

МРНТИ 38.31.15

DOI: <https://doi.org/10.62687/NSJ.3.2.2026.35>

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТУРОНСКОЙ ФЛОРЫ р. БЕЛЕУТЫ

¹Д.М. Саматов^{id}, ²Ш.Б. Акмагамбет*^{id}, ^{2,3}А.К. Жамангара^{id}, ¹Л.Х. Акбаева^{id}¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Астана, Казахстан²Международный университет Астана, Астана, Казахстан³Астанинский ботанический сад, Астана, Казахстан*e-mail: ashakhizada@gmail.com,

Д.М. Саматов – магистрант, кафедра Управление и инжиниринг в сфере охраны окружающей среды, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: dumansamatov5@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0726-6601>

Ш.Б. Акмагамбет – PhD, старший преподаватель, Высшая школа естественных наук, Астана, Казахстан, e-mail: ashakhizada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6330-4800>

А.К. Жамангара – к.б.н., и.о. профессор, Высшая школа естественных наук; ведущий научный сотрудник, Астанинский ботанический сад, Астана, Казахстан, e-mail: kashagankizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2348-1711>

Л.Х. Акбаева – к.б.н., доцент, кафедра Управление и инжиниринг в сфере охраны окружающей среды, Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан, e-mail: akbaeva_lk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2192-454X>

Аннотация. В статье представлены результаты количественной реконструкции климатических условий туронской флоры р. Белеуты, расположенной в пределах современной Улытауской области Казахстана. Палеоклиматический анализ выполнен методом Coexistence Approach на основе климатических диапазонов девяти ближайших современных родственников ископаемых растений (NLR). Исходные климатические характеристики NLR получены из базы Palaeoflora Database, version 2024. Реконструкция проведена по семи параметрам: среднегодовой температуре (MAT), средней температуре наиболее холодного (CMT) и наиболее теплого (WMT) месяцев, среднегодовому количеству осадков (MAP), а также осадкам наиболее влажного (MPWET), сухого (MPDRY) и теплого (MPWARM) месяцев. Установлены интервалы MAT 18,6–25,0 °C, CMT 8,1–19,8 °C, WMT 25,0–29,5 °C, MAP 585–1613 мм, MPWET 125–245 мм, MPDRY 3–43 мм и MPWARM 38–206 мм. Результаты характеризуют климат как тёплый и допускают выраженную сезонную неоднородность увлажнения. Анализ чувствительности показал существенное влияние *Bauhinia* sp. на нижние температурные границы: после исключения данного NLR они снижаются до 13,8 °C для MAT, 1,8 °C для CMT и 19,3 °C для WMT, тогда как интервалы осадков остаются неизменными. Полученные данные расширяют представления о континентальном климате Центрального Казахстана в туронское время.

Ключевые слова: турон, палеоклимат, палеофлора, Белеуты, Coexistence Approach.

БЕЛЕУТІ ӨЗЕНІНДЕГІ ТУРОН ФЛОРАСЫ БОЙЫНША ПАЛЕОКЛИМАТТЫҚ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖҮРГІЗУ

¹Д.М. Саматов, ²Ш.Б. Ақмағамбет*, ^{2,3}А.К. Жаманғара, ¹Л.Х. Ақбаева

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

³Астана ботаникалық бағы, Астана, Қазақстан

e-mail: ashakhizada@gmail.com

Д.М. Саматов – магистрант, Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: dumansamaton5@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0726-6601>

Ш.Б. Ақмағамбет – PhD, аға оқытушы, Жоғары жаратылыстану ғылымдары мектебі, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: ashakhizada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6330-4800>

А.К. Жаманғара – биология ғылымдарының кандидаты, профессор міндетін атқарушы, Жоғары жаратылыстану ғылымдары мектебі, Астана халықаралық университеті; жетекші ғылыми қызметкер, Астана ботаникалық бағы, Астана, Қазақстан; e-mail: kashagankizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2348-1711>

Л.Х. Ақбаева – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқару және инжиниринг кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: akbaeva_lk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2192-454X>

Аңдатпа. Мақалада Қазақстанның қазіргі Ұлытау облысы аумағында орналасқан Белеуті өзенінің турон флорасы қалыптасқан кездегі климаттық жағдайларды сандық реконструкциялау нәтижелері берілген. Палеоклиматтық талдау қазба өсімдіктердің ең жақын қазіргі туыстарының (NLR) климаттық диапазондарына негізделген Coexistence Approach әдісімен жүргізілді. Талдауға тоғыз NLR енгізіліп, олардың климаттық көрсеткіштері Palaeoflora Database, version 2024 деректер базасынан алынды. Реконструкция жеті климаттық параметр бойынша жүргізілді: орташа жылдық температура (MAT), ең суық (CMT) және ең жылы (WMT) айлардың орташа температурасы, орташа жылдық жауын-шашын мөлшері (MAP), ең ылғалды (MPWET), ең құрғақ (MPDRY) және ең жылы (MPWARM) айлардағы жауын-шашын мөлшері. MAT 18,6–25,0 °C, CMT 8,1–19,8 °C, WMT 25,0–29,5 °C, MAP 585–1613 мм, MPWET 125–245 мм, MPDRY 3–43 мм және MPWARM 38–206 мм аралықтары анықталды. Нәтижелер жылы климаттық жағдайларды және ылғалданудың маусымдық әркелкілігін көрсетеді. Сезімталдық талдауы *Bauhinia* sp. таксонының төменгі температуралық интервалдардың төменгі шекараларына елеулі әсер ететінін көрсетті: оны есептеуден алып тастағанда MAT 13,8 °C-қа, CMT 1,8 °C-қа, WMT 19,3 °C-қа дейін төмендейді, ал жауын-шашын көрсеткіштері өзгеріссіз қалады. Алынған нәтижелер турон кезеңіндегі Орталық Қазақстанның континенттік палеоклиматы туралы түсініктерді толықтырады.

Түйін сөздер: турон, палеоклимат, палеофлора, Белеуті, Coexistence Approach.

PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTION OF THE TURONIAN FLORA OF THE BELEUTY RIVER

¹D.M. Samatov, ²Sh.B. Akmagambet*, ^{2,3}A.K. Zhamangara, ¹L.Kh. Akbayeva

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Astana International University, Astana, Kazakhstan

³Astana Botanical Garden, Astana, Kazakhstan

e-mail: ashakhizada@gmail.com

D.M. Samatov – Master's student, Department of Environmental Management and Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: dumansamatov5@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0726-6601>

Sh.B. Akmagambet – PhD, Senior Lecturer, Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan; e-mail: ashakhizada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6330-4800>

A.K. Zhamangara – Candidate of Biological Sciences, Acting Professor, Higher School of Natural Sciences, Astana International University; Leading Researcher, Astana Botanical Garden, Astana, Kazakhstan; e-mail: kashagankizi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2348-1711>

L.Kh. Akbayeva – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Management and Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: akbaeva_lk@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2192-454X>

Abstract. This study presents a quantitative reconstruction of the climatic conditions associated with the Turonian flora of the Beleuty River locality, situated within the present-day Ulytau Region of Kazakhstan. Paleoclimate reconstruction was performed using the Coexistence Approach based on the climatic ranges of nine nearest living relatives (NLRs) of fossil plant taxa. Climatic data for the selected NLRs were obtained from the Palaeoflora Database, version 2024. Seven climatic parameters were reconstructed: mean annual temperature (MAT), cold month mean temperature (CMT), warm month mean temperature (WMT), mean annual precipitation (MAP), and precipitation of the wettest (MPWET), driest (MPDRY), and warmest (MPWARM) months. The reconstructed intervals were 18.6–25.0 °C for MAT, 8.1–19.8 °C for CMT, 25.0–29.5 °C for WMT, 585–1613 mm for MAP, 125–245 mm for MPWET, 3–43 mm for MPDRY, and 38–206 mm for MPWARM. The results indicate generally warm climatic conditions and suggest marked seasonal variability in precipitation. Sensitivity analysis revealed that *Bauhinia* sp. strongly controls the lower temperature limits. When this NLR was excluded, the lower limits decreased to 13.8 °C for MAT, 1.8 °C for CMT, and 19.3 °C for WMT, whereas all precipitation intervals remained unchanged. These results provide new quantitative constraints on the continental paleoclimate of Central Kazakhstan during the Turonian.

Keywords: Turonian, paleoclimate, paleoflora, Beleuty, Coexistence Approach.

Введение. Меловой период характеризовался преимущественно парниковым климатическим режимом, сопровождавшимся повышенными концентрациями атмосферного CO₂ и более высокими глобальными температурами по сравнению с современными условиями (DeConto и др., 1999: 391–406; Wang и др., 2014: 136–147). При этом климатические условия на континентах существенно варьировали во времени и пространстве, а растительный покров являлся важным компонентом климатической системы суши (DeConto и др., 1999: 391–406). Палеоботанические комплексы поэтому представляют один из основных источников информации о температурном режиме и условиях увлажнения континентальных областей прошлого; количественные реконструкции позднемелового климата успешно выполняются по макрофоссилиям растений с использованием различных физиономических и таксономических подходов (Spicer, Herman, 2010: 423–442; Utescher и др., 2014: 58–73).

Особое значение для изучения позднемеловых континентальных экосистем Центральной Азии имеют палеофлористические комплексы Казахстана. Одним из таких

объектов является флора р. Белеуты, впервые подробно описанная П.В. Шилиным. Растительные остатки происходят из верхнемеловых отложений, обнажающихся в береговых обрывах р. Белеуты на юге тогдашней Джезказганской области. В составе комплекса П.В. Шилиным было установлено 15 видов, относящихся к 11 родам и 10 семействам; основу флоры составляют покрытосеменные растения наряду с единичными представителями папоротников и хвойных (Шилин, 1977: 126–127).

Сравнение флоры Белеуты с другими позднемеловыми флорами Казахстана и Евразии показало ее наибольшее сходство с туронскими растительными комплексами. В частности, П.В. Шилин отмечал присутствие платанов, а также узко- и мелколистных древесных и кустарниковых форм, характерных для туронского этапа развития позднемеловой флоры Казахстана. На основании флористического состава и сопоставления с флорой Кызылжара растеносные отложения р. Белеуты были отнесены автором к турону (Шилин, 1977: 128–129).

Исследование П.В. Шилина имело преимущественно систематическую, флористическую и стратиграфическую направленность и не включало количественную оценку основных климатических параметров территории (Шилин, 1977: 126–139). Между тем флористический состав местонахождения позволяет рассмотреть возможность получения количественных характеристик температуры и увлажнения с использованием подхода ближайших современных родственников — Nearest Living Relatives (NLR).

Одним из методов количественной палеоклиматической реконструкции по таксономическому составу ископаемых флор является Coexistence Approach (CA). Метод основан на определении ближайших современных родственников ископаемых растений и установлении климатического диапазона, в пределах которого климатические амплитуды их современных аналогов перекрываются (Mosbrugger, Utescher, 1997: 61–86). В дальнейшем теоретические основы и процедура применения CA были уточнены, при этом особое внимание было обращено на надежность определения ископаемых таксонов, корректность выбора NLR и качество исходных климатических данных (Utescher и др., 2014: 58–73).

В Казахстане Coexistence Approach уже использовался для количественного анализа ряда кайнозойских флор, включая раннеолигоценовую флору Киин-Кериша (Akmagambet и др., 2024: 134–147), раннемиоценовую флору Кушука (Zhamangara и др., 2025: 171–184), а также при сравнительной реконструкции климатических условий Кушука и гор Актау (Akmagambet и др., 2025: 893–902). Применение аналогичного подхода к значительно более древней туронской флоре требует более строгой оценки надежности NLR, поскольку увеличение эволюционной дистанции между ископаемым таксоном и его современным родственником повышает неопределенность климатической интерпретации (Utescher и др., 2014: 58–73; Grimm и др., 2016: 216–235).

Цель исследования — провести количественную реконструкцию температурного режима и условий увлажнения территории формирования туронской флоры р. Белеуты с использованием метода Coexistence Approach.

Для достижения поставленной цели предусматривается определение ближайших современных родственников ископаемых растений, установление их климатических диапазонов и расчет интервалов среднегодовой температуры, температур наиболее холодного и наиболее теплого месяцев, среднегодового количества осадков и показателей сезонного распределения осадков.

Материалы и методы исследования. Материалом исследования послужила позднемеловая флора местонахождения на р. Белеуты, расположенного в пределах современной Улытауской области Республики Казахстан. В первичной публикации П. В. Шилина территория была указана как южная часть Джезказганской области в соответствии с административно-территориальным делением времени проведения исследований. Растеносные отложения обнажаются в береговых обрывах р. Белеуты. Согласно первоначальному описанию, местонахождение расположено на правом берегу реки, близ устья впадающего в нее сая Бозинген (Шилин, 1977: 126).

Точные географические координаты местонахождения в первичной публикации не

приведены. В связи с этим его положение на карте в настоящей работе обозначается ориентировочно, на основании топографического описания П. В. Шилина. Показанная на карте точка отражает приблизительное положение палеоботанического местонахождения и не рассматривается как его точная географическая координата.

Разрез и положение растеносного горизонта ранее были описаны К. В. Никифоровой. В 1966 г. П. В. Шилиным при участии Г. Ф. Лычева из горизонта беловато-серых глинистых алевроитов была собрана коллекция отпечатков растений. В первичной публикации указано, что материал был передан в Институт зоологии АН КазССР под инвентарным номером 314 (Шилин, 1977: 126). В настоящее время образцы данной коллекции хранятся в Палеоботаническом фонде Астанинского ботанического сада и в Институте ботаники и фитоинтродукции под коллекционным номером 314.

Основным источником сведений о местонахождении, стратиграфическом положении и исходном систематическом составе комплекса послужила статья П. В. Шилина «Поздне меловая флора р. Белеуты» (Шилин, 1977: 126–139). В качестве дополнительного источника использована монография П. В. Шилина «Поздне меловые флоры Казахстана: систематический состав, история развития, стратиграфическое значение» (Шилин, 1986), в которой поздне меловые флоры Казахстана рассмотрены в более широком флористическом и стратиграфическом контексте.

Возраст растеносного комплекса был определен П. В. Шилиным на основании флористической корреляции. При сопоставлении флоры Белеуты с другими поздне меловыми комплексами Казахстана учитывались ее таксономический состав, соотношение крупно-, средне-, мелко- и узколистных форм, а также присутствие общих элементов с другими флорами. Наибольшее сходство отмечено с туронской флорой Кызылжара, на основании чего растеносные отложения р. Белеуты были отнесены к турону (Шилин, 1977: 128–129). В настоящем исследовании возраст флоры принимается как туронский согласно флористической корреляции П. В. Шилина.

По данным П. В. Шилина, флора р. Белеуты включает 15 видов, относящихся к 11 родам и 10 семействам; часть материала определена только до уровня рода или семейства (Шилин, 1977: 126). В составе комплекса представлены папоротники, хвойные и покрытосеменные растения, причем последние составляют основную часть флоры.

В исходном флористическом составе указаны *Asplenium dicksonianum* Heer, *Pityophyllum* sp., *Sequoia heterophylla* Velen., *Sassafraphyllum beleutinus* Shilin sp. nov., *Platanus cuneifolia* (Bonn.) Vachr., *Platanus embicola* Vachr., *Platanus* sp., *Ficus daphnogenoides* (Heer) Berry, *Myrica emarginata* Heer, *Myricophyllum* sp. cf. *M. glandulosum* Velen., *Diospyros primaeva* Heer, *Dalbergites simplex* (Newb.) Sew., *Ziziphus ajatensis* Vachr., *Ziziphus menneri* Vachr. и *Ziziphus* sp. (Шилин, 1977: 126–128).

В систематической части работы дополнительно рассматривается отпечаток, предварительно определенный как *Bauhinia* sp. Его сохранность П. В. Шилин характеризовал как недостаточную для более точного определения (Шилин, 1977: 127). Поскольку данный таксон включен в климатическую выборку, его влияние на границы реконструированных климатических интервалов учитывалось при последующей интерпретации результатов.

Для количественного анализа использовались уникальные таксономические единицы, а не число отдельных растительных отпечатков. Несколько ископаемых видов, сопоставляемых с одним и тем же современным родом или семейством, не рассматривались как независимые повторения одного NLR. Такой подход исключает искусственное увеличение вклада одного современного аналога в климатическую реконструкцию.

Количественная реконструкция палеоклиматических условий выполнена методом Coexistence Approach (CA), разработанным для определения климатических диапазонов ископаемых флор на основе ближайших современных родственников — Nearest Living Relatives (NLR). Метод основан на предположении, что климатические требования ископаемого таксона могут быть оценены посредством климатической амплитуды его ближайшего современного родственника; для каждого климатического параметра определяется интервал, в пределах

которого могут сосуществовать NLR всех информативных компонентов ископаемой флоры (Mosbrugger, Utescher, 1997: 61–86).

На основании систематического состава флоры р. Белеуты были определены современные аналоги ископаемых растений. В окончательную расчетную выборку вошли девять NLR: *Bauhinia* sp., *Diospyros* sp., *Fabaceae*, *Ficus* sp., *Lauraceae*, *Myrica* sp., *Platanus* sp., *Sequoioideae* и *Ziziphus* sp.

Таксоны, для которых невозможно достаточно обоснованно установить современный аналог либо отсутствуют необходимые климатические характеристики, в расчет интервалов сосуществования не включались. При выборе NLR учитывалось, что систематическое сходство ископаемого морфотаксона и современного рода само по себе не всегда является достаточным свидетельством идентичности их климатических требований. Необходимость критической оценки таксономии ископаемых растений, выбора NLR и исходных климатических данных специально подчеркивается в современных методических рекомендациях по применению СА (Utescher и др., 2014: 58–73).

Минимальные и максимальные значения климатических диапазонов выбранных NLR получены из The Palaeoflora Database – Documentation and Data, Version 2024 (Utescher, Bruch, Mosbrugger, 2024). База Palaeoflora содержит сведения об ископаемых растительных таксонах, соответствующих им NLR и климатическим требованиям современных таксонов. Климатические диапазоны современных растений в базе преимущественно основаны на метеорологических наблюдениях станций, расположенных в пределах современных ареалов соответствующих таксонов.

Версия базы 2024 г. содержит климатические сведения приблизительно для 1900 современных таксономических единиц и предназначена для количественных палеоклиматических реконструкций на основе палеоботанических данных (Utescher и др., 2024). Для обеспечения воспроизводимости анализа при всех расчетах использовались значения одной версии базы — Palaeoflora 2024.

Количественная реконструкция проводилась по семи климатическим параметрам:

- MAT (Mean Annual Temperature) — среднегодовая температура, °C;
- CMT (Cold Month Mean Temperature) — средняя температура наиболее холодного месяца, °C;
- WMT (Warm Month Mean Temperature) — средняя температура наиболее теплого месяца, °C;
- MAP (Mean Annual Precipitation) — среднегодовое количество осадков, мм;
- MPWET (Mean Precipitation of the Wettest Month) — количество осадков наиболее влажного месяца, мм;
- MPDRY (Mean Precipitation of the Driest Month) — количество осадков наиболее сухого месяца, мм;
- MPWARM (Mean Precipitation of the Warmest Month) — количество осадков наиболее теплого месяца, мм.

Данные параметры позволяют независимо оценивать среднегодовой температурный режим, температурные условия холодного и теплого сезонов, суммарное годовое увлажнение и сезонные особенности распределения атмосферных осадков. Аналогичные климатические показатели входят в стандартный набор параметров Coexistence Approach (Mosbrugger, Utescher, 1997: 61–86; Utescher и др., 2014: 58–73).

Интервал сосуществования определялся независимо для каждого климатического параметра. Для каждого NLR использовались нижняя и верхняя границы соответствующего климатического диапазона.

Нижняя граница итогового интервала определялась как максимальное значение среди минимальных значений всех включенных NLR, а верхняя граница — как минимальное значение среди их максимальных значений:

$$CI_{\min} = \max(L_i), CI_{\max} = \min(U_i),$$

где L_i и U_i — соответственно нижняя и верхняя климатические границы i -го NLR.

Таким образом, итоговый интервал представляет собой область общего перекрытия климатических амплитуд современных аналогов ископаемой флоры — то есть климатические условия, потенциально совместимые с существованием всех информативных NLR (Mosbrugger, Utescher, 1997: 61–86; Utescher и др., 2014: 58–73).

Для MAT отдельно сопоставлялись значения MATmin и MATmax всех NLR, для CMT — CMTmin и CMTmax, для WMT — WMTmin и WMTmax. Аналогичная процедура использовалась для MAP, MPWET, MPDRY и MPWARM.

Среднее арифметическое между нижней и верхней границами интервала не рассчитывалось. В соответствии с принципом Coexistence Approach результатом реконструкции является именно климатический интервал, а не точечная или усредненная оценка параметра. Поэтому все полученные результаты представлены далее в формате minimum-maximum.

При интерпретации реконструированных параметров учитывался туронский возраст исследуемой флоры. Первоначально Coexistence Approach был разработан для третичных флор, а его основным допущением является сходство климатических требований ископаемых растений с требованиями их ближайших современных родственников (Mosbrugger, Utescher, 1997: 61–86). Поэтому применение метода к значительно более древнему туронскому комплексу требует повышенной осторожности при выборе NLR и интерпретации полученных диапазонов.

Реконструированные значения рассматриваются в настоящей работе как интервальные оценки вероятных климатических условий существования флоры р. Белеуты, а не как абсолютные значения палеотемпературы или количества атмосферных осадков. Особое внимание при обсуждении результатов уделяется тем NLR, которые непосредственно определяют нижние или верхние границы интервалов. Это особенно важно для *Bauhinia* sp., поскольку исходное ископаемое определение этого таксона П. В. Шилиным носило предварительный характер (Шилин, 1977: 127).

Результаты. Палеоклиматическая реконструкция туронской флоры р. Белеуты выполнена на основании климатических диапазонов девяти ближайших современных родственников, включенных в анализ методом Coexistence Approach. Для каждого климатического параметра определялась область совместного перекрытия минимальных и максимальных климатических границ NLR. В результате получены интервальные оценки трех температурных параметров — MAT, CMT и WMT — и четырех параметров атмосферных осадков — MAP, MPWET, MPDRY и MPWARM.

Для общей характеристики реконструированного климата сначала были сопоставлены итоговые интервалы сосуществования всех семи параметров. Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Реконструированные климатические параметры туронской флоры р. Белеуты методом Coexistence Approach

Климатический параметр	Нижняя граница	Верхняя граница	Интервал СА
MAT, °C	18,6	25,0	18,6–25,0
CMT, °C	8,1	19,8	8,1–19,8
WMT, °C	25,0	29,5	25,0–29,5
MAP, мм	585	1613	585–1613
MPWET, мм	125	245	125–245
MPDRY, мм	3	43	3–43
MPWARM, мм	38	206	38–206

Как видно из таблицы 1, реконструированный интервал среднегодовой температуры

составляет 18,6–25,0 °С. Средняя температура наиболее холодного месяца находится в пределах 8,1–19,8 °С, тогда как средняя температура наиболее теплого месяца реконструируется в диапазоне 25,0–29,5 °С. Таким образом, все три температурных параметра характеризуются положительными значениями нижних границ, включая CMT.

Среднегодовое количество осадков характеризуется более широким интервалом — 585–1613 мм. Для наиболее влажного месяца получен диапазон 125–245 мм, для наиболее сухого — 3–43 мм, а для наиболее теплого месяца — 38–206 мм. Значительная разница между диапазонами MPWET и MPDRY указывает на возможность выраженной сезонной неоднородности режима увлажнения. Однако степень сезонности и ее палеоэкологическое значение требуют отдельного рассмотрения в разделе «Обсуждение».

Для более наглядного представления температурной реконструкции минимальные и максимальные границы MAT, CMT и WMT были представлены графически. На рисунке 1 отдельно показаны нижняя и верхняя границы каждого температурного параметра.

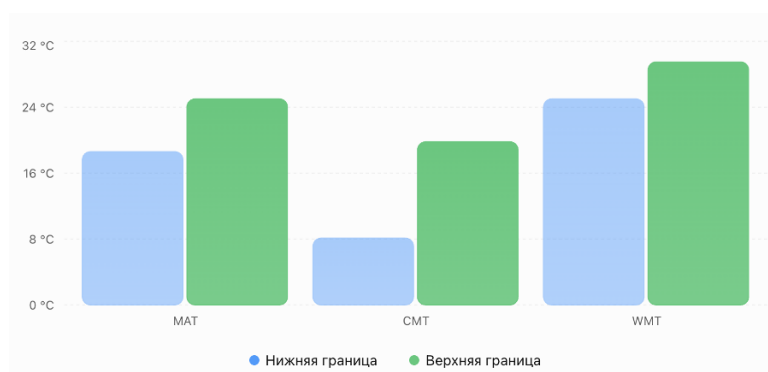


Рисунок 1. Реконструированные температурные параметры туронской флоры р. Белеуты методом Coexistence Approach

Графическое представление показывает различия между тремя температурными характеристиками. Наиболее низкая нижняя граница установлена для CMT и составляет 8,1 °С, тогда как WMT характеризуется наиболее высокими значениями — 25,0–29,5 °С. Интервал MAT занимает промежуточное положение и составляет 18,6–25,0 °С.

Наиболее узкий интервал получен для WMT — 4,5 °С, тогда как диапазон CMT значительно шире и составляет 11,7 °С. Следовательно, климатические ограничения NLR позволяют более узко определить условия наиболее теплого месяца, чем температурные условия наиболее холодного месяца.

Для определения происхождения границ реконструированных интервалов были дополнительно проанализированы NLR, непосредственно ограничивающие каждый параметр. Эти данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. NLR, определяющие границы реконструированных климатических интервалов

Параметр	NLR нижней границы	Значение	NLR верхней границы	Значение
MAT	<i>Bauhinia</i> sp.	18,6 °С	<i>Sequoioideae</i>	25,0 °С
CMT	<i>Bauhinia</i> sp.	8,1 °С	<i>Sequoioideae</i>	19,8 °С
WMT	<i>Bauhinia</i> sp.	25,0 °С	<i>Diospyros</i> sp.; <i>Platanus</i> sp.	29,5 °С
MAP	<i>Ficus</i> sp.	585 мм	<i>Sequoioideae</i>	1613 мм
MPWET	<i>Ficus</i> sp.	125 мм	<i>Sequoioideae</i>	245 мм
MPDRY	<i>Ficus</i> sp.	3 мм	<i>Ziziphus</i> sp.	43 мм
MPWARM	<i>Diospyros</i> sp.	38 мм	<i>Platanus</i> sp.	206 мм

Анализ таблицы 2 показывает, что *Bauhinia* sp. определяет нижнюю границу одновременно всех трех температурных параметров — MAT, CMT и WMT. Верхние температурные ограничения формируются преимущественно *Sequoioideae*, тогда как верхняя граница WMT задается *Diospyros* sp. и *Platanus* sp.

Для параметров осадков картина отличается. Нижние границы MAP, MPWET и MPDRY определяются *Ficus* sp., тогда как верхние границы формируются разными NLR. Следовательно, результат реконструкции не является одинаково зависимым от одного таксона для всех климатических характеристик.

Для оценки режима увлажнения отдельно были сопоставлены минимальные и максимальные значения MAP, MPWET, MPDRY и MPWARM. Результаты представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Реконструированные параметры атмосферных осадков туронской флоры р. Белеуты методом Coexistence Approach

Наибольший абсолютный диапазон характерен для среднегодового количества осадков: 585–1613 мм. При этом значения для отдельных месяцев различаются существенно. Наиболее влажный месяц характеризуется количеством осадков 125–245 мм, тогда как для наиболее сухого месяца реконструирован значительно более низкий интервал — 3–43 мм.

Количество осадков наиболее теплого месяца составляет 38–206 мм. Широкий диапазон MPWARM показывает, что имеющийся состав NLR слабее ограничивает количество осадков теплого сезона, чем, например, MPDRY. При этом сочетание сравнительно высоких значений MPWET и низкой нижней границы MPDRY свидетельствует о том, что реконструкция допускает заметные сезонные различия в увлажнении.

Особого внимания требует влияние *Bauhinia* sp. на реконструированные температуры. В первичном описании соответствующий ископаемый материал был определен П. В. Шилиным предварительно, а сохранность отпечатка не позволяла провести более детальное таксономическое определение (Шилин, 1977: 127). Белеуті Поскольку *Bauhinia* sp. одновременно задает нижние границы MAT, CMT и WMT, была проведена дополнительная проверка устойчивости результата путем повторного расчета СА после исключения данного NLR.

Полученные результаты анализа чувствительности приведены в таблице 3.

Таблица 3. Изменение климатических интервалов после исключения *Bauhinia* sp.

Параметр	Основной расчет, 9 NLR	Без <i>Bauhinia</i> sp.	Изменение нижней границы
MAT, °C	18,6–25,0	13,8–25,0	–4,8 °C
CMT, °C	8,1–19,8	1,8–19,8	–6,3 °C
WMT, °C	25,0–29,5	19,3–29,5	–5,7 °C
MAP, мм	585–1613	585–1613	без изменений
MPWET, мм	125–245	125–245	без изменений

Параметр	Основной расчет, 9 NLR	Без <i>Bauhinia</i> sp.	Изменение нижней границы
MPDRY, мм	3–43	3–43	без изменений
MPWARM, мм	38–206	38–206	без изменений

Результаты показывают, что исключение *Bauhinia* sp. приводит к снижению исключительно нижних температурных границ. Для MAT она изменяется с 18,6 до 13,8 °С, для CMT — с 8,1 до 1,8 °С, а для WMT — с 25,0 до 19,3 °С. Верхние температурные границы при этом сохраняются неизменными.

Для более наглядного представления степени влияния *Bauhinia* sp. на температурную реконструкцию нижние границы исходного и альтернативного расчета сопоставлены на рисунке 3.

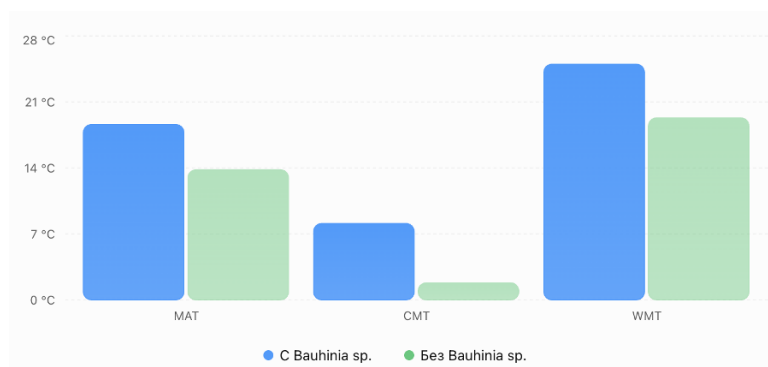


Рисунок 3. Влияние исключения *Bauhinia* sp. на нижние границы температурных интервалов Coexistence Approach

Наибольшее изменение установлено для CMT: нижняя граница уменьшается на 6,3 °С. Для WMT изменение составляет 5,7 °С, а для MAT — 4,8 °С. Следовательно, нижние границы всех трех температурных параметров являются чувствительными к включению *Bauhinia* sp. в набор NLR.

В то же время все четыре реконструированных показателя атмосферных осадков после исключения *Bauhinia* sp. остаются без изменений. Это показывает, что полученная реконструкция режима увлажнения устойчива относительно данного таксономического допущения, тогда как точное положение нижних температурных границ требует более осторожной интерпретации.

В целом основной расчет СА для флоры р. Белеуты характеризует MAT в пределах 18,6–25,0 °С, CMT — 8,1–19,8 °С, WMT — 25,0–29,5 °С и MAP — 585–1613 мм. Вместе с тем анализ чувствительности показывает, что температурная реконструкция в значительной степени зависит от включения *Bauhinia* sp., тогда как интервалы атмосферных осадков сохраняются устойчивыми. Поэтому в дальнейшем обсуждении климатических условий Белеуты основной и альтернативный варианты температурной реконструкции целесообразно рассматривать совместно, не интерпретируя нижнюю границу MAT 18,6 °С как безусловно установленное значение.

Обсуждение. Полученные для флоры р. Белеуты климатические интервалы характеризуют условия существования растительности Центрального Казахстана в туронское время. Основной расчет методом Coexistence Approach показал среднегодовую температуру (MAT) в пределах 18,6–25,0 °С, среднюю температуру наиболее холодного месяца (CMT) — 8,1–19,8 °С, а наиболее теплого месяца (WMT) — 25,0–29,5 °С. Среднегодовое количество осадков (MAP) реконструировано в диапазоне 585–1613 мм, при значениях MPWET 125–245 мм, MPDRY 3–43 мм и MPWARM 38–206 мм.

Реконструированные значения MAT и WMT свидетельствуют о достаточно высоком температурном фоне в период формирования флоры Белеуты. Даже нижняя граница основного

интервала МАТ составляет 18,6 °С, а WMT — 25,0 °С. При этом СМТ остается положительной во всем основном интервале и составляет 8,1–19,8 °С. В совокупности эти показатели соответствуют климату без выраженной холодной зимней фазы в том виде, в каком она характерна для современного резко континентального климата Центрального Казахстана.

Такая реконструкция в целом согласуется с глобальными представлениями о меловом климате. Средняя часть мелового периода характеризовалась преимущественно теплыми greenhouse- и super-greenhouse-условиями, с высокими температурами и относительно слабыми широтными температурными градиентами. Особенно высокие температуры отмечаются в интервале позднего сеномана — раннего турона, включающем климатический максимум около границы сеномана и турона (Bottini, Erba, 2018: 1147–1163).

При этом полученные для Белеуты значения нельзя напрямую сопоставлять, например, с температурой поверхности морской воды, поскольку морские геохимические прокси и наземные палеоботанические методы характеризуют разные компоненты климатической системы. Тем не менее независимые морские исследования также подтверждают существование теплого климатического режима в сеноман-туронское время и крупную перестройку глобальной климатической и углеродной системы около границы сеномана и турона (Petrizzo и др., 2022).

Палеоботанические исследования других областей Северного полушария также показывают, что в позднем мелу теплые условия распространялись на значительно более высокие широты, чем в настоящее время. Анализ позднемеловых флор палеоарктических районов Северо-Восточной России и Аляски свидетельствует о существовании теплого наземного климата даже в высоких широтах, хотя температурный и гидрологический режим существенно варьировал регионально (Spicer, Hergman, 2010).

Таким образом, реконструкция Белеуты не противоречит общей картине теплого позднемелового климата. Однако абсолютные границы полученного температурного диапазона требуют более осторожной оценки вследствие особенностей используемого флористического материала.

Среднегодовое количество осадков для флоры Белеуты реконструируется в довольно широком диапазоне 585–1613 мм. Такой интервал показывает, что имеющийся набор NLR значительно менее жестко ограничивает годовое количество осадков, чем некоторые температурные параметры.

Для наиболее влажного месяца установлен интервал 125–245 мм, для наиболее сухого — 3–43 мм, а для наиболее теплого месяца — 38–206 мм. При этом эти показатели необходимо интерпретировать осторожно. Значения MPWET и MPDRY рассчитаны как самостоятельные СА-интервалы, поэтому их нижние и верхние границы не представляют собой климат одного конкретного месяца или одного конкретного сценария и не должны непосредственно вычитаться друг из друга.

Тем не менее сочетание допустимых диапазонов MPWET и MPDRY показывает, что состав NLR совместим как с достаточно влажными периодами года, так и со значительно более сухими условиями в отдельные месяцы. Следовательно, флора допускает наличие сезонной неоднородности атмосферного увлажнения. Однако утверждать на основании только данных СА о конкретной продолжительности сухого сезона или о муссонном типе климата было бы преждевременно.

Интерес представляет и широкий интервал MPWARM — 38–206 мм. Он показывает, что имеющийся флористический комплекс не позволяет однозначно установить количество осадков именно наиболее теплого месяца. Иными словами, теплый сезон мог приходиться как на сравнительно сухие, так и на достаточно влажные условия. Для более детального восстановления сезонного распределения осадков потребовались бы дополнительные независимые показатели — например, морфологические характеристики листьев, седиментологические данные или другие палеоклиматические прокси.

Теплый характер полученной реконструкции в целом соответствует составу флоры Белеуты, в которой значительную роль играют покрытосеменные растения наряду с хвойными

и папоротниками. П. В. Шилин отмечал преобладание покрытосеменных и использовал систематический состав флоры и ее сходство с другими комплексами Казахстана для обоснования туронского возраста местонахождения (Шилин, 1977: 126–129).

В то же время экологические требования позднемиоценовых морфотаксонов нельзя автоматически приравнивать к требованиям современных родов. Например, присутствие ископаемой формы, отнесенной к *Ficus*, *Ziziphus* или *Bauhinia*, само по себе не доказывает существование климата, идентичного климату современных представителей этих родов. В рамках СА такие связи используются как рабочие NLR-гипотезы, а их качество напрямую зависит от надежности систематического определения ископаемых растений.

Это особенно важно для туронского возраста флоры Белеуты. Метод Coexistence Approach первоначально основан на предположении о достаточно близком соответствии климатических требований ископаемого растения его ближайшему современному родственнику. Метод наиболее уверенно применяется к геологически более молодым флорам, тогда как увеличение эволюционной дистанции между ископаемым и современным таксоном повышает неопределенность NLR-сопоставления. Utescher и соавторы подчеркивают, что таксономическая идентификация ископаемого материала, правильность выбора NLR и пригодность конкретного таксона для климатической реконструкции непосредственно влияют на итоговый СА-интервал (Utescher и др., 2014: 58–73).

Наиболее существенная методическая особенность полученной реконструкции связана с *Bauhinia* sp. В основном расчете именно этот NLR определяет нижнюю границу сразу трех температурных параметров: 18,6 °C для MAT, 8,1 °C для CMT и 25,0 °C для WMT.

Это имеет принципиальное значение, поскольку определение ископаемого материала как *Bauhinia* sp. в первоначальной работе Шилина носило предварительный характер. Следовательно, один таксономически менее надежный элемент оказывает непропорционально большое влияние на температурную реконструкцию.

Проведенный анализ чувствительности подтверждает эту зависимость. После исключения *Bauhinia* sp. нижняя граница MAT снижается с 18,6 до 13,8 °C, CMT — с 8,1 до 1,8 °C, а WMT — с 25,0 до 19,3 °C. Изменения составляют соответственно 4,8, 6,3 и 5,7 °C. При этом верхние границы температурных параметров сохраняются.

Это означает, что вывод о в целом теплом климате остается устойчивым, однако точная степень тепла, особенно минимально допустимые значения MAT, CMT и WMT, зависит от принятой таксономической интерпретации *Bauhinia*.

Поэтому значение MAT 18,6–25,0 °C не следует трактовать как единственно возможный температурный диапазон. Более корректно рассматривать два уровня интерпретации: основной расчет при сохранении всех выбранных NLR и альтернативный расчет, демонстрирующий чувствительность температурной реконструкции к исключению наиболее неопределенного элемента.

Такой подход соответствует рекомендациям по критическому применению Coexistence Approach, согласно которым необходимо не только приводить итоговый интервал, но и анализировать, какие именно NLR формируют его границы и насколько надежно их систематическое сопоставление (Utescher и др.,

В отличие от температурных параметров, исключение *Bauhinia* sp. не изменило ни один из четырех показателей атмосферных осадков. MAP сохранился в пределах 585–1613 мм, MPWET — 125–245 мм, MPDRY — 3–43 мм, MPWARM — 38–206 мм.

Исходя из этого, относительно рассматриваемой таксономической неопределенности реконструкция режима увлажнения является более устойчивой, чем температурная. Это не означает, что сами интервалы осадков являются высокоточными: особенно MAP и MPWARM остаются достаточно широкими. Однако их границы не зависят от включения или исключения *Bauhinia* sp.

Полученный результат также показывает преимущество анализа граничных NLR, а не только публикации итоговых значений СА. Для разных параметров климатические интервалы ограничиваются различными современными аналогами: температурные нижние границы в

основном зависят от *Bauhinia*, тогда как значения осадков формируются прежде всего *Ficus*, *Sequoioideae*, *Ziziphus*, *Diospyros* и *Platanus*. Это позволяет оценить, какие элементы исходного флористического списка являются наиболее критичными для итоговой реконструкции.

При интерпретации результатов необходимо учитывать несколько источников неопределенности. Во-первых, флора Белеуты представляет сравнительно небольшой комплекс, и только часть установленных ископаемых таксонов может быть использована для количественной реконструкции. Во-вторых, часть определений была выполнена на родовом или семейственном уровне. В-третьих, туронский возраст материала создает значительную временную дистанцию между ископаемыми растениями и их современными NLR.

Для СА именно надежность систематики и выбора ближайшего современного родственника относится к ключевым факторам качества реконструкции. Метод не является статистическим усреднением всех климатических значений; итоговый интервал может формироваться всего несколькими крайними NLR. Поэтому ошибка или неопределенность одного таксона способна значительно сместить границу реконструкции, что непосредственно продемонстрировано в настоящей работе на примере *Bauhinia* sp. (Utescher и др., 2014: 58–73).

По этой причине полученные климатические значения следует рассматривать как диапазоны климатических условий, совместимых с выбранной системой NLR, а не как точные измерения туронской температуры или количества осадков.

Палеоклиматическое значение флоры Белеуты

Несмотря на указанные ограничения, полученные результаты дают количественную характеристику климатических условий существования туронской растительности Центрального Казахстана. Основной расчет указывает на теплый температурный режим и широкий диапазон возможного атмосферного увлажнения. Анализ чувствительности показывает, что общий вывод о теплых условиях сохраняется, однако нижние температурные границы существенно зависят от *Bauhinia* sp.

В более широком контексте такой результат согласуется с представлениями о позднеэоцено-туронском интервале как одной из наиболее теплых фаз мелового периода. При этом данные Белеуты представляют именно континентальную палеоботаническую запись, что делает их особенно полезными для сопоставления с морскими палеоклиматическими реконструкциями и другими наземными флорами Евразии. Среднемеловой климат в целом характеризуется высокой теплотой, однако региональные наземные условия могли существенно различаться по степени увлажнения и сезонности.

Исходя из этого, наиболее обоснованным итогом реконструкции является не одно «среднее» значение палеоклимата Белеуты, а система допустимых климатических интервалов с различной степенью устойчивости. Параметры увлажнения относительно устойчивы к исключению *Bauhinia* sp., тогда как нижние температурные границы требуют осторожной интерпретации. Именно такое представление результатов позволяет избежать излишней точности и более корректно учитывать таксономические ограничения позднемелового материала.

Заключение. В работе выполнена количественная реконструкция климатических условий существования туронской флоры р. Белеуты методом Coexistence Approach на основе климатических диапазонов ближайших современных родственников ископаемых растений. Для анализа использованы девять NLR и семь климатических параметров, характеризующих температурный режим и атмосферное увлажнение.

Основной расчет показал, что среднегодовая температура (MAT) находилась в пределах 18,6–25,0 °C, средняя температура наиболее холодного месяца (CMT) — 8,1–19,8 °C, а наиболее теплого месяца (WMT) — 25,0–29,5 °C. Среднегодовое количество осадков (MAP) реконструировано в диапазоне 585–1613 мм, количество осадков наиболее влажного месяца (MPWET) — 125–245 мм, наиболее сухого месяца (MPDRY) — 3–43 мм, а наиболее теплого месяца (MPWARM) — 38–206 мм.

Полученные интервалы в целом характеризуют климат как теплый, при этом данные по атмосферным осадкам допускают выраженную сезонную неоднородность увлажнения. В то

же время результаты показывают, что отдельные климатические параметры имеют различную степень устойчивости к выбору NLR.

Наиболее существенная чувствительность выявлена для температурных показателей. *Bauhinia* sp. определяет нижние границы MAT, CMT и WMT, поэтому после исключения этого таксона значения снижаются соответственно до 13,8 °C, 1,8 °C и 19,3 °C. Верхние температурные границы при этом сохраняются без изменений. Таким образом, нижние пределы температурной реконструкции следует интерпретировать с учетом таксономической неопределенности данного NLR.

В отличие от температурных параметров, интервалы MAP, MPWET, MPDRY и MPWARM после исключения *Bauhinia* sp. не изменились. Это свидетельствует о большей устойчивости реконструкции режима увлажнения по отношению к данному таксономическому допущению, хотя широкие интервалы отдельных показателей, особенно MAP и MPWARM, по-прежнему отражают значительную неопределенность.

Следовательно, реконструкция климата флоры р. Белеуты показывает, что туронская растительность Центрального Казахстана формировалась в условиях теплого климата с переменным режимом увлажнения. При этом наиболее корректным представлением результатов является не одно усредненное значение, а система климатических интервалов с учетом их чувствительности к составу NLR.

Проведенное исследование демонстрирует возможность применения Coexistence Approach к позднемиловым флорам Казахстана при условии критической оценки систематической надежности ископаемых таксонов и выбора их современных аналогов. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего сопоставления флоры Белеуты с другими туронскими и позднемиловыми флористическими комплексами Казахстана и Евразии, а также для уточнения региональных особенностей континентального палеоклимата Центральной Азии.

DATA/SOURCES

Utescher, 2024 – Utescher T., Bruch A.A., Mosbrugger V. The Palaeoflora Database – Documentation and Data. Version 2024 [Data set]. – Zenodo, 2024. – DOI: 10.5281/zenodo.10881069. – Дата обращения: 07.10.2026.

Литература

- Ақмағамбет и др., 2024 – Ақмағамбет Ш.Б., Жаманғара А.Қ., Нигматова С.А., Адамжанова Ж.А. Қиын-Керіш флорасы негізінде ерте олигоцен климатының реконструкциясын жасауда Coexistence Approach әдісін қолдану // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы. – 2024. – 149(4). – Б. 134–147. – DOI: 10.32523/2616-6771-2024-149-4-134-147. [Kaz.]
- Шилин, 1977 – Шилин П.В. Позднемиловая флора р. Белеуты // Материалы по истории флоры и растительности Казахстана. – Алма-Ата, 1977. – С. 126–139. [Russ.]
- Шилин, 1986 – Шилин П.В. Позднемиловые флоры Казахстана: систематический состав, история развития, стратиграфическое значение / АН КазССР, Институт зоологии. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 135, [2] с., [31] л. ил. [Russ.]
- Akmagambet et al., 2025 – Akmagambet S., Zhamangara A., Myrzagaliev A., Muratov R., Adamzhanova Zh., Samarkhanov T., Zadagali A., Kakabayev A. Climate evolution from the Miocene to the present in central and southeastern Kazakhstan: Evidence from Aktau Mountain and Kushuk localities // Caspian Journal of Environmental Sciences. – 2025. – Vol. 23, No. 4. – P. 893–902. – DOI: 10.22124/CJES.2025.9206.
- Bottini, Erba, 2018 – Bottini C., Erba E. Mid-Cretaceous paleoenvironmental changes in the western Tethys // Climate of the Past. – 2018. – Vol. 14. – P. 1147–1163. – DOI: 10.5194/cp-14-1147-2018.
- DeConto et al., 1999 – DeConto R.M., Hay W.W., Thompson S.L., Bergengren J. Late Cretaceous climate and vegetation interactions: Cold continental interior paradox // Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System / Eds. E. Barrera, C.C. Johnson. – Boulder: Geological Society of America, 1999. – Special Paper 332. – P. 391–406. – DOI: 10.1130/0-8137-2332-9.391.
- Mosbrugger, Utescher, 1997 – Mosbrugger V., Utescher T. The coexistence approach – a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plant fossils // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 1997. – Vol. 134, No. 1–4. – P. 61–86. – DOI: 10.1016/S0031-0182(96)00154-X.
- Petrizzo et al., 2022 – Petrizzo M.R., Amaglio G., Watkins D.K., MacLeod K.G., Huber B.T., Hasegawa T., Wolfgring E. Biotic and paleoceanographic changes across the Late Cretaceous Oceanic Anoxic Event 2 in the southern high latitudes (IODP Sites U1513 and U1516, SE Indian Ocean) // Paleoclimatology and Paleoclimatology. – 2022. – Vol. 37, No. 9. – e2022PA004474. – DOI: 10.1029/2022PA004474.
- Schrank, Nesterova, 1993 – Schrank E., Nesterova E.V. Palynofloristic changes and Cretaceous climates in northern Gondwana (NE Africa) and southern Laurasia (Kazakhstan) // Geoscientific Research in Northeast Africa / Eds. U. Thorweihe, H. Schandelmeier. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. – P. 381–390. – DOI: 10.1201/9780203753392-72.
- Spicer, Herman, 2010 – Spicer R.A., Herman A.B. The Late Cretaceous environment of the Arctic: A quantitative reassessment based on plant fossils // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2010. – Vol. 295. – P. 423–442. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.02.025.
- Utescher et al., 2014 – Utescher T., Bruch A.A., Erdei B., François L., Ivanov D., Jacques F.M.B., Kern A.K., Liu Y.-S.(C.), Mosbrugger V., Spicer R.A. The Coexistence Approach – theoretical background and practical considerations of using plant

fossils for climate quantification // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2014. – Vol. 410. – P. 58–73. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.05.031.

Zhamangara et al., 2025a – Zhamangara A., Akmagambet Sh., Nigmatova S. Paleoclimate analysis of the Early Miocene in the Kushuk locality (Turgai Depression) based on the Coexistence Approach method // *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2025. – Vol. 150, No. 1. – P. 171–184. – DOI: 10.32523/2616-6771-2025-150-1-171-184.

Zhamangara et al., 2025b – Zhamangara A., Akmagambet S., Nigmatova S., Madyarova I., Kashaganov K., Zadagali A., Seidali A., Bayshashov B. The Early Miocene Paleoclimate of Erzhilansay: Interpretation of Climatic Parameters Using Modern Methods // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, No. 1. – Article 143. – DOI: 10.3390/su17010143.

References

Akmagambet et al., 2024 – Akmagambet Sh.B., Zhamangara A.K., Nigmatova S.A., Adamzhanova Zh.A. Qiyin-Kerish florasy negizinde erte oligotsen klimatynyn rekonstruktsiyasyn zhasauda Coexistence Approach adisin qoldanu [Application of the Coexistence Approach Method for Early Oligocene Climate Reconstruction Based on Paleofloristic Data from the Kiin-Kerish Outcrop] // *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2024. – 149(4). – P. 134–147. – DOI: 10.32523/2616-6771-2024-149-4-134-147. [in Kaz.]

Akmagambet et al., 2025 – Akmagambet S., Zhamangara A., Myrzagaliyeva A., Muratov R., Adamzhanova Zh., Samarkhanov T., Zadagali A., Kakabayev A. Climate evolution from the Miocene to the present in central and southeastern Kazakhstan: Evidence from Aktau Mountain and Kushuk localities // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. – 2025. – Vol. 23, No. 4. – P. 893–902. – DOI: 10.22124/CJES.2025.9206.

Bottini, Erba, 2018 – Bottini C., Erba E. Mid-Cretaceous paleoenvironmental changes in the western Tethys // *Climate of the Past*. – 2018. – Vol. 14. – P. 1147–1163. – DOI: 10.5194/cp-14-1147-2018.

DeConto et al., 1999 – DeConto R.M., Hay W.W., Thompson S.L., Bergengren J. Late Cretaceous climate and vegetation interactions: Cold continental interior paradox // *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System* / Eds. E. Barrera, C.C. Johnson. – Boulder: Geological Society of America, 1999. – Special Paper 332. – P. 391–406. – DOI: 10.1130/0-8137-2332-9.391.

Mosbrugger, Utescher, 1997 – Mosbrugger V., Utescher T. The coexistence approach – a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plant fossils // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 1997. – Vol. 134, No. 1–4. – P. 61–86. – DOI: 10.1016/S0031-0182(96)00154-X.

Petrizzo et al., 2022 – Petrizzo M.R., Amaglio G., Watkins D.K., MacLeod K.G., Huber B.T., Hasegawa T., Wolfgring E. Biotic and paleoceanographic changes across the Late Cretaceous Oceanic Anoxic Event 2 in the southern high latitudes (IODP Sites U1513 and U1516, SE Indian Ocean) // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. – 2022. – Vol. 37, No. 9. – e2022PA004474. – DOI: 10.1029/2022PA004474.

Schrank, Nesterova, 1993 – Schrank E., Nesterova E.V. Palynofloristic changes and Cretaceous climates in northern Gondwana (NE Africa) and southern Laurasia (Kazakhstan) // *Geoscientific Research in Northeast Africa* / Eds. U. Thorweihe, H. Schandelmeier. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. – P. 381–390. – DOI: 10.1201/9780203753392-72.

Shilin, 1977 – Shilin P.V. Pozdnemelovaya flora r. Beleuty [Late Cretaceous flora of the Beleuty River] // *Materialy po istorii flory i rastitel'nosti Kazakhstana* [Materials on the history of flora and vegetation of Kazakhstan]. – Alma-Ata, 1977. – P. 126–139. [in Russ.]

Shilin, 1986 – Shilin P.V. Pozdnemelovye flory Kazakhstana: sistematicheskii sostav, istoriya razvitiya, stratigraficheskoe znachenie [Late Cretaceous floras of Kazakhstan: systematic composition, history of development and stratigraphic significance]. – Alma-Ata: Nauka, 1986. – 135, [2] p., [31] leaves of illustrations. [in Russ.]

Spicer, Herman, 2010 – Spicer R.A., Herman A.B. The Late Cretaceous environment of the Arctic: A quantitative reassessment based on plant fossils // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2010. – Vol. 295. – P. 423–442. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.02.025.

Utescher et al., 2014 – Utescher T., Bruch A.A., Erdei B., François L., Ivanov D., Jacques F.M.B., Kern A.K., Liu Y.-S.(C.), Mosbrugger V., Spicer R.A. The Coexistence Approach – theoretical background and practical considerations of using plant fossils for climate quantification // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2014. – Vol. 410. – P. 58–73. – DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.05.031.

Zhamangara et al., 2025a – Zhamangara A., Akmagambet Sh., Nigmatova S. Paleoclimate analysis of the Early Miocene in the Kushuk locality (Turgai Depression) based on the Coexistence Approach method // *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. – 2025. – Vol. 150, No. 1. – P. 171–184. – DOI: 10.32523/2616-6771-2025-150-1-171-184.

Zhamangara et al., 2025b – Zhamangara A., Akmagambet S., Nigmatova S., Madyarova I., Kashaganov K., Zadagali A., Seidali A., Bayshashov B. The Early Miocene Paleoclimate of Erzhilansay: Interpretation of Climatic Parameters Using Modern Methods // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, No. 1. – Article 143. – DOI: 10.3390/su17010143.