леттенкейпер сопоставляется с верхним лудином Альпийского бассейна [Kozur, 1974], то и соответствующую ему тетраподную фауну следует датировать поздним лудином.

Отложения букобайского горизонта Южного Приуралья, вмещающие фауну «*Mastodonsaurus*», по палинологическим данным сопоставляются всеми исследователями с ладинским ярусом. Так, спорово-пыльцевой комплекс из букобайского горизонта близок к комплексам из леттенкейпера (верхний ладин) и морского мастексайского горизонта (нижний ладин) Прикаспийской впадины [Макарова, Вепрай, 1995; Ильина, 2001; Кухтинов и др., 2016; Shishkin, et al., 2000]. Букобайский спорово-пыльцевой комплекс также близок к ладинскому палинокомплексу *Converrucosisporites conferteornatus* — *Florinites pseudostratus* Северного Приуралья, характеризующему надкраснокаменную свиту [Ильина, 2001; Твердохлебов и др., 2020].

В Прикаспии отложения, охарактеризованные фауной «*Mastodonsaurus*» (верхи индерского горизонта), обнаруживают в датировке по микро-

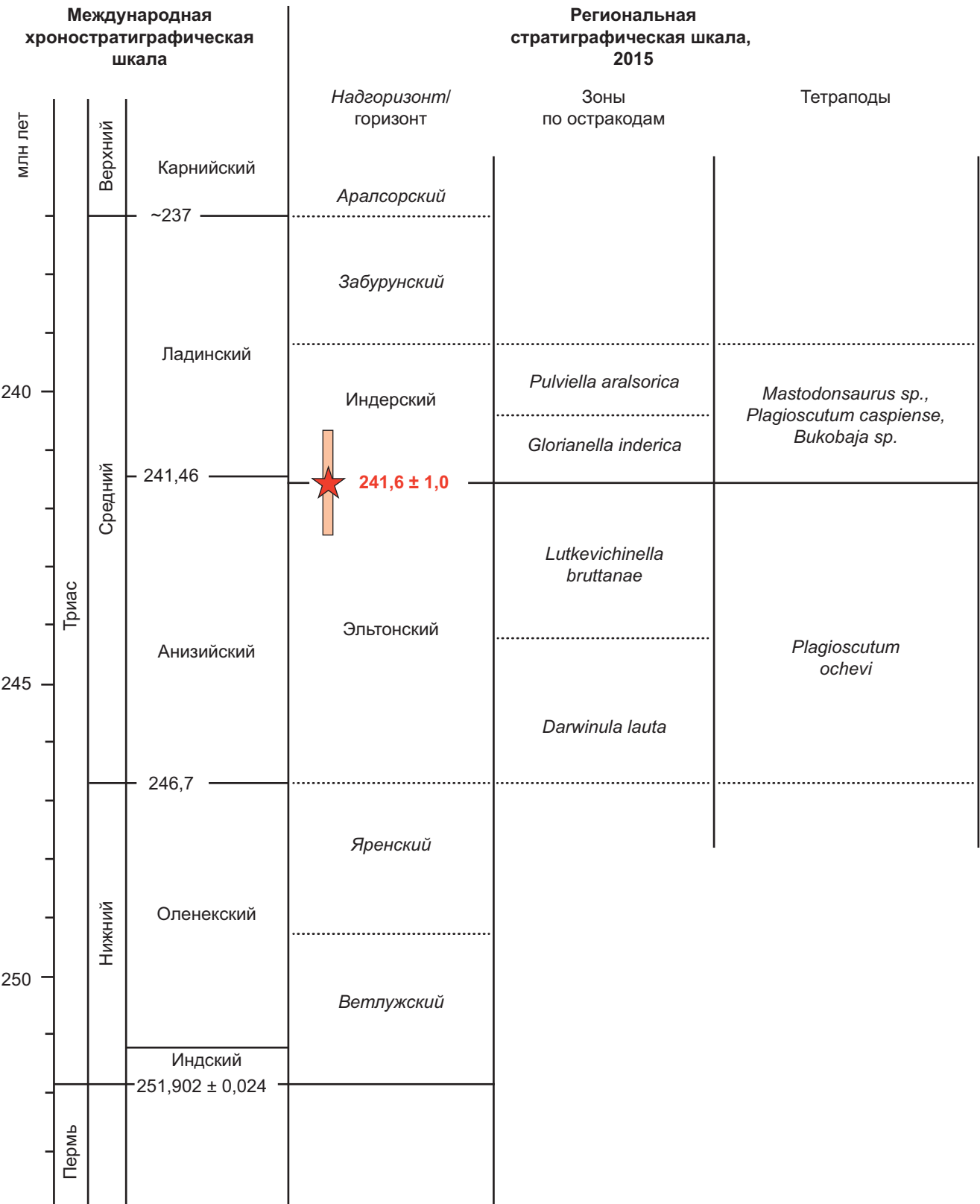


Рис. 7. Схема сопоставления региональных подразделений северо-запада Казахстана [Кухтинов и др., 2016] с Международной шкалой [Ogg, et al., 2020]; звездочка обозначает радиоизотопную датировку, обсуждаемую в статье

фауне некоторое несоответствие с датировками по тетраподам. Так, остракодовая зона *Pulviella aralsorica*, ассоциируемая здесь с остатками фауны «*Mastodonsaurus*», датируется поздним анизием-ранним латином [Кухтинов, 1999], а верхи индерского горизонта в восточной части Прикаспийской

впадины (верхнекиильская подсвита) по палинологическим данным — либо в том же возрастном интервале [Ярошенко и др., 2001], либо как поздний анизий [Ильина, 2001].
Еще большие противоречия во взглядах на возраст фауны «*Mastodonsaurus*» приведены в работах

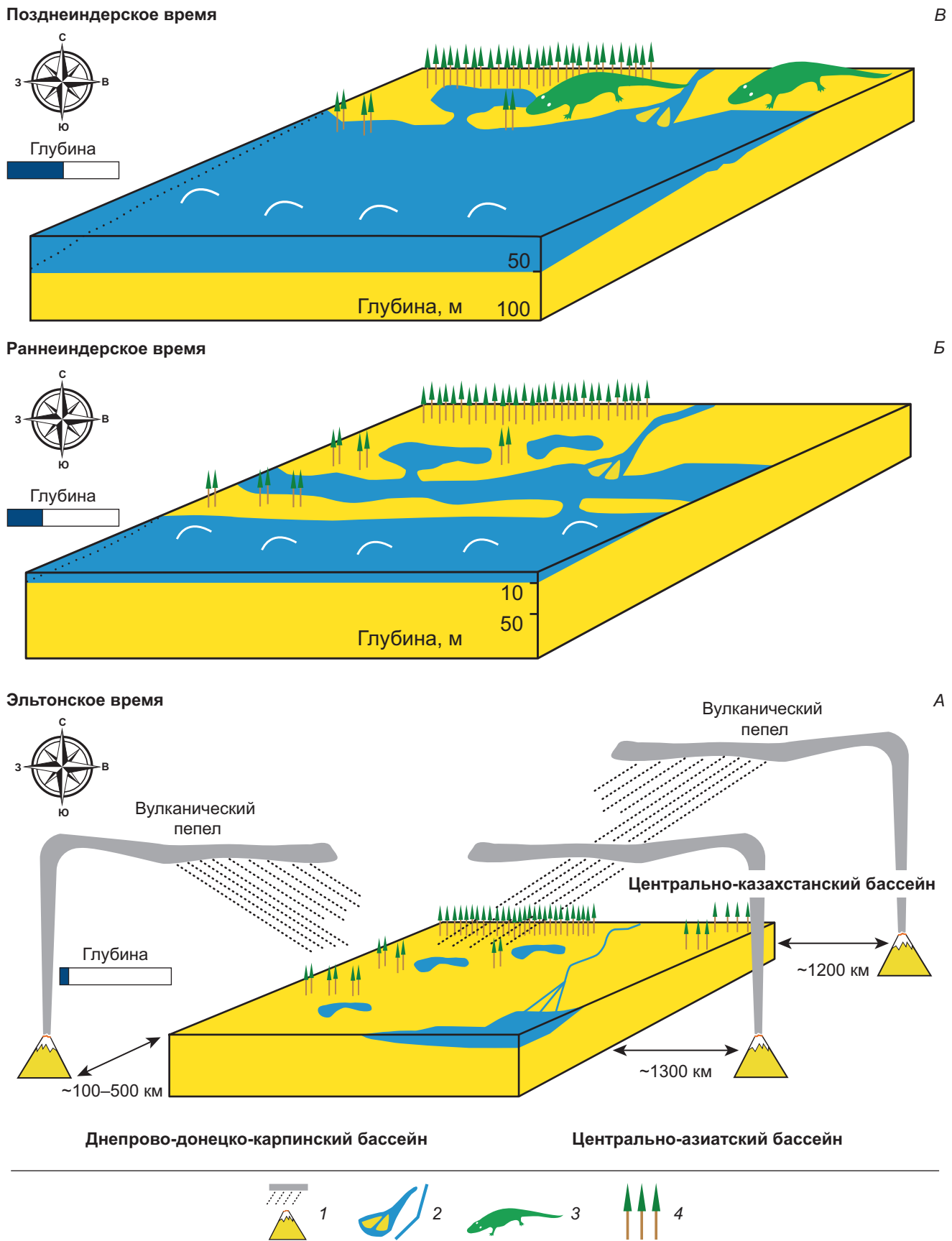


Рис. 8. Модель палеогеографических условий формирования эльтонской и индерской свит: А — существенно континентальная обстановка с палеопочвами и редкими трансгрессиями в эльтонское время; Б — преимущественно прибрежно-морская обстановка приливно-отливной зоны пляжа в раннеиндерское время; В — преимущественно прибрежно-морская обстановка зоны сублиторали, лежащей между уровнями воздействия слабых и штормовых волн в позднеиндерское время: 1 — вулканическая активность и пеплопады атмосферные осадки; 2 — реки; 3 — мастодонтозавры; 4 — наземная растительность

Е.В. Мовшовича и Х. Коцура [Мовшович, Коцур, 1975; Мовшович, 1980, 1998], согласно которым индерская свита не распространяется выше среднего анизия, а букобайская — почти целиком (за исключением верхней части) сопоставлена с верхним анизием. Основой для такой корреляции послужило сопоставление выделенных этими авторами остракодовых комплексов с комплексами из Северогерманской впадины.

В недавно утвержденной Актуализированной стратиграфической схеме триасовых отложений Прикаспийского региона [Кухтинов и др., 2016] были учтены новые материалы, ревизованы ранее известные данные и сделана попытка увязки всех известных сведений по разным группам палеонтологических остатков. Согласно этой схеме индерский горизонт большей своей частью соответствует верхнеанизийскому подъярису, и лишь его верхи, охарактеризованные фауной «*Mastodonsaurus*» в северо-западной части Прикаспийской впадины, сопоставлены с низами нижнеладинского [Кухтинов и др., 2016]. При этом было высказано предположение, что различия в датировках по остракодам, выявленные в работах Е.В. Мовшовича и Х. Коцура, с одной стороны, и Д.А. Кухтинова — с другой, связаны с различной соленостью Германского и Прикаспийского палеобассейнов [Кухтинов, 1999; Кухтинов и др., 2016]. Букобайский горизонт в рассматриваемой схеме отвечает большей части нижнего и всему верхнему подъярису ладина.

Закключение. Показана возможность сохранения измененных туфовых прослоев в палеопочвах триасовой континентальной формации Прикаспийской впадины; эти туфовые прослои могут содержать зерна цирконов в достаточном для радиоизотопного датирования количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы / Никишин А.М., Фокин П.А., Тихомиров П.Л. и др. М.: Геокарт, ГЕОС, 2005. 388 с. + 2 вклейки (Роснедра, Геокарт, МГУ)

Ильина Н.В. Палинотрастиграфия среднего триаса Тимано-Североуральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 230 с.

Кухтинов Д.А. О среднем триасе Северного Прикаспия в связи с проблемами межрегиональной корреляции // Вопросы общей стратиграфической корреляции: Межвуз. сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1999. С. 76–103.

Кухтинов Д.А., Ярошенко О.П., Шишкин М.А. и др. Актуализированная стратиграфическая схема триасовых отложений Прикаспийского региона. М.: ФГБУ «ВНИГНИ», 2016. 36 с.

Макарова И.С., Вергай И.Ф. Миоспоры // Биостратиграфия континентального триаса Южного Приуралья. М.: Наука, 1995. С. 120–129.

Мовшович Е.В. О возрасте суракайской свиты триаса Оренбургского Приуралья // Новое в стратиграфии триаса Палеоурала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 62–66.

Мовшович Е.В. Корреляция среднетриасовых отложений Северо-Каспийского и Германского бассейнов //

Радиоизотопные U-Pb LA-ICPMS датировки ($241,6 \pm 1,0$ млн лет) отложений, непосредственно подстилающих слои индерской свиты с фауной «*Mastodonsaurus*» в разрезе Кок-Тау свидетельствуют о том, что основание индерского горизонта может соответствовать границе анизийского и ладинского ярусов, и может быть использовано как нижний возрастной предел распространения фауны «*Mastodonsaurus*».

Накопление эльтонской свиты происходило преимущественно в континентальной обстановке, а индерской — преимущественно в прибрежно-морской. Схематическая палеогеографическая модель условий формирования в эльтонское и индерское время приведена на рис. 8.

Полученные радиоизотопные датировки, а также палеонтологические данные по букобайскому горизонту Южного Приуралья позволяют оценить возраст фауны «*Mastodonsaurus*» как целиком ладинский; отсутствие остатков этой фауны в более высоких частях (мастексайский и акмамыкский горизонты) среднего триаса Прикаспийской впадины можно объяснить морским (солонатоводным) генезисом этих отложений.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030). Исследования были профинансированы Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках грантового финансирования № АР 19177208 «Изучение биоразнообразия ископаемых морских рептилий в Западном Казахстане». Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Стратиграфия. Региональная корреляция. 1998. Т. 6, № 2. С. 18–26.

Мовшович Е.В., Коцур Х. О принципиальных вопросах стратиграфии триасовых отложений Северо-Каспийской впадины // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1975. № 10. С. 106–112.

Приложения к статьям: Силантьев В.В., Куликова А.В., Новиков И.В. и др. Возраст тетраподной фауны «*Mastodonsaurus*» (средний триас) Восточно-Европейской платформы: первые данные радиоизотопного U-Pb LA-ICPMS датирования. 2025. <https://zenodo.org/records/15158995>

Силантьев В.В., Куликова А.В., Новиков И.В. и др. Возраст тетраподной фауны «*Mastodonsaurus*» (средний триас) Восточно-Европейской платформы: первые данные радиоизотопного U-Pb LA-ICPMS датирования. Статья 1. Литологическая характеристика и условия формирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 2. С. 19–32.

Твердохлебов В.П., Сенников А.Г., Новиков И.В., Ильина Н.В. Самый молодой триасовый комплекс наземных позвоночных в России: состав и датировка // Палеонтол. журн. 2020. № 3. С. 87–102.

- Шишкин М.А. Эволюция древних амфибий. М.: Наука, 1987. 142 с. (Тр. Палеонтол. Ин-та АН СССР. Т. 225)
- Шишкин М.А., Очев В.Г. О возрасте эриозуховой и мастодонзавровой фауны позвоночных Восточной Европы // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 7. С. 28–35.
- Ярошенко О.П., Макарова И.С., Романовская Г.М., Ровнина Л.В., Фефилова Л.А. Палинокомплексы отложений среднего и верхнего триаса Прикаспийской впадины // Недр Поволжья и Прикаспия. Саратов: НВНИИГГ, 2001. Вып. 26. С. 10–18.
- Abbas H, Michail M., Cifelli F., et al. Emplacement modes of the Ladinian plutonic rocks of the Dolomites: Insights from anisotropy of magnetic susceptibility // J. Struct. Geol. 2018. No. 113. P. 42–61.
- Beltrán-Triviño A., Winkler W., von Quadt A., Gallhofer D. Triassic magmatism on the transition from Variscan to Alpine cycles: evidence from U–Pb, Hf, and geochemistry of detrital minerals // Swiss J. Geosci. 2016. Vol. 109, No. 3. P. 309–328.
- Brack P., Rieber H., Nicora A., Mundil R. The global boundary stratotype section and point (GSSP) of the Ladinian Stage (Middle Triassic) at Bagolino (southern Alps, northern Italy) and its implications for the Triassic time scale // Episodes. 2005. Vol. 28. P. 233–244.
- Huang Q., Neubauer F., Liu Y., et al. Permian–Triassic granites of the Schlading complex (Austroalpine basement): Implications for subduction of the Paleo-Tethys Ocean in the Eastern Alps // Gondwana Res. 2022. Vol. 109, No. 5. P. 205–224.
- Kent D.V., Muttoni G. Pangea B and the Late Paleozoic Ice Age // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2020. Vol. 553: 109753. S. 1–56.
- Kozur H. Biostratigraphie der germanischer Mitteltrias. Teil I // Freiberg. Forsch. 1974. C. 280. S. 1–56.
- Lucas S.G. The Triassic chronostratigraphic scale: History and status // Geol. Soc. Spec. Publ. 2010. Vol. 334. P. 17–39.
- Neubauer F., Liu Y., Dong Y., Chang R., Genser J., Yuan S. Pre-Alpine tectonic evolution of the Eastern Alps: From Prototethys to Paleotethys // Earth-Sci. Rev. 2021. Vol. 226: 103923.
- Oчев V.G., Shishkin M.A. On the principles of global correlation of the continental Triassic on the tetrapods // Acta Palaeontol. Pol. 1989. Vol. 34, No. 2. P. 149–173.
- Ogg J. G., Huang C., Hinnov L. Triassic timescale status: a brief overview // Albertiana. 2014. No. 41. P. 3–30.
- Ogg J.G., Chen Z.Q., Orchard M.J., Jiang H.S. The Triassic Period // Geologic Time Scale. Vol. 2 / Ed. F.M. Grandstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Elsevier, 2020. P. 902–953.
- Paton Ch., Woodhead J.D., Hellstrom J.C., et al. Improved laser ablation U–Pb zircon geochronology through robust down-hole fractionation correction // Geochem., Geoph., Geosyst. 2010. No. 11(3). P. 1–36. <https://doi.org/10.1029/2009gc002618>
- Pupin J.P. Zircon and granite petrology // Contrib. Mineral. Petrol. 1980. Vol. 73, Is. 3. P. 207–220.
- Scotese C.R., Schettino A. Late Permian–Early Jurassic Paleogeography of Western Tethys and the World // Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins: Tectonics and Hydrocarbon Potential / Ed. J.I. Soto, J.F. Flinch, G. Tari Elsevier, 2017. P. 57–95.
- Shishkin M.A., Novikov I.V., Sennikov A.G., et al. Triassic tetrapods of Russia // Paleontol. J. 2023. No. 12. P. 1353–1539.
- Shishkin M.A., Oчев V.G., Lozovskii V.R., Novikov I.V. Tetrapod biostratigraphy of the Triassic of Eastern Europe // The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia / Eds. M.J. Benton, M.A. Shishkin, D.M. Unwin, E.N. Kurochkin. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000. P. 120–139.
- Schoch R.R. A complete trematosaurid amphibian from the Middle Triassic of Germany // J. Vertebr. Paleontol. 2006. Vol. 26, No. 1. P. 29–43.
- Silantiev V.V., Arbuzov S.I., Tichomirowa M., et al. First U–Pb (CA-ID-TIMS) Dating of the Uppermost Permian Coal Interval in the Minusinsk Coal Basin (Siberia, Russia) Using Zircon Grains from Volcanic Ashfalls // Minerals. 2024. Vol. 14, No. 10: 982.
- Slama J., Kosler J., Condon D.J., et al. Plesovice zircon — a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis // Chem. Geol. 2008. Vol. 249, No. 1–2. P. 1–35.
- Storck J.C., Brack P., Wotzlaw J.F., Ulmer P. Timing and evolution of middle triassic magmatism in the southern alps (Northern Italy) // J. Geol. Soc. 2019. Vol. 176, No. 2. P. 253–268.
- Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., et al. Three Natural Zircon Standards for U–TH–PB, LU–HF, Trace Element and Re Analyses // Geostand. Newsl. 1995. Vol. 19, No. 1. P. 1–23.
- Witzmann F., Schoch R.R., Maisch M.W. A relict basal tetrapod from Germany: first evidence of a Triassic chroniosuchian outside Russia // Naturwissenschaften. 2008. No. 95. P. 67–72.
- Wotzlaw J.F., Brack P., Storck J.C. High-resolution stratigraphy and zircon U–Pb geochronology of the middle triassic buchenstein formation (dolomites, Northern Italy): Precession-forcing of hemipelagic carbonate sedimentation and calibration of the anisian-ladinian boundary interval // J. Geol. Soc. 2018. Vol. 175, No. 1. P. 71–85.

Статья поступила в редакцию 14.05.2024,
одобрена после рецензирования 12.05.2025,
принята к публикации 28.06.2025