*ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА*, DOI: 10.15372/GIG2026212
Поступила в редакцию: 03.03.2026
Принята в печать: 06.10.2026
Опубликована онлайн: 13.10.2026

УДК 551.763

# ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ВОЗРАСТ, ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА БЕЛАЯ ГОРА (ЦЕНТРАЛЬНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

**И.Н. Косенко[1], А.П. Родченко[1], Е.Б. Пещевицкая[1], Е.В. Бугдаева[2], П.А. Ян[1], В.Д. Ефременко[1], Е.К. Метелкин[1], О.С. Дзюба[1], Б.Н. Шурыгин[1], С. Тэн[3], Д. Чжэн[3], Б.Л. Никитенко[1], В.А. Тимофеева, А.А. Кунгурова[1], Е.П. Копыстка[1], П.Г. Бородин[1], П.Д. Котлер[4,5], А.В. Куликова[4,5]**

*[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

*[2]Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159, Россия*

*[3]Нанкинский институт геологии и палеонтологии Китайской академии наук, 210008, Нанкин, East Beijing Road, 39, Китай*

*[4]Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, Россия*

*[5]Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

***Аннотация:*** На основании изучения фауны, флоры и микрофоссилий возраст доронинской свиты в разрезе Белая Гора определен как конец баррема – начало апта. В пользу этого возраста свидетельствует и полученная кривая вариаций $\delta^{13}C_{орг}$, которая сопоставляется с большей частью сегмента С2 и, как минимум, с началом сегмента С3 изотопной кривой для баррема-апта. Результаты петрографического и геохимического анализов, а также изучения микрофоссилий показали, что отложения накапливались в неглубоком проточном озере со спокойной гидродинамикой. По составу флористических и спорово-пыльцевых комплексов восстановлены климатические условия (сезонный умеренно теплый климат) и тип растительности (хвойные леса с примесью лиственных пород).

***Ключевые слова:*** *баррем, апт, биота Джехол, Забайкалье, ископаемая флора, споры и пыльца, микрофоссилии, геохимия органического вещества, хемостратиграфия, U-Pb возраст зерен циркона*

# PALEONTOLOGICAL CHARACTERISTICS, AGE, GEOCHEMISTRY OF ORGANIC MATTER AND PALEOENVIRONMENTS OF THE LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE BELAYA GORA SECTION (CENTRAL TRANSBAIKALIA)

**I.N. Kosenko[1], A.P. Rodchenko[1], E.B. Pestchevitskaya[1], E.V. Bugdaeva[2], P.A. Yan[1], V.D. Efremenko[1], E.K. Metelkin[1], O.S. Dzyuba[1], B.N. Shurygin[1], X. Teng[3], D. Zheng[3], B.L. Nikitenko[1], V.A. Timofeeva, A.A. Kungurova[1], E.P. Kopystka[1], P.G. Borodin[1], P.D. Kotler[4,5], A.V. Kulikova[4,5]**

*[1]Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, pr. Akademika Koptyga, 3, Russia*

*[2]Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 690022, Vladivostok, Prosp. 100-letiya, 159, Russia*

*[3]Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Sciences, 210008, Nanjing, East Beijing Road, 39, China*

*[4]Kazan Federal University, 420008, Kazan, Kremlyovskaya str., 18, Russia*

*[5]Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, pr. Akademika Koptyga, 3, Russia*

**© И.Н. Косенко, А.П. Родченко, Е.Б. Пещевицкая, Е.В. Бугдаева, П.А. Ян, В.Д. Ефременко, Е.К. Метелкин, О.С. Дзюба, Б.Н. Шурыгин, С. Тэн, Д. Чжэн, Б.Л. Никитенко, В.А. Тимофеева, А.А. Кунгурова, Е.П. Копыстка, П.Г. Бородин, П.Д. Котлер, А.В. Куликова, 2026**
**@ E-mail: ki-2009@mail.ru**

***Abstract.*** The age of the Doronino Formation in the Belaya Gora section is defined as latest Barremian – earliest Aptian based on faunistic, floristic and microfossil assemblages. This age is also supported by the obtained $\delta^{13}C_{org}$ curve, which correlates with most of the C2 segment and at least the beginning of the C3 segment of the Barremian-Aptian isotope curve. Results of the petrographic and geochemical analysis as well as microfossil studies showed that sediments accumulated in a shallow flowing lake with low-energy hydrodynamics. Climate features (seasonal temperate warm climate) and type of vegetation (coniferous forests with admixture of hardwoods) are reconstructed taking into consideration the composition of palynological and floristic assemblages.

***Keywords****: Barremian, Aptian, Jehol Biota, Transbaikalia, fossil flora, spores and pollen, microfossils, geochemistry of organic matter, chemostratigraphy, U-Pb zircon dating*

## ВВЕДЕНИЕ

Разрез Белая Гора (другое название – Семен) является одним из наиболее важных местонахождений пресноводной и наземной биоты Забайкалья, благодаря ее высокому таксономическому разнообразию и хорошей сохранности [Синица и др., 2014]. Из этого местонахождения известны многочисленные находки ракообразных (конхостраки и остракоды), насекомых, рыб, а также растений. На основании присутствия конхострак ***Eosestheria***, личинок поденок ***Ephemeropsis*** и костистых рыб ***Lycoptera*** (комплекс ***Eosestheria–Ephemeropsis–Lycoptera*** или ***EEL***) комплекс ископаемых организмов из Белой Горы соотносится с биотой Джехол, объединяющей наземных и пресноводных организмов, широко известной благодаря многочисленным находкам ископаемых уникальной сохранности, включая птерозавров, оперенных динозавров, птиц, млекопитающих и древнейших покрытосеменных растений, из нижнемеловых формаций Исянь и Цзюфотан, распространенных на западе провинции Ляонин (северо-восточный Китай) [The Jehol Fossils, 2008; Pan et al., 2013; и др.]. Эти открытия дали начало интенсивному изучению стратиграфии и геохронологии формаций Исянь и Цзюфотан в Западном Ляонине и их стратиграфических аналогов в смежных районах. Пристальное внимание уделялось как биостратиграфическим исследованиям, затрагивавшим самые разные группы биоты – от ракообразных и насекомых до растений и спорово-пыльцевых комплексов, так и геохронологическим датировкам вулканических и вулканогенно-осадочных пород, а также изотопно-геохимическим и циклостратиграфическим исследованиям, что позволило значительно уточнить представления о возрасте и условиях осадконакопления нижнемеловых толщ на северо-востоке Китая, а также надежно датировать последовательно сменяющие друг друга комплексы континентальной биоты. Изученность верхнемезозойских толщ Забайкалья в настоящее время уступает в отдельных аспектах таковой для северо-восточного Китая. В то же время общность комплексов биоты и, в некоторой степени, многочисленных седиментационных бассейнов в обоих этих регионах позволяет уточнить существующие представления о возрасте и условиях осадконакопления верхнемезозойских толщ Забайкалья путем корреляции и сравнения с одновозрастными стратонами Китая. В настоящей статье представлены новые данные по макро- и микрофаунистическим, флористическим и спорово-пыльцевым комплексам, а также новые сведения по седиментологии, органической геохимии, изотопному составу углерода и датировкам зерен циркона, позволяющие уточнить возраст и палеообстановки разреза Белая Гора.

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

Разрез Белая Гора расположен в Читинском районе Забайкальского края в 5.5 км северо-западнее с. Елизаветино на левом берегу р. Оленгуй, в левом борту пади Семен, в 500 м выше слияния падей Семен и Нарымка (51˚41′45″ с.ш., 113˚32′49 ″ в.д.), приурочен к Елизаветинской впадине Центрального Забайкалья (рис. 1). Елизаветинская впадина, вытянутая в северо-северо-восточном

направлении на расстояние до 10 км при ширине в 2-5 км, является наложенной на Оленгуй-Ингодинскую вулкано-тектоническую структуру, выполненную юрскими вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями [Синица и др., 2014]. Верхнемезозойские отложения Елизаветинской впадины вскрывались скважинами и представлены нижней конгломератовой (мощностью около 250 м) и верхней алевролитовой (мощностью свыше 250 м) толщами [Синица и др., 2014]. Конгломератовая толща развита в прибортовых частях впадины и представлена валунно-галечными и крупно-мелкогалечными конгломератами [Синица и др., 2014]. Верхняя алевролитовая толща вскрыта скважинами в центральных частях впадины, залегает согласно на конгломератовой, иногда с фациальным замещением в прибортовых частях. В ее составе преобладают темно-серые алевролиты с маломощными желтоватыми мелкозернистыми песчаниками и редкими прослоями горизонтально-слойчатых аргиллитов с текстурой типа «бумажных сланцев». Обнажение Белая Гора протяженностью около 100 м является естественным выходом пород верхней толщи, наиболее вероятно, – интервала близ ее верхов. Разрез общей мощностью около 41.5 м сложен аргиллитами с единичными линзами мелкозернистого песчаника (рис. 2).

Стоит отметить, что в настоящее время нет единого мнения относительно свитной принадлежности верхнемезозойских отложений Елизаветинской впадины. На государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:1000000 [Пехтерев и др., 2012] эти отложения отнесены к доронинской свите, стратотип которой установлен по керну структурной скважины в районе озера Доронинское, расположенного в пределах Читино-Ингодинской впадины (рис. 1). Рядом других исследователей те же отложения рассматриваются в качестве тургинской свиты [Куриленко и др., 2015] или выделяются в семеновскую толщу тургинской свиты [Синица и др., 2014]. Стратотип собственно тургинской свиты («обнажение Миддендорфа») расположен более отдаленно: он находится на р. Турга в пределах Тургино-Харанорской впадины (рис. 1) и недавно переизучался [Косенко и др., 2023]. В настоящей работе мы придерживаемся отнесения верхнемезозойской осадочной толщи Елизаветинской впадины к доронинской свите, поскольку эта впадина в соответствии со структурно-фациальным районированием Забайкалья [Решения…., 1994] относится к структурно-фациальному району Центрального Забайкалья, нижнемеловые отложения которого рассматриваются в составе доронинской и тигнинской свит.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили образцы, отобранные на петрографический (30 обр.), микрофаунистический (30 обр.), палинологический (30 обр.) и геохимический (30 обр.) анализы (рис. 3). Кроме того, один образец (SM-1) из линз песчаников в верхней части разреза был отобран для определения возраста зерен циркона методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (LA-ICP-MS). Палеоботанические образцы собирались с 1980 по 2001 гг. Е.В. Бугдаевой. Цитируемые образцы хранятся в Биоресурсной коллекции ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (рег. номер 2797657).

Лабораторная обработка палинологических и микропалеонтологических образцов и методика их изучения подробно описывались ранее [Никитенко, 2009; Пещевицкая, 2010; Pestchevitskaya et al., 2012]. Фотографирование насекомых и конхострак выполнено на микроскопе Stemi 508, микрофитофоссилий — с помощью микроскопа Micromed 3 U3. Образцы растений фотографировались фотоаппаратом Nikon с макрообъективом, на стереомикроскопе Zeiss SteREO Discovery V12, препараты кутикулы - на световом микроскопе Zeiss Axioscop 40 с камерой Axiocam HRc и электронном сканирующем микроскопе Zeiss EVO-40 на базе ЦКП "Биотехнология и генетическая инженерия" ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

Петрографическое исследование пород в шлифах проводилось с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX-60. При описании применялись классификации из работы [Шванов и др., 1998].

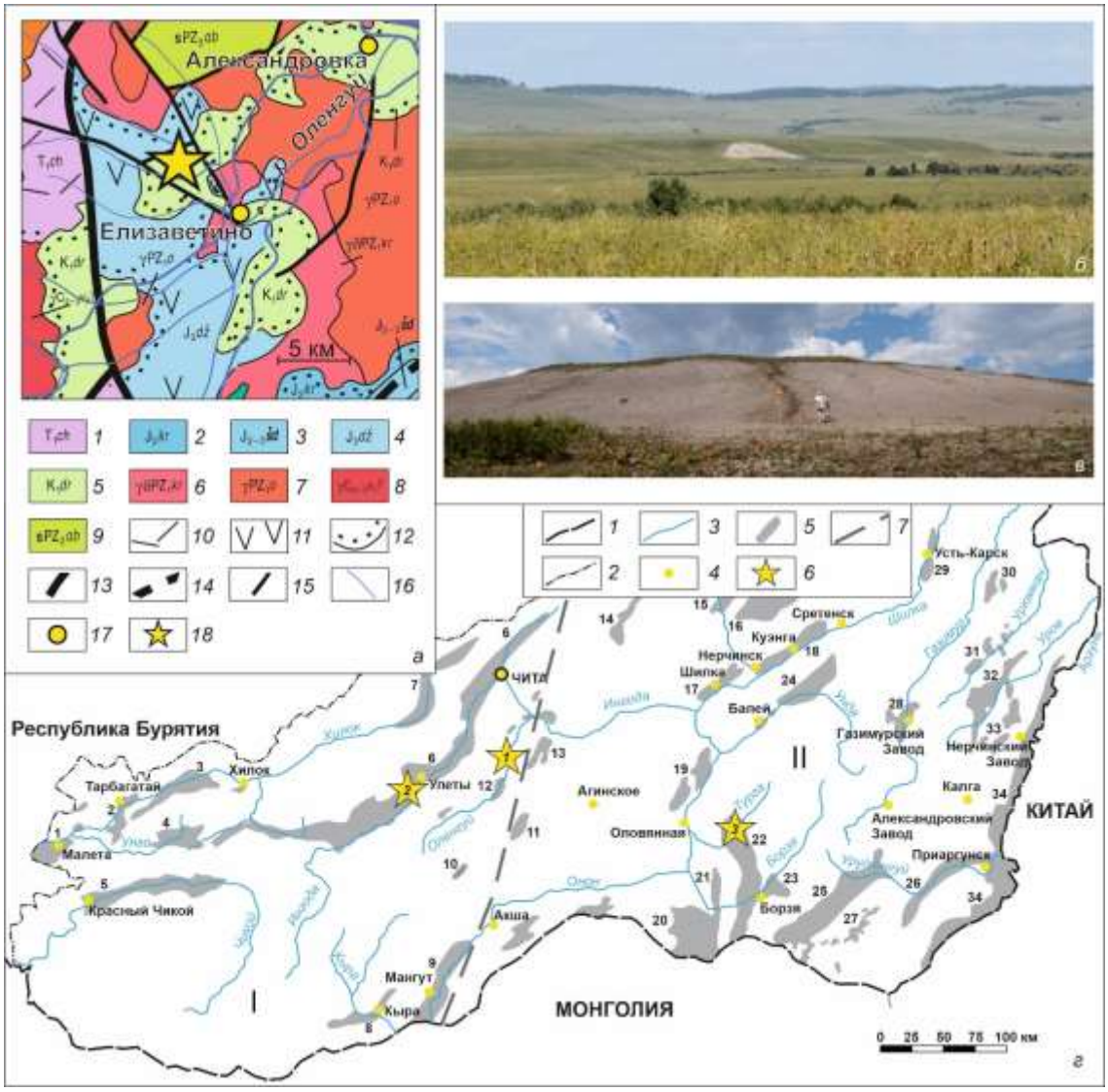



**Рис. 1.** *а* - местоположение разреза Белая Гора на фрагменте листа M-49 (Петровск-Забайкальский) государственной геологической карты РФ масштаба 1:1000000 [Пехтерев и др., 2012]. Фрагмент карты приведен с изменениями и упрощениями. 1 – цаган-хунтейская свита; 2 – карабачинская свита; 3 – шадоронская серия; 4 – джаргалантуйская свита; 5 – доронинская свита; 6 – крестовский гранодиоритовый комплекс; 7 – олекминский гранитовый комплекс; 8 – витимканский (?) сиенит-гранитовый комплекс, третья фаза; 9 – агинско-борщовочный динамометаморфический комплекс; 10 – риолиты; 11 – андезиты; 12 – несогласные границы залегания стратиграфических подразделений; 13-14 – долгоживущие разломы (структурные швы): 13 – достоверные, 14 – предполагаемые, вскрытые под более молодыми образованиями; 15 – достоверные второстепенные разломы; 16 – реки; 17 – населенные пункты; 18 – местоположение разреза Белая Гора; б – панорамный вид на Елизаветинскую впадину и разрез Белая Гора; в – общий вид разреза Белая Гора; *г* - местонахождение разреза Белая Гора и стратотипа доронинской свиты на карте распространения верхнемезозойских впадин Центрального и Восточного Забайкалья (в пределах Забайкальского края) [по Писцов, 1968, с дополнениями]. Арабскими цифрами обозначены впадины: 1 – Малетинская, 2 – Тарбагатайская, 3 – Бадинская, 4 – Унгинская, 5 – Чикойская, 6 – Читино-Ингодинская, 7 – Беклемишевская, 8 – Алтано-Кыринская, 9 – Ононская, 10 – Урейская, 11 – Бальзинская, 12 – Аленгуйская, 13 – Тыргетуйско-Жимбиринская, 14 – Ульдургинская, 15 – Олинская, 16 – Оловская, 17 – Арбагаро-Холбонская, 18 – Куэнгинская, 19 – Ундино-Ононская, 20 – Торейская, 21 – Ике и Богача-Нор, 22 – Тургино-Харанорская, 23 –

Борзинская, 24 – Ундино-Даинская, 25 – Западно-Урулюнгуйская, 26 – Восточно-Урулюнгуйская, 27 – Алкучанская, 28 – Газимурская, 29 – Усть-Карская, 30 – Будюмканская, 31 – Угрюмканская, 32 – Уровская, 33 – Серебрянская, 34 – Аргунская. Римскими цифрами обозначены структурно-фациальные районы: I – Центральное Забайкалье, II – Восточное Забайкалье. Условные обозначения: 1 – государственная граница РФ, 2 – граница Забайкальского края и Бурятии, 3 – реки, 4 – населенные пункты, 5 – мезозойские впадины, 6 – местоположение разреза Белая Гора (1), стратотипа доронинской свиты (2) и стратотипа тургинской свиты (3), 7 – граница структурно-фациальных районов [по Решения…, 1994].

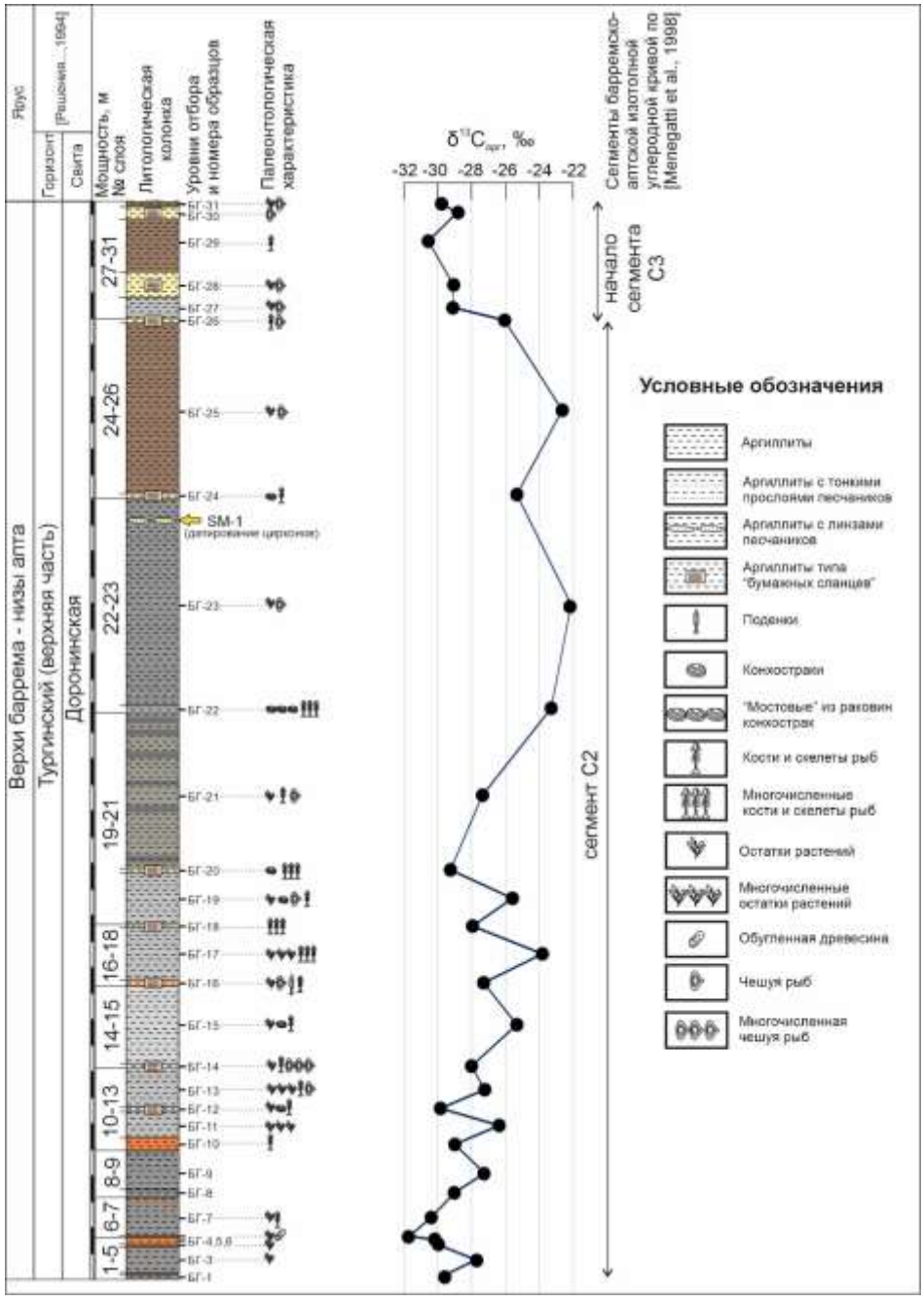



**Рис. 2.** Литологическая колонка разреза Белая Гора и полученная для него кривая вариаций $\delta^{13}C_{орг}$. Цветом на литологической колонке показан цвет пород на свежем сколе.

Комплекс геохимических исследований органического вещества (ОВ) проводился в лаборатории геохимии нефти и газа ИНГГ СО РАН и включал в себя определение концентраций органического углерода и общего содержания серы в породе ($C_{орг}$ и S, % на породу) на приборе Метавак CS-20, проведение пиролиза в варианте «Rock-Eval» на анализаторе Source Rock Analyzer

(SRA, Weatherford Laboratories) в режиме TPH-TOC, замеры отражательной способности на микроскопе-спектрофотометре МСФП-2 при длине волны 546 нм в иммерсионной (R°) среде ($R°_{vt}$, %), холодную экстракцию хлороформенных битумоидов с использованием центрифуги, фракционирование битумоидов с весовым определением содержаний фракций насыщенных и ароматических углеводородов, бензольных и спирто-бензольных смол, асфальтенов (% на битумоид) и анализ индивидуального углеводородного состава насыщенной и ароматической фракций методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ) на газовом хроматографе Agilent 7820A (кварцевая капиллярная колонка HP-5) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС) на газовом хроматографе с МС-детектором Agilent 6890N MSD Agilent 5973A (кварцевая капиллярная колонка HP-5) в режиме инжектора splitless с записью по общему ионному току (TIC) и по индивидуальным осколочным ионам (SIM).

Определения изотопного состава органического углерода ($\delta^{13}C_{орг}$, $\delta=[(R_{обр}-R_{V\text{-}PDB})/R_{V\text{-}PDB}] \times 1000$, где $R=^{13}C/^{12}C$, ‰) проводились в Аналитическом центре МИИ ИГМ СО РАН (аналитик – к.х.н. А.Н. Пыряев) с помощью масс-спектрометра изотопных отношений IRMS FinniganTM MAT 253, снабженного приставкой пробоподготовки Flash EA 1112. Погрешность полученных значений величин $\delta^{13}C_{орг}$ не превышала 0.1‰.

Для проведения U-Pb-датирования цирконов использовалась система лазерной абляции на основе эксимерного лазера (длина волны 193 нм) Analyte Excite (Teledyne Cetac Technologies), соединенная с квадрупольным масс-спектрометром с ионизацией в индуктивно-связанной плазме ThermoScientific iCAP Q центра Геотермохронологии Казанского федерального университета (КФУ) [Kosenko et al., 2024].

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Вскрытый разрез представлен преимущественно аргиллитами плитчатыми, массивными, реже тонкослоистыми, серыми, темно-серыми, часто с коричневатыми оттенками (рис. 3). Микроскопически аргиллиты характеризуются от мелко-средне- до крупно-среднепелитовой структурой, преимущественно с прямым погасанием, ориентированным параллельно напластованию, реже погасание волнистое или агрегатное (похожее на тигровый окрас).

Терригенная примесь в аргиллитах распространена неравномерно, может быть рассеянной, концентрироваться по слоистости или в виде линз (рис. 3а, б). В основном усредненное ее содержание в образцах составляет 5-8%, реже увеличиваясь до 12-15%. В составе терригенной примеси как правило преобладает мелко-, реже – крупноалевритовый материал, в большинстве образцов присутствует также небольшое количество мелкопесчаной фракции. Терригенный материал неокатанный и угловатый, встречаются обломки удлиненной и игольчатой формы. Его состав преимущественно полимиктовый, обычно преобладает кварц, реже – полевые шпаты или кремнистые литокласты. Также в незначительном количестве присутствуют рассеянные обломки более крупного размера (рис. 3в), до 1 см, изометричные угловатые и слабоокатанные, представленные кварцем, плагиоклазами, реже – калиевым полевым шпатом, литокластами кремнистых и эффузивных пород. Последние явно представляют собой отдельную генерацию обломков и обеспечивают выраженное бимодальное распределение гранулометрии терригенной примеси.

Для нижней части разреза (слои 2-6) характерны крайне низкая примесь терригенного материала, до 1-2%, и наиболее тонкий его гранулометрический состав. Также в нижней части присутствуют красновато-коричневые, рыжеватые слои толщиной 5-10, реже 50 см (слои 4, 6 и 10), характеризующиеся высоким содержанием (до 35-50%) гидроокислов железа (рис. 3г-е), которые

могут быть рассеянными равномерно по породе или концентрироваться по слоистости.

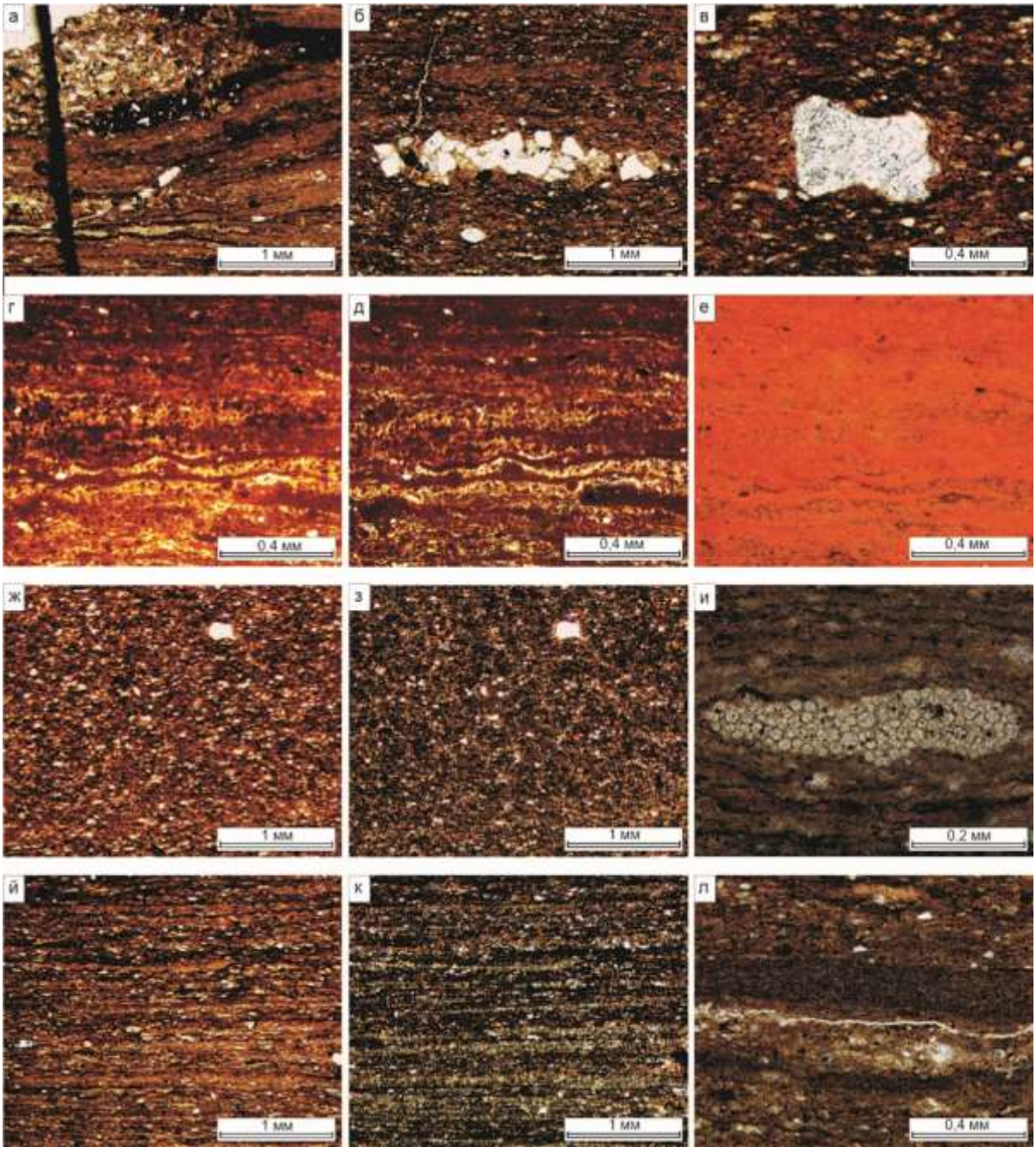



**Рис. 3.** Микрофотографии шлифов пород из местонахождения Белая Гора. а – аргиллит с тонкой волнистой слоистостью и линзами алеврито-глинистого материала (обр. БГ-20); б – терригенная линза, вероятно – сплющенная агглютинированная раковина раковинной амебы (?), в аргиллите (обр. БГ-14); в – обломок полевого шпата(?) крупнопесчаной размерности в аргиллите (обр. БГ-20); г-е – высокожелезистый аргиллит (обр. БГ-10): г – в проходящем свете, д – при скрещенных николях, е – в отраженном свете; ж-з – неясная неравномерная горизонтальная слоистость в аргиллите (обр. БГ-7): ж – в проходящем свете, з – при скрещенных николях; и – био-хемогенные образования (обр. БГ-16); й-к – тонкая ритмичная ленточная слоистость в аргиллите (обр. БГ-14): й – в проходящем свете, к – при скрещенных николях; л – прослой с высокой концентрацией лейкоксеноподобного минерала (обр. БГ-30).

В средней и верхней частях разреза появляются обычно маломощные (10-25 см, единично – до 50 см) прослои листоватых тонкослоистых аргиллитов, названных С.М. Синица и др. [2014] “бумажными сланцами” (слои 12, 14, 16, 18, 20, 24, 26, 30).

Текстурные характеристики в разрезе проявлены очень нечетко. В целом можно выделить два основных вида текстур:

-Неясная неравномерная горизонтальная слоистость (рис. 3ж-з), образованная ориентированными по напластованию глинистыми частицами и подчеркнутая упорядоченными скоплениями растительного детрита, ориентированными раковинами конхострак, костями рыб, линзами фосфатного костного детрита (бутылочно-оранжевого цвета, изотропный), концентрациями био-хемогенных образований (рис. 3и).

- Реже – ритмичная тонкая, часто деформированная, ленточная слоистость (рис. 3й-к), наиболее хорошо выраженная в “бумажных сланцах”: пологоволнистая, линзовидная, толщина слойков от 0.02 до 0.8 мм, переслаивание более тонких, темных слойков, насыщенных терригенным и органическим веществом с более мощными, светлыми - зачастую лишенные терригенной примеси. Светлые слойки в некоторых случаях имеют линзовидное строение и/или пелитовую вкрапленность лейкоксеноподобного минерала (рис. 3л), в отраженном свете желтовато-белого.

Биогенные компоненты достаточно разнообразны и в разрезе распространены весьма неравномерно. В нижней части разреза (слои 1-6) в небольшом количестве присутствуют отпечатки хвощей, обугленные растительные остатки, кости и чешуя рыб. В средней и верхней части разнообразие остатков повышается, появляются целые скелеты рыб, многочисленные конхостраки (в некоторых случаях их скопления образуют «мостовые»), насекомые, домики ручейников. На протяжении всего разреза встречаются био-хемогенные образования (рис. 3и) (округлые образования белого, красноватого и желто-зеленого цвета, выдержанного(?) размера 0.025 (±0.01) мм, часто образующие скопления (колонии) линзообразной формы до 0.55×0.12 мм).

**КОМПЛЕКСЫ МАКРО- И МИКРОФАУНЫ И ИХ СРАВНЕНИЕ С БИОТОЙ ДЖЕХОЛ**

В настоящее время выделяется три эволюционные фазы биоты Джехол: ранняя, средняя и поздняя (сокращенно называются JBS I, JBS II и JBS III соответственно) [Zhou et al., 2021]. Ранняя фаза (JBS I) охарактеризована комплексом ископаемых, происходящих из формации Дабейгоу и ее стратиграфического аналога – формации Хуацзиин, распространенных на севере провинции Хэбэй на северо-востоке Китая, датируемых в пределах валанжина–готерива [Qin et al., 2021]. Ключевыми таксонами ранней фазы являются поденки *Ephemeropsis trisetalis* Eichwald, конхостраки *Nestoria* и *Keratestheria*, остракоды *Luanpingella, Ocrocypris, Daurina*, рыбы *Peipiaosteus* [Qin et al., 2021]. Комплекс ископаемых средней фазы (JBS II) происходит из формации Исянь (баррем), а комплекс ископаемых поздней фазы (JBS III) – из формации Цзюфотан (баррем–апт) [Zhou et al., 2021]. Ключевыми таксонами для JBS II и JBS III является комплекс *Eosestheria* – *Ephemeropsis* – *Lycoptera*, а также характерные комплексы остракод с доминированием представителей рода *Cypridea* [The Jehol Fossils…, 2008; Zhou et al., 2021]. Отличие в таксономическом составе между JBS II и JBS III касаются в первую очередь позвоночных, так, например, в формации Цзюфотан резко увеличивается разнообразие птиц [Zhou et al., 2021]. Кроме того, для JBS III характерно появление конхострак рода *Yanjiestheria* [The Jehol Fossils…, 2008].

**Макрофауна.** Наиболее часто встречающимися фаунистическими остатками в разрезе Белая Гора являются конхостраки и рыбы, реже встречаются насекомые (рис. 4, 5). Особенно важным является присутствие комплекса *Eosestheria* – *Ephemeropsis* – *Lycoptera* (комплекс *EEL*), являющегося «ядром» биоты Джехол [The Jehol Fossils…, 2008; и др.].

Находки ископаемых озерных рыб происходят из слоев различных уровней разреза. Наиболее многочисленны их остатки в средней части разреза; целые скелеты встречены в слоях 18, 20, 22, 24, 29 (рис. 2). Среди ихтиокомплекса[1] доминируют костистые рыбы, наиболее часто встречающимися из которых является *Irenichthys certus* Yakovlev (рис. 5, фиг. 1–3). *Lycoptera* здесь редки и

[1] В данном случае под ихтиокомплексом понимается совокупность всей ихтиофауны из разреза, так как выявить какие-либо изменения в таксономическом составе внутри него невозможно.

представлены видом *L. middendorfii* Müller (рис. 5, фиг. 5, 6). Среди осетрообразных по отдельным элементам черепного скелета определены представители рода *Stichopterus* семейства Peipiaosteoidea (рис. 5, фиг 7, 8). Ранее отсюда также указывались находки более примитивных “палеонискоидных” рыб *Turgoniscus* [Яковлев, Сычевская, 1985] и полиодонтид, близких к *Protopsephurus liui* Lu [Sychevskaya, 2001].




**Рис. 4.** Конхостраки и насекомые из разреза Белая Гора. 1, 2, 3 – общий вид (1) и особенности скульптуры (2, 3) конхостраков *Eosestheria* sp.; 4, 5, 6 – различные формы сохранности поденок *Ephemeropsis trisetalis* Eichwald.

Комплекс ихтиофауны из Белой Горы демонстрирует большое сходство с комплексом *Lycoptera—Peipiaosteus* (по [Chang, Miao, 2004]), являющимся типичным для биоты Джехол. Рыбы *Lycoptera* характерны для средней и поздней эволюционных фаз биоты Джехол, суммарно датируемых барремом–аптом, в то время как представители семейства Peipiaosteidae (к которому относится род *Stichopterus*) начинают встречаться на северо-востоке Китая несколько раньше (род *Peipiaosteus*) и являются одним из ключевых таксонов ранней эволюционной фазы биоты Джехол [Zhou et al., 2021]. Другими общими или близкими таксонами являются архаичные формы лучеперых рыб, такие как *Turgoniscus* в Забайкалье и *Sunolepis* в Китае [Liu, 1957]. Отличие белогорского ихтиокомплекса от тургинского из «обнажения Миддендорфа» [Яковлев, 1968; Косенко и др., 2023] заключается в преобладании не *Lycoptera,* а *Irenichthys*, которые считались В.Н. Яковлевым [1968]

эволюционно более продвинутыми и поэтому более молодыми. Отмечалось сходство *Irenichthys* с такими родами как *Sinolycoptera* (изначально *Anaethalion* (по [Su, 1963]) и *Manchurichthys*. Данные формы в настоящее время относят к когорте Euteleostei [Chang, Liu, 1977], первые представители которой в Азии известны из верхов нижнего мела северо-востока Китая [Chang, Miao, 2004]. Утверждать об эволюционной продвинутости *Irenichthys* в настоящий момент преждевременно – требуется проведение филогенетического анализа на современном уровне, поэтому для уточнения возраста белогорского ихтиокомплекса необходимо сравнение с более изученными комплексами формаций Исянь и Цзюфотан. *Lycoptera* доминируют на протяжении времени накопления формации Исянь и только в начале формирования формации Цзюфотан замещаются другими костистыми *Jinanichthys* и *Longdeichthys* [Zhou et al., 2003]. Эти рода, так же, как и *Irenichthys,* характеризуются удлиненным телом и положением спинного плавника, отличающимся от *Lycoptera*. Таким образом, белогорский ихтиокомплекс по своей структуре указывает на возраст, примерно соответствующий времени накопления верхов формации Исянь и низов формации Цзюфотан (поздний баррем – ранний апт). Возраст моложе, чем баррем-аптский, в данном случае не рассматривается, так как первыми включающими костистых, являются комплексы с доминированием *Lycoptera* [Chang, Miao, 2004] и только позднее происходит изменение таксономического состава с их исчезновением.

Находки *Irenichthys* sp. отмечались и в более древней муртойской свите (местонахождение Могойто, оз. Гусиное) [Несов, Старков, 1992; Несов, 1997], которая в настоящее время датируется валанжином [Averianov et al., 2025]. Однако, исходя из описания, остатки рыб представлены относительно крупными изолированными костями [Несов, Старков, 1992], принадлежность которых в тексте не обосновывается. Учитывая невысокую степень сохранности костного материала этого местонахождения и широкий стратиграфический диапазон между находками из муртойской и доронинской свитами, представляется, что утверждать о находках *Irenichthys* в муртойской свите пока преждевременно.

Исходя из большого количества представителей костистых рыб *Irenichthys* при редкости *Lycoptera*, а также присутствия в разрезе Белая Гора других ключевых представителей биоты Джехол (поденки *Ephemeropsis* и конхостраки *Eosestheria*), можно заключить, что наиболее вероятным возрастом ихтиокомплекса является позднебарремский-аптский. Более древние барремские комплексы характеризуются обедненным составом ихтиофауны, а более молодые комплексы уже не содержат представителей *Lycoptera* [Zhou et al., 2003; Chang, Miao, 2004]. Таким образом, комплекс макрофоссилий разреза Белая Гора может быть сопоставлен с поздней фазой эволюции биоты Джехол, а сам разрез по макрофауне датируется концом баррема–аптом.

**Микрофауна.** Наиболее многочисленным компонентом в комплексах микрофоссилий являются раковинные амебы (*Cucurhitella* sp., *Lagenodifflugia* sp., *Difflugia* sp.), содержащиеся практически во всех образцах в значительном количестве. Среди микрофауны пресных водоемов они представляли бентосное, планктонное сообщество и ассоциации фитали (перифитон). Наиболее высокое таксономическое разнообразие и количественная представительность раковинных амеб в современных озерах отмечается на глубинах до 15 м. На глубинах свыше 15 м видовое разнообразие и количество раковинных амеб резко уменьшается [Мазей, Цыганов, 2006].

Остракоды в изученных образцах встречаются достаточно редко или единично, чаще в виде целых раковин, но характеризуют практически все слои разреза: *Cypridea* ex gr. *zagustaica* Skob., *C.* ex gr. *vitimensis* Mand., *Lycopterocypris infantilis* Lub., *Limnocypridea* ex gr. *grammi* Lub., *Djungarica* cf. *camarata* Zhang. Таксономический состав комплекса наиболее близок ассоциации *Cypridea* – *Lymnocypridea* – *Lycopterocypris* северного Китая [Qin et al., 2021], которая рассматривается соответствующей верхней части баррема – низам апта. С этим хорошо согласуются результаты исследований близких комплексов остракод Тургинского лагерштетта, увязываемых с барремом-аптом и аптом [Косенко и др., 2023]. Основным отличием комплексов остракод разреза Белая Гора и «обнажения Миддендорфа» (Тургинского лагерштетта) является, то, что в последнем местонахождении раковины остракод и их створки представлены обильными скоплениями. Хорошая сохранность раковин остракод в разрезе Белая Гора, отсутствие следов сортировки и транспортировки свидетельствуют об автохтонных захоронениях микрофоссилий. Это не согласуется

с ранее сделанными выводами о преимущественно аллохтонном характере захоронений фоссилий; не обнаружены здесь также и захоронения остракод в виде ракушечных мостовых [Синица и др., 2014].

**ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ИХ СРАВНЕНИЕ С КОМПЛЕКСАМИ ВОСТОКА АЗИИ**

В местонахождении Белая Гора найдены многочисленные растительные остатки различной сохранности (табл. 1), малая часть которых представлена на рис. 6. Тафоценозы ненасыщенные, в них отсутствует ориентировка фитокластов; преобладают остатки растений, представленные обрывками листьев, в то же время шишки и листья с толстой кутикулой обладают лучшей сохранностью, претерпевая транспортировку в низины без особых потерь. По всей видимости, захоронения происходили в спокойных озерных условиях, без сильных волнений и ветровых перемешиваний. Количественно в тафоценозах преобладают хвойные (обрывки листьев *Pityophyllum* ex gr. *nordenskioldii* (Heer) Nathorst, *P.* ex gr. *solmsii* (Seward) Prynada, шишек *Schizolepidopsis kryshtofovichii* (Prynada) Doweld, летучек *Pityospermum stenopteron* Prynada, *P. turgense* Prynada, *P. witimii* (Reis) Prynada, *Pseudolarix* sp.) и семянкоподобные купулы *Baisia hirsuta* Krassilov (рис. 6, фиг. 17). Не исключено, что подобный состав захоронений был обусловлен доминированием хвойных в прибрежной растительности и существованием *Baisia hirsuta* в водных и околоводных условиях близ берега.



**Рис. 5.** Наиболее часто встречающиеся представители ихтиофауны местонахождения Белая Гора. 1-3 – *Irenichthys certus* Yakovlev: 1,2 – целые скелеты рыб из слоя 18, 3 – увеличенный фрагмент, демонстрирующий чешую в анатомическом сочленении; 4 – фрагменты черепа *Turgoniscus* sp.; 5,6 – *Lycoptera middendorfii* Müller; 7,8 – *Stichopterus* sp.: 7 – клейтрум (cleithrum), 8 – бранхиостегальный луч (radius branchiostegus). Размеры масштабных линеек 10 мм.

В нижних слоях местонахождения часты находки листьев *Ginkgo coriacea* Florin (рис. 6, фиг. 10), вверх по разрезу нарастает встречаемость мохообразных *Bryokhutuliinia ingodensis* (Srebrodolskaja) Ignatov. В пользу заболачивающегося у берегов водоема говорят многочисленные мохообразные, хвощи, папоротники (среди которых наиболее примечательна *Gleichenia lobata* Vachrameev и *Baisia*. Здесь же найден *Otozamites lacustris* Krassilov (рис. 6, фиг. 8), с развитым слоем аэренхимы в листьях, что свидетельствует о гидрофильном характере этого беннеттита [Krassilov,

1982]. По всей видимости, вышеназванные растения были полуводными или обитали в местах с повышенной влажностью и составляли прибрежный пояс растительности. По частоте встречаемости и характеру сохранности можно предположить, что выше располагался пояс из цикадофитов *Neozamites verchojanensis* Vachrameev (рис. 6, фиг. 7), *Ctenis* sp., *Baikalophyllum lobatum* Bugdaeva (рис. 6, фиг. 6), протоцикадовых птеридоспермов *Cladophlebidium dahuricum* Prynada (рис. 6, фиг. 3) и связываемых с ними стробилов, а также чешуелистных хвойных *Brachyphyllum* sp. Вполне возможно, этот пояс не был самостоятельным, а слагал нижний ярус лесной растительности. Следующие верхние яруса, вероятно, слагали лептостробовые *Czekanowskia bugdaevae* Kiritchkova et Samylina (рис. 6, фиг. 11-13), *Phoenicopsis* ex gr. *angustifolia* Heer (рис. 6, фиг. 14), гинкгофиты *Ginkgo coriacea, Pseudotorellia semyonica* Bugdaeva, хвойные *Nageiopsis transbaikalica* Srebrodolskaja (рис. 6, фиг. 9), *Podozamites* sp., *Pityophyllum* ex gr. *solmsii*.

Участие лептостробовых во флоре местонахождения Белая Гора довольно значительно. Этим растениям были присущи укороченные побеги, несущие вегетативные листья, сильная редукция побегов, свисающие репродуктивные органы. По мнению В.А. Красилова [1972], подобный набор признаков указывает на древесный облик чекановскиевых. Также указывалась такая их особенность, как осенняя листопадность. В своей фитогеографической классификации он выделил умеренную лесную зону [Krassilov, 1972], назвав ее флора *Phoenicopsis*, по сути, совпадающую с Сибирской (для юры) и Сибирско-Канадской (для раннего мела) фитогеографическими областями [Вахрамеев, 1988]. Высокое значение лептостробовых во флоре может свидетельствовать о ее существовании в условиях сезонного климата. Наряду с лептостробовыми в тафоценозах местонахождения Белая Гора часто встречаются остатки беннеттитовых. Эта группа растений имеет широкое распространение в мезозойских субтропических флорах и обычно является показателем их термофильности. По всей видимости, сочетание сезонно опадающих и теплолюбивых растений во флоре местонахождения может свидетельствовать о теплоумеренном сезонном климате времени формирования слоев. О довольно теплом климате говорит также разнообразие флоры, одно из самых высоких для раннего мела Забайкалья.

Таксономическое разнообразие флоры местонахождения Белая Гора позволяет провести широкие корреляции его флороносных слоев с таковых впадин Забайкалья, Монголии и Китая (табл. 1).

Купулы *Baisia hirsuta* обнаружены во многих разрезах Забайкалья, Монголии и северо-восточного Китая [Krassilov, Bugdaeva, 1982; Kopylov et al., 2020; Атлас …, 2002; Кодрул и др., 2011].

Хвощ *Equisetum semenense* Srebrodolskaja распространен в двух местонахождениях Забайкалья [Сребродольская, 1983а; Kopylov et al., 2020].

Папоротник *Gleichenia lobata* Vachrameev найден в Белой Горе, а также в аптской эксеняхской свите Якутии [Вахрамеев, 1958; Фитостратиграфия и флора…, 1985; Киричкова, Носова, 2025].

Очень характерный вид *Cladophlebidium dahuricum* описан во флорах Гусиноозерского бассейна и Мухинского месторождения Гусино-Удинской долины Бурятии, в нижнемеловых уссурийской и старосучанской свитах Южного Приморья [Принада, 1962; Красилов, 1967]. Нами *C. dahuricum* обнаружен в селенгинской свите Гусиноозерского бассейна, а также в гипостратотипе хилокской свиты, участок Береговое, юго-западный борт Окино-Ключевской впадины Бурятии.

Беннеттит *Otozamites lacustris* указывался из монгольских местонахождений Бон-Цаган, 22-23 и Манлай в основном барремского возраста (зона Otozamites-Pseudolarix erensis) [Krassilov, 1982]. В Забайкалье этот беннеттит был обнаружен в местонахождениях Байса (зазинская свита), Белая Гора, «обнажении Миддендорфа» Тургино-Харанорской впадины, месторождении Букачача, тургинская свита, Букачачинская впадина, местонахождении гора Пунцук, тургинская свита, Урдо-Агинская впадина, в скв. 204, улачинская свита, Ононская впадина [Атлас …, 2002]. Для флоры нижней части формации Исянь (слой Цзяньшаньгоу) приводится *Otozamites anglica* (Seward) Harris [Sun et al., 2001].

Не исключено, что беннеттит из Китая конспецифичен *Otozamites lacustris.* Этот вопрос будет открыт до изучения кутикулы листьев.

*Neozamites verchojanensis* является одним из самых распространенных раннемеловых беннеттитов. Он указывался из нижнемеловых батылыхской свиты Ленского бассейна, бахской свиты Жиганского района Ленского бассейна; омсукчанской свиты Омсукчанского бассейна и буор-кемюсской свиты Зырянско-Силяпского бассейна Северо-Востока России; местонахождений Бон-Цаган, 45-19 и Шин-Худук, 118-18с Монголии, в слое Цзяньшаньгоу нижней части формации Исянь Северо-Восточного Китая [Вахрамеев, 1962; Абрамова, 1970; Самылина, 1976, Krassilov, 1982; Sun et al., 2001]. Нами этот вид обнаружен в местонахождении Байса и Белая Гора. Указываются его находки в годымбойской свите Североаргунской впадины [Атлас …, 2002].

Беннеттит *Vitimia doludenkoae* Vachrameev найден в местонахождении Байса и в Букачачинском угольном месторождении Восточного Забайкалья [Вахрамеев, Котова, 1977; Атлас…, 2002]. Из нижней части формации Исянь указывается цикадофит *Tyrmia acrodonta* Wu [Sun et al., 2001], возможно конспецифичный *V. doludenkoae.*

*Baikalophyllum lobatum* обнаружен в местонахождении Белая Гора, а также в местонахождениях Цзяньшаньгоу, Цзиньцзягоу и Хуанбаньцзигоу в нижней части формации Исянь, провинция Ляонин и Лютягоу, провинция Внутренняя Монголия [Бугдаева, 1983; Pott et al., 2012].

Листья *Ginkgo coriacea* многочисленны в местонахождении Белая Гора, в Черновском месторождении Центрального Забайкалья, местонахождении Хасурты, сангинская свита, Западное Забайкалье [Kopylov et al., 2020], а также в месторождении Хуолиньхэ, формация Хуолиньхэ, Внутренняя Монголия [Sun, 1993].

Хвойное *Nageiopsis transbaikalica* описано из местонахождения Белая Гора И.Н. Сребродольской [1983б]. Такое же растение найдено в нижней части формации Исянь [Sun, 1993].

Семенная шишка *Jarudia zhoui* Shi, Herrera, Herendeen, Clark & Crane найдена в нижней угленосной толщи формации Хуолиньхэ, провинция Внутренняя Монголия, Северный Китай [Shi et al., 2022], в гусиноозерской серии Гусиноозерской впадины, в угольном месторождении Черновские копи.

Подводя итоги, заметим, что экотонное положение раннемеловой флоры Забайкалья между монгольскими и китайскими с одной стороны, и сибирскими – с другой, позволяет проводить широкие фитостратиграфические корреляции.

В частности, довольно разнообразная флора местонахождения Белая Гора имеет общие элементы с аптскими флорами Якутии (эксеняхская свита) и Магаданской области (силяпской свита и нижнеомсукчанская подсвита), с барремско-аптскими флорами формации Гельвеция-фьеллет Шпицбергена и формацией Солсбери Земли Франца-Иосифа [Фитостратиграфия и флора…, 1985; Киричкова, Носова, 2025].

Флору Белой Горы можно сопоставить с таковой зоны Otozamites-Pseudolarix erensis в основном барремского возраста и шин-худукской свиты Бон-Цаганской впадины Монголия [Krassilov, 1982; Кодрул и др., 2011] и толщ Цзяньшаньгоу и Хуанбаньцзигоу формации Исянь, Западный Ляонин, толщи Лютягоу нижней формации Исянь, формации Хуолиньхэ Внутренняя Монголия Китая [Sun, 1993; Sun et al., 2001; Pott et al., 2012; Shi et al., 2022].

Сходство в видовом составе имеют флоры местонахождения Белая Гора и флоры зазинской, селенгинской, сангинской, доронинской, тигнинской, тургинской, хилокской, галгатайской, улачинской, даинской, годымбойской свит Забайкалья, а также уссурийской и старосучанской свит Южного Приморья [Атлас…, 2001; Красилов, 1967].

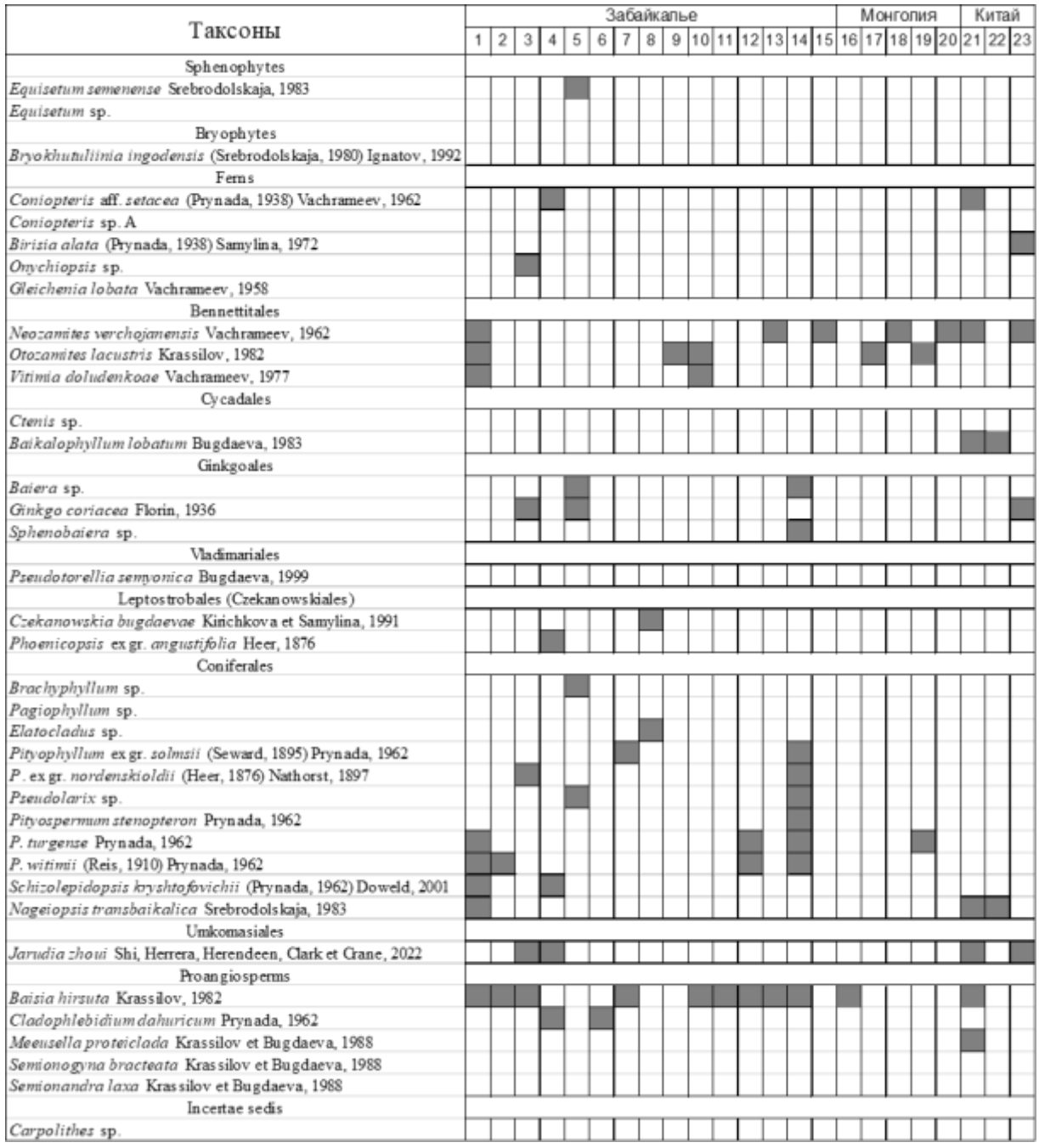
Флора местонахождения Белая Гора существовала, когда биота Джехол испытала свое наивысшее развитие, распространившись на обширные территории востока Азии. Основные ее элементы известны как из барремских, так и из аптских флор сопредельных территорий. По всей

совокупности фактов, возраст флоры, по всей видимости, конец-баррема - преимущественно апт [Bugdaeva, Markevich, 2012; Bugdaeva, Golovneva, 2025].

**Таблица 1.** Виды флористического комплекса местонахождения Белая Гора и их участие в одновозрастных флорах Забайкалья (Россия), Монголии и Китая. Местонахождения флоры в Забайкалье (Россия): 1 – местонахождение Байса, зазинская свита, Витимское плоскогорье, Центральное Забайкалье; 2 – местонахождение Романовка, зазинская свита, Витимское плоскогорье, Центральное Забайкалье; 3 – Черновские копи, Читино-Ингодинская впадина, доронинская свита, Центральное Забайкалье; 4 – селенгинская свита, Гусиноозерская впадина, Западное Забайкалье; 5 – местонахождение Хасурты, Джидинский синклинорий, сангинская свита, Западное Забайкалье; 6 – стратотип хилокской свиты, Западное Забайкалье; 7 – местонахождение Сутай, Тугнуйская впадина, галгатайская свита, Западное Забайкалье; 8 – Тарбагатайское угольное месторождение, Тарбагатайская впадина, тигнинская свита, Центральное Забайкалье; 9 – «обнажение Миддендорфа», стратотип тургинской свиты, Тургино-Харанорская впадина, Восточное Забайкалье; 10 – Букачачинское угольное месторождение, Букачачинская впадина, тургинская свита, Восточное Забайкалье; 11 – Урдо-Агинская впадина, тургинская свита, Восточное Забайкалье; 12 – Ононская впадина, улачинская свита, Восточное Забайкалье; 13 – Шивыртуйское цеолитовое месторождение, Западно-Урулюнгуйская впадина, тургинская свита, Восточное Забайкалье; 14 – местонахождение Шивия, Ундино-Даинская впадина, даинская свита, Восточное Забайкалье; 15 – Северо-Аргунская впадина, годымбойская свита, Восточное Забайкалье.

Местонахождения с одновозрастными флористическими комплексами в Монголии: 16 – хурилтская толща, Бон-Цаганская впадина; 17 – местонахождение Бон-Цаган, 23-22; Бон-Цаганская впадина; 18 – местонахождение Бон-Цаган, 45-19, Бон-Цаганская впадина; 19 – местонахождение Манлай, моготуинская свита, Шавохтинская впадина, юго-восточная Монголия; 20 – местонахождение Шин-Худук, шинхудукская свита (Shine-Khudag Formation), восточное Гоби, юго-восточная Монголия.

Местонахождения с одновозрастными флористическими комплексами в Китае: 21 – местонахождения Цзиньшаньгоу, Цзиньцзягоу и Хуанбаньцзигоу, формация Исянь, провинция Ляонин; 22 – местонахождение Лютяогоу, нижняя формация Исянь, провинция Внутренняя Монголия; 23 – месторождение Хуолиньхэ, формация Хуолиньхэ, провинция Внутренняя Монголия.


Таксоны
Забайкалье
Монголия
Китай
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
Sphenophytes
Equisetum semenense Srebrodolskaja, 1983
Equisetum sp.
Bryophytes
Bryokhutulitinia ingodensis (Srebrodolskaja, 1980) Ignatov, 1992
Ferns
Coniopteris aff. setacea (Prynada, 1938) Vachrameev, 1962
Coniopteris sp. A
Birisia alata (Prynada, 1938) Samylina, 1972
Onychiopsis sp.
Gleichenia lobata Vachrameev, 1958
Bennettitales
Neozamites verchojanensis Vachrameev, 1962
Otozamites lacustris Krassilov, 1982
Vitimia doludenkoae Vachrameev, 1977
Cycadales
Ctenis sp.
Baikalophyllum lobatum Bugdaeva, 1983
Ginkgoales
Baiera sp.
Ginkgo coriacea Florin, 1936
Sphenobaiera sp.
Vladimariales
Pseudotorellia semyonica Bugdaeva, 1999
Leptostrobales (Czekanowskiales)
Czekanowskia bugdaevae Kirichkova et Samylina, 1991
Phoenicopsis ex gr. angustifolia Heer, 1876
Coniferales
Brachyphyllum sp.
Pagiophyllum sp.
Elatocladus sp.
Pityophyllum ex gr. solmsii (Seward, 1895) Prynada, 1962
P. ex gr. nordenskioldii (Heer, 1876) Nathorst, 1897
Pseudolarix sp.
Pityospermum stenopteron Prynada, 1962
P. turgense Prynada, 1962
P. witimii (Reis, 1910) Prynada, 1962
Schizolepidopsis kryshtofovichii (Prynada, 1962) Doweld, 2001
Nageiopsis transbaikalica Srebrodolskaja, 1983
Umkomasiales
Jarudia zhoui Shi, Herrera, Herendeen, Clark et Crane, 2022
Proangiosperms
Baisia hirsuta Krassilov, 1982
Cladophlebidium dahuricum Prynada, 1962
Meeusella proteiclada Krassilov et Bugdaeva, 1988
Semionogyna bracteata Krassilov et Bugdaeva, 1988
Semionandra laxa Krassilov et Bugdaeva, 1988
Incertae sedis
Carpolithes sp.

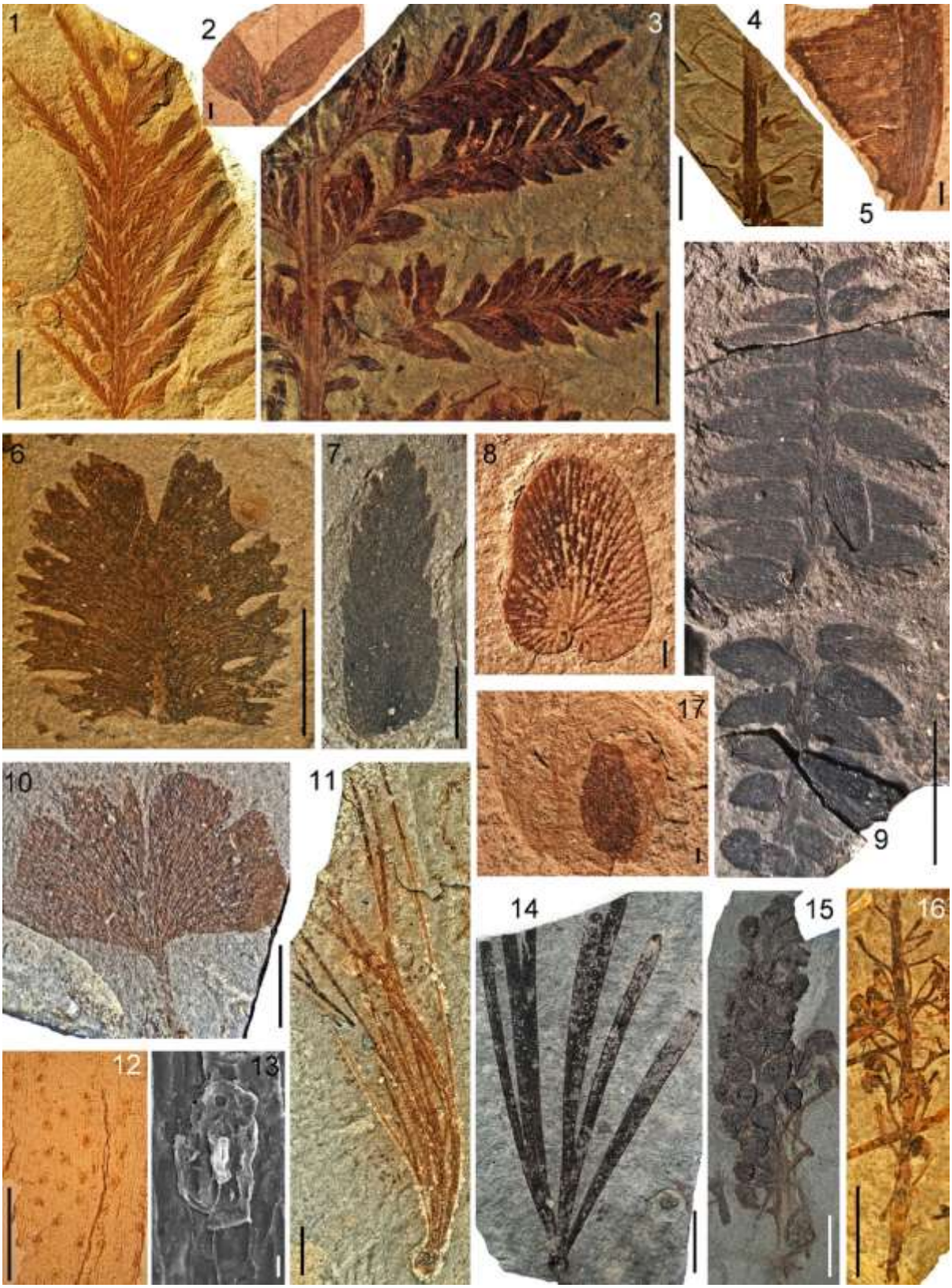



**Рис. 6.** Ископаемые растения из местонахождения Белая Гора. Все изображенные экземпляры, за исключением фиг. 10, происходят из средней части разреза. *Ginkgo coriacea* (фиг. 10) происходит из нижней части разреза. 1. ***Birisia alata*** (Prynada, 1938) Samylina, 1972, 1972, линейка 1 см; 2. ***Schizolepidopsis kryshtofovichii*** (Prynada, 1962) Doweld, 2001, линейка 1 мм; 3. ***Cladophlebidium dahuricum*** Prynada, 1962, линейка 1 см; 4. ***Gleichenia lobata*** Vachrameev, 1958, линейка 1 см; 5. ***Vitimia doludenkoae*** Vachrameev, 1977, линейка 2 мм; 6. ***Baikalophyllum***

*lobatum* Bugdaeva, 1983, линейка 1 см; 7. ***Neozamites verchojanensis*** Vachrameev, 1962, линейка 1 см; 8. ***Otozamites lacustris*** Krassilov, 1982, линейка 1 мм; 9. ***Nageiopsis transbaicalica*** Srebrodolskaja, 1983, линейка 1 см; 10. ***Ginkgo coriacea*** Florin, 1936, линейка 1 см; 11-13. ***Czekanowskia bugdaevae*** Kiritchkova et Samylina, 1991: 11 – пучок листьев, линейка 1 см; 12 – распределение устьиц по нижней грани листа, СМ, линейка 500 мкм; 13 - устьице, вид изнутри, СЭМ, линейка 10 мкм; 14. ***Phoenicopsis*** ex gr. ***angustifolia*** Heer, 1876, линейка 1 см. 15. ***Jarudia zhoui*** Shi, Herrera, Herendeen, Clark et Crane, 2022, линейка 1 см. 16. ***Meeusella proteiclada*** Krassilov et Bugdaeva, 1988, линейка 1 см. 17. ***Baisia hirsuta*** Krassilov, 1981, линейка 0.5 мм.

**ПАЛИНОМОРФЫ И ОБОСНОВАНИЕ ВОЗРАСТА ОТЛОЖЕНИЙ**

Из разреза изучены споры и пыльца наземных растений, а также обильный микрофитопланктон озерного генезиса. В палинологическом мацерате обильно представлены аморфные скопления органики и бесструктурный детрит вероятно водорослевого происхождения, часто измененный. Водорослевое происхождение детрита согласуется с результатами геохимического анализа, которые указывают на значительный вклад составляющей макрофитов в составе органики. В небольшом количестве встречаются неокатанные углистые частицы изометричной формы, реже удлиненные, а также палиноморфы континентального и озерного генезиса.

В палинологических спектрах из нижней части разреза (слои 1-11) и в кровле (слой 31) в большом количестве присутствуют споры и пыльца наземных растений, иногда достигая 85-87% (слои 4-6) (рис. 7, 8). Выше по разрезу доминируют зеленые водоросли, представленные большей частью планктонными колониальными водорослями ***Botryococcus*** spp. (90-100%), типичными обитателями озер [Жизнь растений, 1978; Palynology…, 1996] (рис. 8). Представители семейства Zygnemataceae, характерные для пресноводных сообществ, особенно в стоячих и слабопроточных водоемах [Жизнь растений, 1978; Palynology…, 1996], присутствуют в небольшом количестве (1-6%): ***Schizosporis*** spp., ***Ovoidite***s spp. (***Spirogyra***-like spores). Единично отмечены ***Lancettopsis*** sp., ***Paucilobimorpha*** sp. (***Mougeotia***-like spore). В средней части разреза (слои 13-19) чаще встречаются ***Leiosphaeridia*** spp. (1-2%). В палинологических спектрах также присутствуют бактериальные скопления (1-3%, предположительно Cyanobacteria, forma A, B; рис. 8, фиг. 36-37), которые приурочены к интервалу разреза с обилием микроводорослей (слои 12-30). В этой части разреза среди ***Botryococcus*** появляются лучистые формы (рис. 8, фиг. 7), хотя встречаются они нечасто.

В нижней части разреза (слои 1-11) и его кровле установлены спорово-пыльцевые комплексы, в которых резко доминирует пыльца голосеменных. Споры немногочисленны и не превышают 7%. Постоянно встречаются споры осмундовых и циатейных папоротников, часто присутствуют споры хвощей, плаунов и мараттиевых папоротников (рис. 7, 8). Среди пыльцы преобладают двухмешковые формы: обильны и разнообразны как морфотипы древнего типа с плохо дифференцированными мешками (древние сосновые и/или вольциевые), так и близкие по морфологии к современной пыльце сосновых (рис. 8). В большинстве образцов много двухмешковой пыльцы плохой сохранности Disaccites (30-50%). Ее количество значительно сокращается в интервале, где в палинологических спектрах резко преобладает наземная составляющая, до 15%. Это, видимо, связано с обстановками, более близкими к берегу, и, как результат, меньшей дистанцией переноса спор и пыльцы и их лучшей сохранностью. Среди мешковых форм в небольшом количестве также присутствуют подокарповые, семенные папоротники и пыльца неясного систематического положения ***Callialasporites***. Безмешковые формы менее обильны, но достаточно разнообразны. Они, в основном, представлены пыльцой хвойных растений: араукариевых, кипарисовых и подозамитовых. Пыльца последних в разрезе Белая Гора по морфологии близка к пыльце араукариевых. Пыльца хейролепидиевых (***Classopollis***), которая считается хорошим индикатором жарких аридных условий, определена единично только в одном образце (слой 6). Гинкговые/цикадовые составляют 1-6%. Изредка встречается пыльца покрытосеменных (***Tricolpites***).

Пыльца покрытосеменных является важной группой для определения возраста отложений. В Сибири она спорадически встречается с середины баррема и постоянно с кровли баррема-апта, незначительно увеличиваясь в количестве [Стрепетилова и др., 1982; Пещевицкая, 2018]. В Забайкалье покрытосеменные характерны для барремских-аптских отложений и являются важным компонентом региональных слоев со спорами и пыльцой *Appendicisporites*, Gleicheniaceae, *Rouseisporites*, *Kuylisporites lunaris*, Angiospermae [Скобло и др., 2001]. По присутствию пыльцы покрытосеменных был более надежно определен переходный верхнебарремский-нижнеаптский интервал в обнажении Миддендорфа (разрез Турга), одном из наиболее известных в Забайкалье местонахождении разнообразной мезозойской фауны [Косенко и др., 2023]. Однако в разрезе Белая Гора последовательно проследить количественную динамику пыльцы покрытосеменных не удалось из-за крайне слабой насыщенности наземными палиноморфами большинства образцов из средней части разреза. Ее редкие находки в разрезе Белая Гора позволяют определить возраст отложений как поздний баррем – апт.




**Рис. 7.** Распределение палиноморф в разрезе Белая Гора.

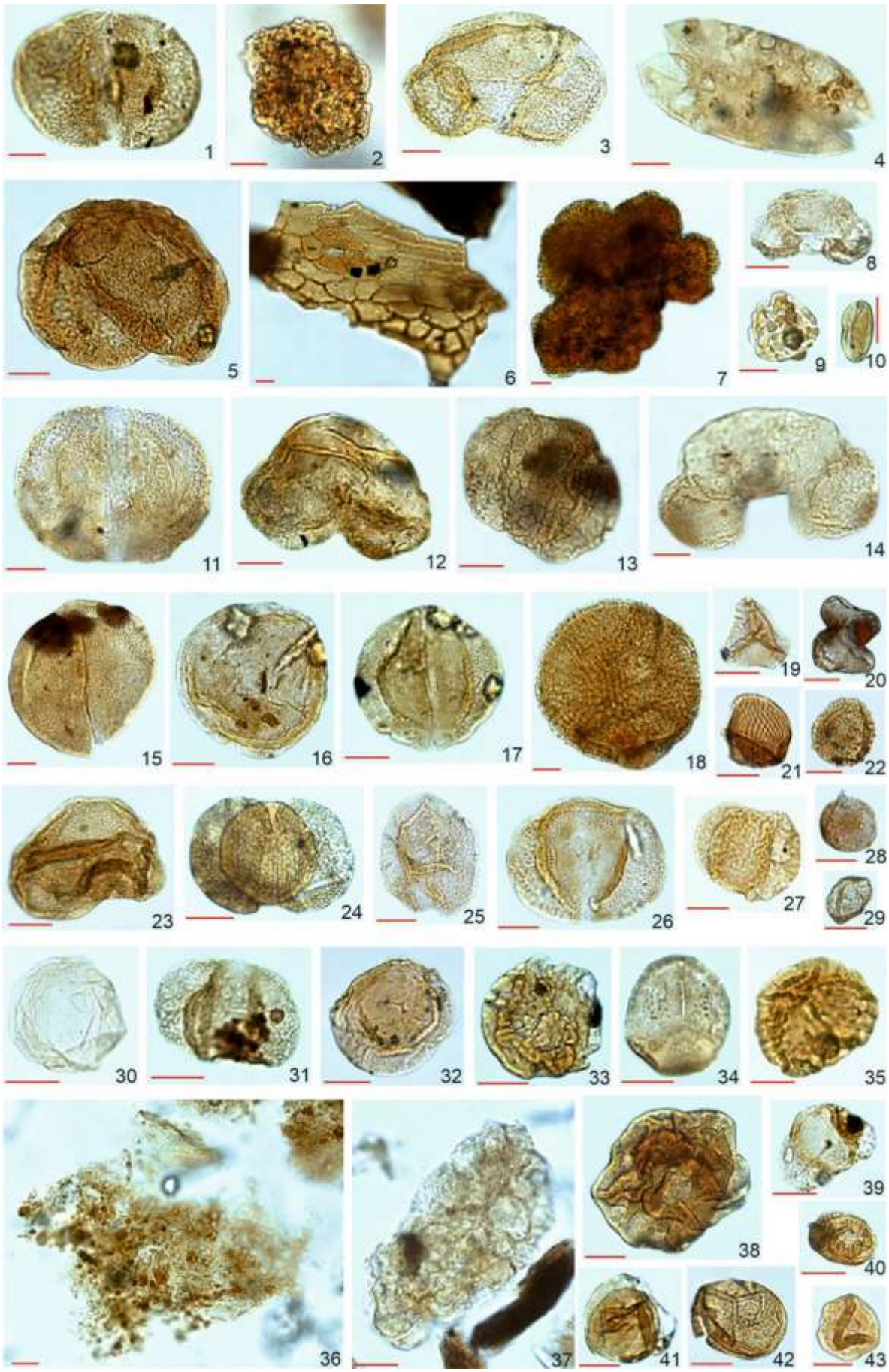

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43

**Рис. 8.** Палиноморфы из разреза Белая Гора. Масштабная линейка 20 мкм. 1. *Pseudopicea magnifica* Bolch., сл. 1, экз. 1639/15-92.; 2. *Botryococcus* sp. A aff. *B. brauni* Kütz., сл. 1, экз. 1639/21-92; 3. *Abies imma*nis Bolch., сл. 4, экз. 1641/5-94; 4. *Ovoidites* sp., сл. 7, экз. 1644/20-100; 5. *Cedripites libaniformis* (Bolch.) Krutz., сл. 1, экз. 1639/16-88; 6. Структурный детрит, сл. 3, экз. 1640/11-98; 7. *Botryococcus* sp. B aff. *B. neglectus* (West et G.S. West) Komárek et Marvan, сл. 19, экз. 1656/19-90; 8. *Pinus vulgaris* (Naum.) Bolch., сл. 4, экз. 1641/11-99; 9. *Leptolepidites verrucatus* Coup., сл. 1, экз. 1639/7-94; 10. *Ginkgo praeacuta* Bolch., сл. 1, экз. 1639/13-95; 11. *Protopinus vastus* Bolch., сл. 4, экз. 1641/6-102; 12. *Piceapollenites* sp., сл. 1, экз. 1639/14-103; 13. *Abies* aff. *retiformis* (Naum.) Bolch., сл. 1, экз. 1639/15-95; 14. *Pinus elongata* Bolch., сл. 3, экз. 1640/4-95; 15. *Protoconiferus funarius* (Naumova) Bolch., сл. 4, экз. 1641/6-90; 16. *Araucariacidites* sp., сл. 4, экз. 1641/6-106; 17. *Protopicea accepta* Bolch., сл. 1, экз. 1639/15-89; 18. *Schizosporis reticulatus* Cook. et Dett., сл. 7, экз. 644/8-89; 19. *Cyathidites rafaeli* (Burg.) Burg., сл. 3, экз. 1640/18-99; 20. *Paucilobimorpha* sp., сл. 26, экз. 1663/7-88; 21. *Cicatricosisporites tersus* (Bolch.) Poc., сл. 4, экз. 1641/14-105; 22. *Osmunda nicanica* Verb., сл. 4, экз. 1641/13-104; 23. *Protopicea vilujensis* Bolch., сл. 1, экз. 1639/15-93; 24. *Podocarpus arquata* K-M, сл. 9, экз. 1646/20-88; 25. *Podozamites coniferoides* Bolch., сл. 4, экз. 1641/9-100; 26. *Alisporites grandis* (Cook.) Dett., сл. 4, экз. 1641/8-102; 27. *Pinus nigraeformis* Bolch., сл. 4, экз. 1641/14-91; 28. *Sequoiapollenites* sp., сл. 4, экз. 1641/10-105; 29. *Tricolpites* sp., сл. 11, экз. 1648/8-98; 30. *Leiosphaeridia* sp., сл. 16, экз. 1653/3-90; 31. *Alisporites similis* (Bal.) Dett., сл. 1, экз. 1639/9-101; 32. *Salvinia sangarensis* Bolch., сл. 4, экз. 1641/9-104; 33. *Callialasporites infrapunctatus* (Lan.) Poc., сл. 4, экз. 1641/4-100; 34. *Lophotriletes* aff. *spurius* Bolch., сл. 9, экз. 1646/20-81; 35. *Callialasporites dampieri* (Bal.) Sukh-Dev, сл. 4, экз. 1641/16-104; 36. Cyanobacteria? forma A, сл. 6, экз. 1643/14-93; 37. Cyanobacteria? forma B, сл. 22, экз. 1659/8-93; 38. *Callialasporites* aff. *punctatus* Venk. et Kar, сл. 9, экз. 1646/19-96; 39. *Pinus subconcinua* Bolch., сл. 1, экз. 1639/7-93; 40. *Dacrydiumites*? sp. A, сл. 1, экз. 1639/8-104; 41. *Perinopollenites elatoides* Coup., сл. 1, экз. 1639/13-96; 42. *Osmundacidites* sp., сл. 1, экз. 1639/16-93; 43. *Taxodium rotundiformis* Bolch., сл. 1, экз. 1639/19-104.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

**Общая характеристика органического вещества.** Результаты геохимического анализа рассеянного ОВ пород представлены в таблице 2. Исследованные отложения доронинской свиты характеризуются высокими концентрациями $C_{орг}$ от 2.1 до 8.5%, (среднее 4.2%) на породу, что позволяет классифицировать их как углеродистые [Юдович, Кетрис, 1988]. Распределение $C_{орг}$ по разрезу неравномерное (рис. 9а): умеренные значения $C_{орг}$ (до 4.0% на породу) приурочены к основанию разреза (слои 1–10) и интервалам развития «бумажных сланцев». Наблюдается симбатное изменение концентраций $C_{орг}$ и соотношения $\delta^{13}C_{орг}$, которое варьирует от -31.6 до -22.1‰. Изотопно легким углеродом $^{12}C$ ($\delta^{13}C_{орг}$ от -31.6‰ до -27.0‰) обогащены пробы с меньшей долей $C_{орг}$ (≤4.0%) и наоборот в интервалах с высоким $C_{орг}$ (>4.3%) отмечается утяжеление изотопного состава углерода ($\delta^{13}C_{орг}$ от -26.5‰ до -22.1‰) (рис. 9б). При этом сильная корреляция ($R^2 = 0.97$) между содержанием $C_{орг}$ и количеством углеводородов (УВ), выделяемых при пиролизе (пик $S_2$, рис. 9в), указывает на выдержанный состав исходного органического материала на протяжении всего периода формирования толщи. Таким образом, неравномерное распределение значений $C_{орг}$ и $\delta^{13}C_{орг}$ по разрезу обусловлена не сменой состава биопродуцентов, а отражает изменения условий накопления и захоронения ОВ.

Низкие концентрации серы (0.06–0.30%) и высокая корреляционная взаимосвязь между содержанием $C_{орг}$ и $S_{общ}$ (рис. 10) свидетельствуют об отсутствии активной бактериальной сульфатредукции, которая была ограничена не количеством ОВ, а низкой доступностью сульфат-ионов в водной толще палеобассейна. Это указывает на пресноводную обстановку осадконакопления (озерный бассейн), где накопление серы происходило синхронно с захоронением ОВ [Berner,1983].

**Таблица 2.** Общие характеристики ОВ и пиролитические параметры доронинской свиты из обнажения Белая Гора

| Номер образца / слоя | $C_{орг}$, % на породу | $\delta^{13}C_{орг}$, ‰ | S, % на породу | $S_1$, мг УВ/г породы | $S_2$, мг УВ/г породы | $S_3$, мг $CO_2$/г породы | $T_{max}$, °C | HI, мг УВ/ г $C_{орг}$ | OI, мг $CO_2$/ г $C_{орг}$ | PI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| БГ-31 | 4.9 | -29.8 | 0.15 | 0.4 | 21.6 | 1.9 | 431 | 443 | 39 | 0,02 |
| БГ-30 | 3.1 | -28.8 | 0.11 | 0.2 | 8.2 | 2.11 | 429 | 262 | 63 | 0,03 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| БГ-29 | 5.0 | -30.5 | 0.18 | 0.6 | 21.4 | 2.2 | 428 | 430 | 44 | 0,03 |
| БГ-28 | 6.2 | -29.0 | 0.12 | 0.6 | 35.4 | 3.04 | 431 | 567 | 46 | 0,02 |
| БГ-27 | 8.5 | -29.1 | 0.30 | 2.6 | 52.7 | 2.80 | 432 | 623 | 33 | 0,05 |
| БГ-26 | 3.6 | -26.0 | 0.08 | 0.3 | 12.2 | 2.00 | 429 | 343 | 54 | 0,02 |
| БГ-25 | 4.8 | -22.6 | 0.15 | 0.6 | 19.9 | 2.38 | 430 | 417 | 48 | 0,03 |
| БГ-24 | 3.8 | -25.3 | 0.09 | 0.3 | 14.2 | 1.96 | 430 | 370 | 52 | 0,02 |
| БГ-23 | 5.9 | -22.1 | 0.16 | 0.7 | 29.1 | 2.63 | 431 | 490 | 43 | 0,02 |
| БГ-22 | 5.3 | -23.3 | 0.13 | 0.7 | 24.4 | 2.62 | 430 | 464 | 48 | 0,03 |
| БГ-21 | 2.6 | -27.4 | 0.06 | 0.1 | 7.1 | 1.59 | 433 | 273 | 56 | 0,02 |
| БГ-20 | 3.3 | -29.2 | 0.07 | 0.2 | 10.2 | 2.48 | 430 | 310 | 67 | 0,02 |
| БГ-19 | 3.5 | -25.6 | 0.08 | 0.3 | 11.4 | 1.92 | 431 | 324 | 50 | 0,03 |
| БГ-18 | 2.1 | -28.0 | 0.07 | 0.1 | 3.2 | 2.22 | 432 | 156 | 88 | 0,03 |
| БГ-17 | 6.7 | -23.8 | 0.14 | 1.1 | 38.6 | 2.66 | 433 | 578 | 39 | 0,03 |
| БГ-16 | 2.8 | -27.3 | 0.06 | 0.2 | 6.4 | 2.50 | 431 | 227 | 81 | 0,02 |
| БГ-15 | 5.6 | -25.3 | 0.16 | 0.6 | 29.0 | 2.97 | 432 | 514 | 50 | 0,02 |
| БГ-14 | 4.0 | -28.0 | 0.09 | 0.2 | 10.4 | 3.04 | 430 | 263 | 74 | 0,01 |
| БГ-13 | 7.4 | -27.2 | 0.18 | 0.8 | 38.2 | 3.37 | 430 | 516 | 45 | 0,02 |
| БГ-12 | 5.2 | -29.8 | 0.13 | 0.5 | 23.6 | 2.81 | 431 | 450 | 51 | 0,02 |
| БГ-11 | 5.2 | -26.4 | 0.14 | 0.6 | 23.6 | 2.40 | 433 | 452 | 44 | 0,02 |
| БГ-10 | 2.1 | -29.0 | 0.08 | 0.1 | 1.4 | 2.7 | 431 | 68 | 118 | 0,04 |
| БГ-9 | 4.5 | -27.2 | 0.10 | 0.6 | 19.3 | 2.01 | 433 | 427 | 43 | 0,03 |
| БГ-8 | 2.1 | -29.0 | 0.10 | 0.1 | 4.4 | 1.1 | 428 | 212 | 49 | 0,03 |
| БГ-7 | 4.3 | -30.4 | 0.10 | 0.7 | 17.3 | 2.10 | 431 | 400 | 46 | 0,04 |
| БГ-6 | 2.8 | -31.6 | 0.11 | 0.3 | 4.0 | 2.2 | 440 | 141 | 77 | 0,06 |
| БГ-5 | 2.9 | -30.1 | 0.08 | 0.3 | 6.8 | 1.64 | 433 | 238 | 53 | 0,04 |
| БГ-4 | 2.8 | -29.9 | 0.11 | 0.1 | 3.8 | 2.1 | 434 | 135 | 66 | 0,03 |
| БГ-3 | 3.8 | -27.7 | 0.11 | 0.3 | 12.3 | 1.77 | 433 | 323 | 47 | 0,03 |
| БГ-1 | 2.5 | -29.6 | 0.07 | 0.1 | 5.9 | 1.54 | 432 | 231 | 55 | 0,02 |

Примечание: $HI = S_2*100/C_{орг}$; $OI = S_2*100/C_{орг}$; $PI = S_1/(S_1 + S_2)$

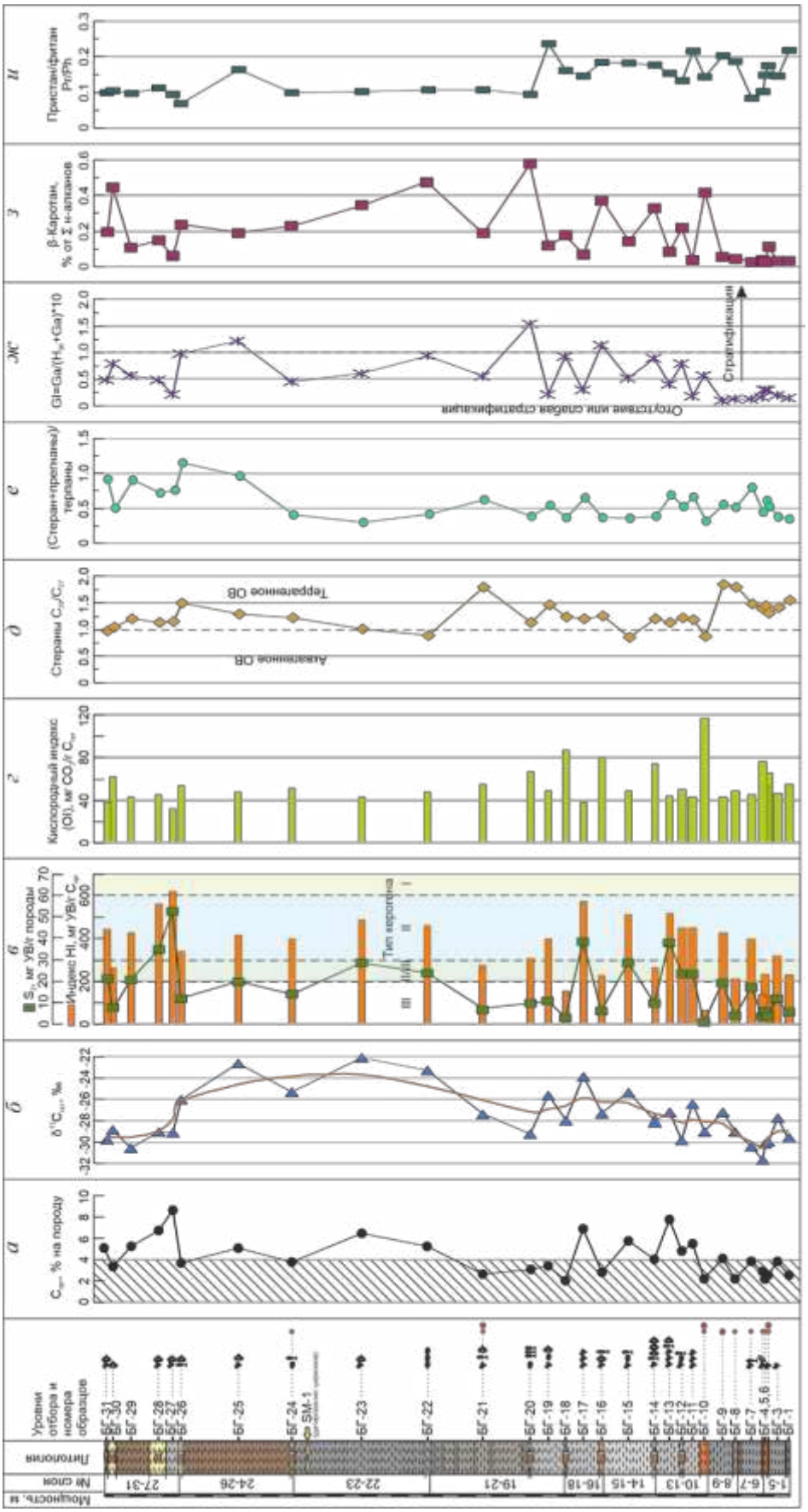

Мощность, м
№ слоя
Литология
Уровни отбора и номера образцов
27-31
24-26
22-23
19-21
16-18
14-15
10-13
8-9
6-7
1-5
Cорг, % на породу
δ13Сорг, ‰
Sп, мг УВ/г породы
Индекс HI, мг УВ/г Сорг
Тип керогена
Кислородный индекс (OI), мг CO2/г Сорг
Стераны C29/C27
Терригенное ОВ
Аквагенное ОВ
(Стеран+прегнаны)/терпаны
Gl=Gai/(Hopi+Gai)*10
Отсутствие или слабая стратификация
Стратификация
β-Каротан, % от Σ н-алканов
Пристан/фитан Pr/Ph

**Рис. 9.** Вариации основных геохимических параметров в разрезе Белая Гора: содержания органического углерода ($C_{орг}$) (*а*), изотопного состава органического углерода ($\delta^{13}C_{орг}$) (*б*), количества УВ, выделяемых в процессе пиролиза при крекинге керогена пород ($S_2$) и водородного индекса (HI) (*в*), кислородного индекса (OI) (*г*), соотношения стеранов составов $C_{29}$ и $C_{27}$ (*д*), соотношения суммы стеранов и прегнанов к терпанам (*е*), гаммацеранового индекса (GI) (*ж*), концентраций β-каротана (*з*), соотношения пристана и фитана (Pr/Ph) (*и*).Условные обозначения к литологической колонке см. на рис. 3.

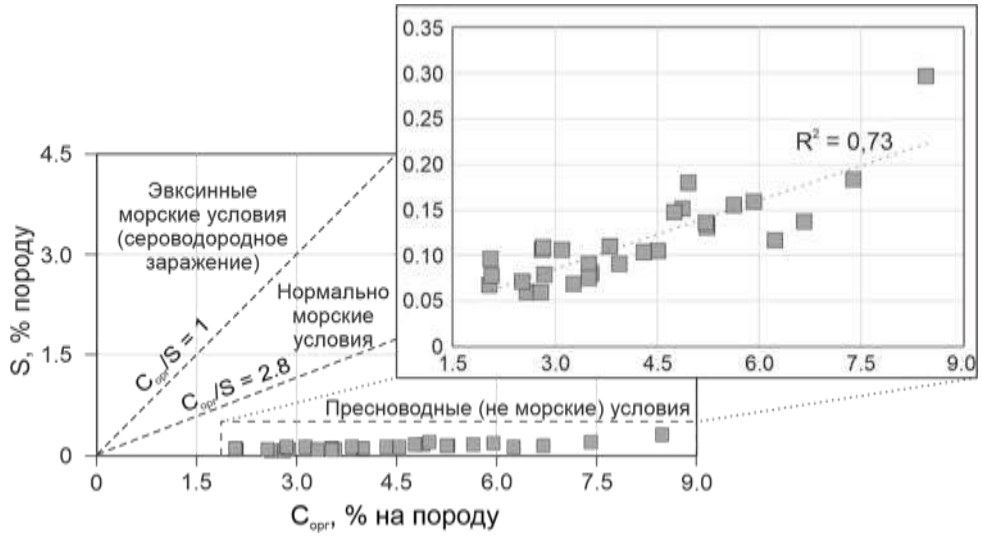



**Рис. 10.** Диаграмма зависимости содержания $C_{орг}$ и $S_{общ}$ по [Berner, 1983] с изменениями для доронинской свиты обнажения Белая Гора.

Водородный индекс (HI) изменяется в широком диапазоне от 68 до 623 мг УВ/г $C_{орг}$ и фактически характеризует содержание водорода в керогене. Кислородный индекс (OI), отражающий относительные концентрации кислородсодержащих функциональных групп в керогене, варьирует от 33 до 118 мг $CO_2$/г $C_{орг}$. Синхронные вариации этих индексов (рис. 9в, г), а также содержания ОВ обусловлены изменениями первичной биопродуктивности, и/или интенсивностью деструкции органического материала. Используя диаграммы HI–$T_{max}$ и HI–OI (рис. 11) изученная коллекция также разделяется на две группы.

Первая группа с повышенными концентрациями $C_{орг}$ (> 4.3%) характеризуется относительно высокими значениями HI (> 400 мг УВ/г $C_{орг}$) в совокупности с низкими OI (33-52 мг $CO_2$/г $C_{орг}$), что указывает на кероген близкий по своим генерационным характеристикам ко II типу (морскому). В озерных условиях кероген II типа обычно является смешанным и формируется при сопоставимом участии фито- и зоопланктона, бактерий и высшей наземной растительности.

Для второй группы с умеренным содержанием $C_{орг}$ (≤ 4.0%) характерны пониженные значения HI (< 370 мг УВ/г $C_{орг}$) и повышенные величины OI (47-118 мг $CO_2$/г $C_{орг}$). Кероген в них соответствуют переходному II/III типу, обедненному липидными компонентами. В озерных условиях такие характеристики могут быть объяснены несколькими факторами. Органическое вещество в основании разреза было сформировано при участии большего количества растительных остатков (листья, древесина, споры) (стераны $C_{29}/C_{27}$ = 1.3-1.9) (рис. 9д) и других окисленных фрагментов ОВ. Для «бумажных сланцев» пониженные значения HI, вероятно, связаны с микробиологической переработкой наиболее лабильных (липидных) компонентов ОВ на границе раздела сред специфической биотой, включая сообщества метилотрофных бактерий. Подробнее условия формирования аргиллитов «бумажных сланцев» будут описаны ниже. Экстремально высокие значения OI при минимальных значениях HI (слой 10) могут указывать на вторичное окисление ОВ в раннем диагенезе или гипергенезе.

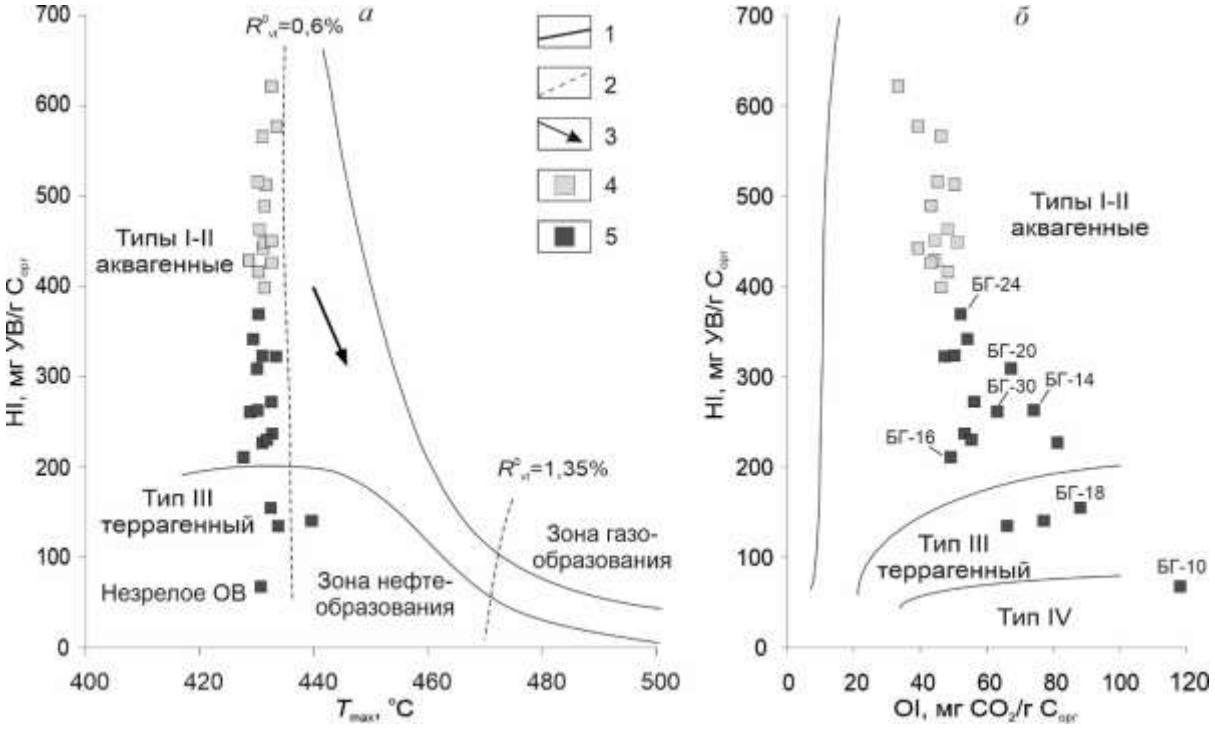



**Рис. 11.** Диаграммы HI–$T_{max}$ (*а*), HI–OI (*б*) для доронинской свиты обнажения Белая Гора. Условные обозначения: 1 – линии, ограничивающие максимальные значения водородного индекса (HI) для типов ОВ; 2 – изолинии отражательной способности витринита ($R^{\circ}_{vt}$); 3 – направленность изменения величин HI и $T_{max}$ в катагенезе, 4 – первая группа образцов (HI>400 мг УВ/г $C_{орг}$); 5 – вторая группа образцов (HI<370 мг УВ/г $C_{орг}$).

Количество выделенных хлороформенных битумоидов (0.089-0.856% на породу), коррелирует с содержанием $C_{орг}$ ($R^2$ = 0.75). Низкие значения битумоидного коэффициента, рассчитанного как отношение концентраций битумоидов к $C_{орг}$, (1.7-7.5), в совокупности с низкими значениями индекса продуктивности (PI) (0.01–0.06) свидетельствуют о сингенетичности битумоидов и отсутствии процессов миграции УВ (см. табл. 2).

В групповом составе битумоидов преобладают смолистые компоненты (52.5-87.5%), в меньших концентрациях присутствуют углеводородные фракции (11.0-40.5%) и асфальтеновые компоненты (0.4-7.7%). Содержание ароматических УВ минимально (0.2-2.5%) для большей части коллекции за исключением основания разреза (слои 1-7), где оно составляет 2.2-10.9%. Концентрации насыщенных УВ изменяются от 10.1 до 38.1% на битумоид. Установленный групповой состав битумоидов доронинской свиты соответствует слабо преобразованному ОВ, что согласуется с данными пиролиза ($T_{max}$) и $R^{\circ}_{vt}$.

**Катагенез органического вещества.** Степень преобразованности ОВ доронинской свиты соответствует протокатагенезу градации $ПК_3$ при значения $R^{\circ}_{vt}$ 0.42-0.45%. Значения температуры $T_{max}$ изменяются в узком диапазоне 428-440°C, что также характеризует кероген как незрелый. Слабый катагенез ОВ подтверждают молекулярные параметры изомеризации биомаркеров. На масс-хроматограммах (m/z=191) определяются термодинамически нестабильные (диагенетические) изомеры с биологической конфигурацией (ββ-гопаны $C_{27}$-$C_{35}$). Комплекс параметров однозначно указывает на то, что ОВ доронинской свиты не вышло за пределы протокатагенеза.

**Генетический тип органического вещества.** В насыщенных фракциях битумоидов идентифицированы н-алканы от $C_{11}$ до $C_{40}$, н-алканы меньше $C_{15}$ и больше $C_{36}$ находятся в следовых концентрациях, рядом с н-алканом $C_{37}$ по характерным ионам m/z 125, 69, 83, 97, 111, 558 ($M^+$) и 543 (M-15) определен β-каротан (рис. 12). Распределение н-алканов характеризуется выраженным преобладанием нечетных гомологов $C_{21}$, $C_{23}$, $C_{25}$, $C_{27}$ и $C_{29}$. Среднемолекулярные н-алканы ($C_{21}$-$C_{25}$)

составляют 38-57% от суммы н-алканов, высокомолекулярные ($C_{27}$-$C_{31}$) – 21-39% и низкомолекулярные ($C_{15}$-$C_{19}$) – 6-13% (рис. 13а). Значения индекса нечетности ($CPI_{21-33}$) варьируют в диапазоне 2.2-4.0 (среднее 2.9), что отражает как вклад высшей наземной растительности в состав ОВ, так и его низкую преобразованность.

Нормальные алканы синтезируются широким спектром организмов, что усложняет однозначную интерпретацию источников ОВ из-за перекрытия диапазонов гомологов [Brassell et al., 1978]. Нечетные короткоцепочечные н-алканы ($C_{15}$, $C_{17}$, $C_{19}$) продуцируются преимущественно фитопланктоном. Среднемолекулярные н-алканы ($C_{21}$-$C_{25}$), с небольшим преобладанием нечетных соединений наследуются от погруженных и полупогруженных макрофитов (водорослей), синтезирующих жирные кислоты $C_{20}$–$C_{24}$ [Ficken et al., 2000; Gao et al., 2011], а также фотосинтезирующих бактерий ($C_{14}$–$C_{23}$) и нефотосинтезирующих бактерий ($C_{20}$–$C_{27}$) [Vaz dos Santos Neto et al., 1998]; отдельные виды фитопланктона (зеленые водоросли) вносят вклад в концентрации н-алканов $C_{17}$, $C_{21}$ и $C_{25}$ [Ермакова и др., 2020]. Высокомолекулярные воскообразные н-алканы от $C_{27}$ до $C_{31}$ обычно интерпретируется как вклад наземной растительности [Eglinton et al., 1962; Тиссо, Вельте, 1981], однако неморские водоросли типа ***Botryococcus braunii*** синтезируют исключительно нечетные н-алкадиены в диапазоне от $C_{25}$ до $C_{31}$, что может создавать ложный сигнал террагенности [Moldowan et al., 1985; Ермакова и др., 2020].

Распределение концентраций групп н-алканов на треугольной диаграмме (рис. 13а) свидетельствует о выдержанном во времени соотношении основных биопродуцентов и подтверждает смешанный генезис ОВ. Основным источником автохтонного ОВ являлись погруженные и полупогруженные макрофиты, а также отдельные виды фитопланктона, представленные преимущественно зелеными колониальными водорослями (включая род ***Botryococcus***), в меньшей степени вклад вносили бактериальные сообщества. Доля аллохтонного ОВ высшей наземной растительности с окружающей суши была значимой, но менялась незначительно.

Для диагностики состава эукариотических сообществ используется соотношение стеранов $C_{27}$, $C_{28}$ и $C_{29}$ (рис. 13б). Распределение стеранов $C_{27}$, $C_{28}$ и $C_{29}$ αα20R сходно во всех образцах: доля этилхолестанов $C_{29}$ (43-57%) выше, чем холестанов $C_{27}$ (25-42%) и метилхолестанов $C_{28}$ (13-25%). Высокие значения отношения стеранов $C_{29}/C_{27}$ (1.28-2.43) (рис. 9в) традиционно интерпретируется как признак вклада высших растений [Volkman, 2003; Peters et al., 2005], однако в условиях пресноводных озер оно также может отражать доминирование водорослей рода ***Botryococcus*** [Huang, Meinschein, 1979; Volkman, 1986]. Стераны $C_{28}$ формируются только из определенных типов фитопланктона, например, диатомовых водорослей, кокколитофорид, динофлагеллят [Grantham, Wakefield, 1988; Peters et al., 2005].

Во всех битумоидах идентифицированы два типа 4-метилстеранов: 4-метил-24-этилстераны ($C_{28}$-$C_{30}$) и диностераны (4α,23,24-триметилстераны $C_{30}$). Как правило, диностераны являются основным стеролом динофлагеллят, тогда как 4-метил-24-этилстерины характерны для других эукариотических организмов (прочие альвеоляты, гаптофиты) [Zhou et al., 2022]. Однако, учитывая отсутствие палинологических находок альвеолят в изученном разрезе, вероятными продуцентами этих соединений выступали представители нераспознанного класса водорослей или метилотрофные бактерии [Goodwin et al., 1988; Difan et al., 1994].

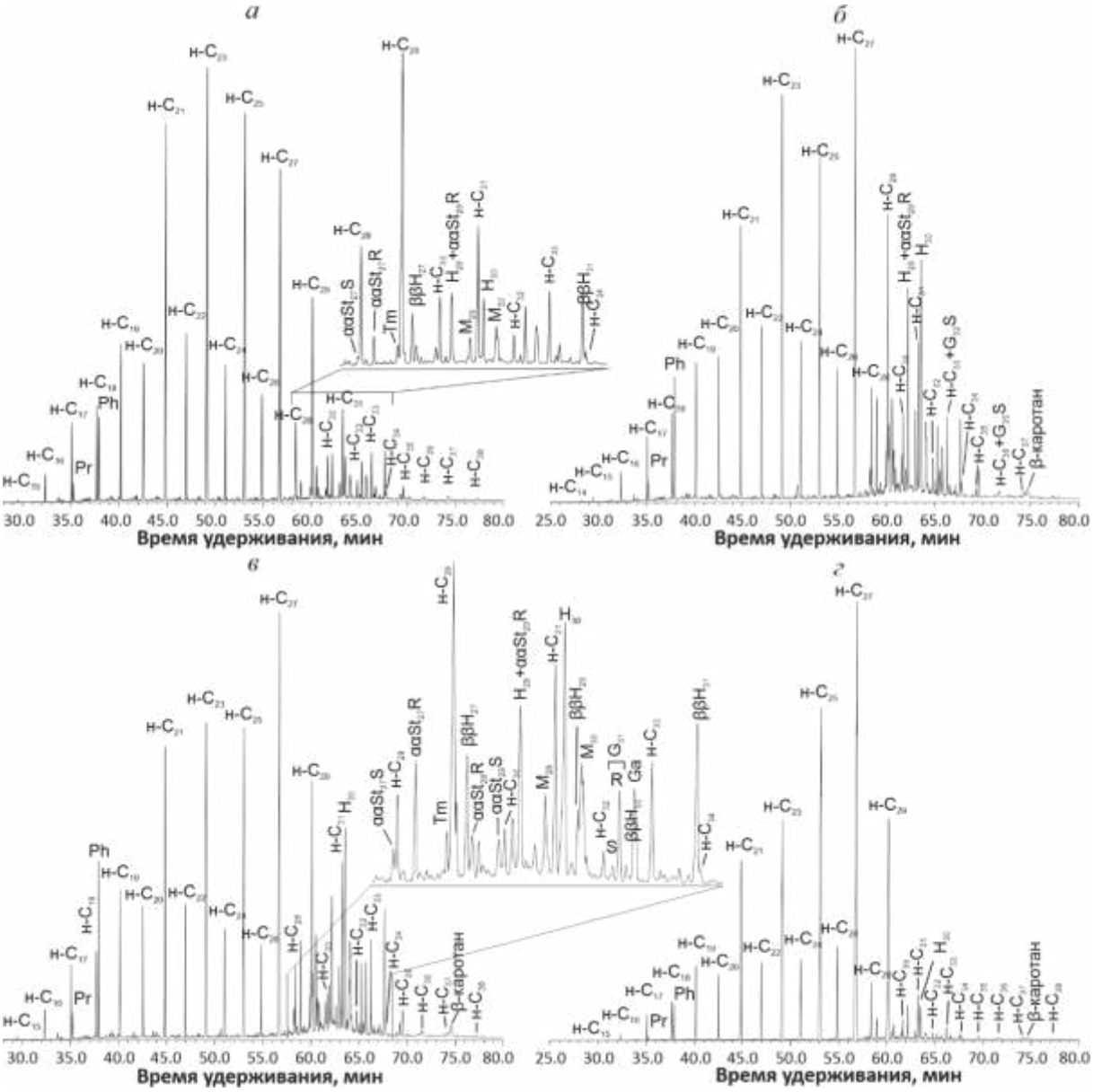



**Рис. 12.** Типовые хроматограммы распределения нормальных и изопреноидных алканов насыщенных фракций битумоидов доронинской свиты: образец БГ-1 (*а*), БГ-16 (*б*), БГ-10 (*в*), БГ-27 (*г*). Условные обозначения: н-$C_n$ – н-алканы; Pr – пристан; Ph – фитан; Tm – 17α(H)-22,29,30-трисноргопан; Ts – 18α(H)-22,29,30-триснорнеогопан; $H_n$ – гопаны; ββ$H_n$ – биогопаны; $M_n$ – моретаны; $G_n$ – гомогопаны; Ga – гаммацеран; αα$St_n$ (S, R) – регулярные стераны; цифры (n) – число атомов углерода.

Соотношение (стераны+прегнаны)/терпаны используется для определения относительного вклада водорослевых (эукариотических) и бактериальных (прокариотических) организмов, поскольку терпаны биосинтезируются исключительно прокариотами. В нижней части разреза это соотношение составляет 0.3-0.8, что отражает относительно больший вклад прокариотических липидов в состав ОВ. В верхней части разреза (слои 25-31) соотношение повышается до 1.1, что указывает на увеличение вклада эукариотических организмов и/или снижение степени бактериальной переработки (рис. 9е).

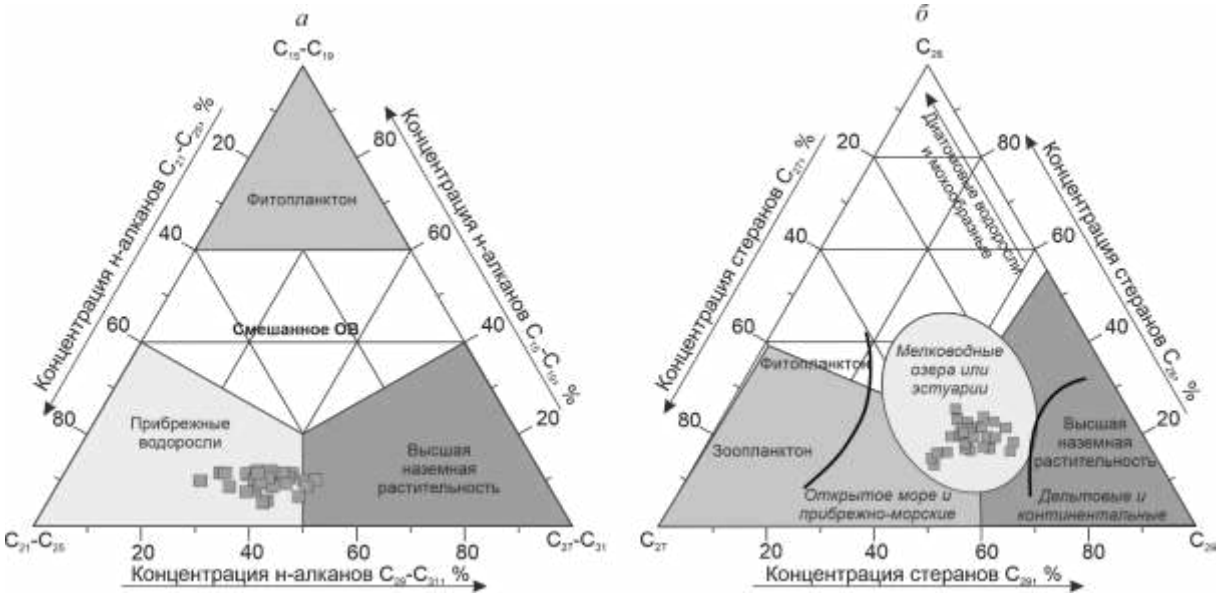



**Рис. 13.** Тригонограммы распределения нормальных и изопреноидных алканов (а) и стеранов $C_{27}$-$C_{28}$-$C_{29}$ по [Huang, Meinschein, 1979] с изменениями (б) в насыщенных фракциях битумоидов доронинской свиты.

В ароматических фракциях всех битумоидов был диагностирован ретен (1,7-изопропилфенантрен) – типичный продукт частичной деградации в геологической среде абиетиновой кислоты, основного компонента хвойных смол [van Aarssen et al., 2000]. Его присутствие подтверждает вклад хвойной растительности в формирование ОВ доронинской свиты.

**Условия накопления органического вещества.** Гаммацеран (Ga), идентифицированный во всех образцах, служит индикатором существования стратификации водного столба. Его концентрации неравномерно изменяются по разрезу от 0.32 до 5.00% на сумму терпанов, а значения гаммацеранового индекса (GI=10*Ga/(Ga + $C_{30}$αβ-гопан)) – от 0.10 до 1.54 (рис. 9ж). Его предшественник, тетрагиманол, продуцируется бактериоядными инфузориями, обитающими на границе кислородной и бескислородной сред (редокс зона).

Изменение GI в разрезе отражает эволюцию режима стратификации водоема. Низкие значения GI (0.1-0.3) в основании разреза (слои 1-11) обусловлены активным перемешиванием водной толщи, препятствовавшим формированию устойчивого пикноклина. Выше по разрезу (слои 12-26) «пилообразные» изменения концентраций гаммацерана с высокой амплитудой указывают на нестабильный режим стратификации. В этот период периодическое установление плотностного барьера обеспечивало условия для развития специфических инфузорий-продуцентов. В кровле разреза (слои 27-31) значения GI (0.5-0.8), свидетельствуют об эпизодической стратификации водной толщи бассейна.

Схожая с GI динамика концентраций β-каротана ($C_{40}H_{78}$) (рис. 9з) указывает на взаимосвязь эпизодической стратификации и условий, способствовавших сохранению каротиноидов. Наряду с фитопланктоном, вырабатывающим широкий спектр каротиноидов $C_{40}$, их источником могли быть зеленые несерные бактерии Chloroflexaceae, являющиеся факультативными анаэробами [Brocks et al., 2005]. Сохранение углеродного скелета лабильных каротиноидов в породах возможно лишь в резко восстановительных условиях при полном отсутствии кислорода [Brassell et al., 1988], что указывает на формирование застойного придонного слоя, который мог возникать в периоды стратификации.

Локальные максимумы концентраций Ga и β-каротана в средней части разреза соответствуют увеличению количества раковин конхострак в захоронениях вплоть до появления ракушечных мостовых.

Дефицит кислорода подтверждается крайне низкими значениями отношения Pr/Ph в диапазоне 0.07-0.24 (табл. 2, рис. 9и). Подобные значения (Pr/Ph <<1) в изученном разрезе, вероятно,

указывают на условия с пониженным содержанием кислорода в придонном слое или осадке во время накопления и захоронения ОВ (рис. 14а). Концентрации пристана во всех пробах значительно меньше н-алкана $C_{17}$ (Pr/н-$C_{17}$=0.09-0.35), тогда как по интенсивности пик Ph может быть, как ниже, так и выше н-алкана $C_{18}$ (Ph/н-$C_{18}$=0.63-2.31). На диаграмме Коннана-Кассоу (рис. 14б) пробы находятся в нижней части графика, вне типичных диагностических областей, что может отражать уникальную комбинацию восстановительных условий и специфическую бактериальную переработку ОВ.

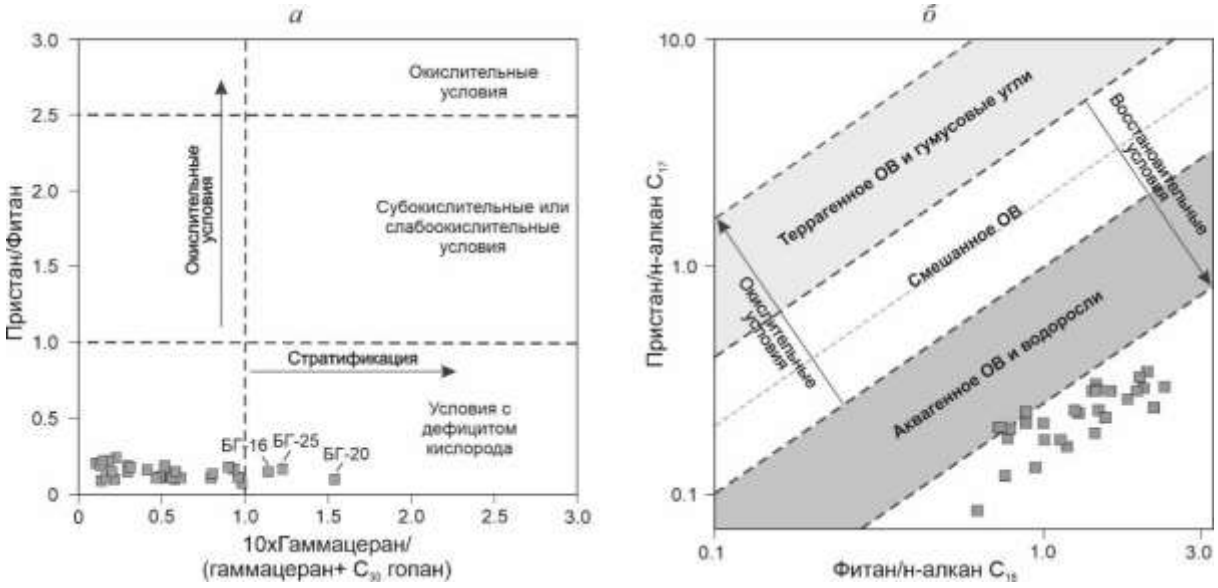



**Рис. 14.** Диаграммы зависимостей отношений пристан/н-алкан $C_{17}$ от фитан/н-алкан $C_{18}$ (*а*) и пристан/фитан от гаммацеранового индекса (*б*) в насыщенных фракциях битумоидов доронинской свиты.

Формирование «бумажных сланцев» (слои 12, 14, 16, 18, 20, 26, 30) происходило в условиях устойчивой стратификации водной толщи озера, на что указывают локальные максимумы индекса GI и концентраций β-каротана (см. рис. 11). Наличие пикноклина ограничивало циркуляцию водной толщи и препятствовало поступлению кислорода в гиполимнион. Возникающая аноксия в придонном слое исключала жизнедеятельность бентосных организмов, предотвращая биотурбацию, что способствовало сохранению ритмичной тонкослоистой текстуры отложений.

Несмотря на восстановительные условия, для слоев с «бумажными сланцами» характерны пониженные содержания $C_{орг}$ (2.1-4.0%), обогащенного изотопом $^{12}C$, дефицит водорода (HI = 150-325 мг УВ/г $C_{орг}$) и увеличение доли кислородсодержащих функциональных групп (OI = 54-88 мг $CO_2$/г $C_{орг}$). Обеднение ОВ лабильными липидами на фоне пониженного содержания кислорода объясняется снижением первичной продуктивности и интенсивной деструкцией специфической биотой (включая метилотрофов) в редокс зоне пикноклина. Участие прокариотических организмов подтверждается повышенными концентрациями терпановых (главным образом гопанов $C_{29}$ и $C_{30}$) соединений относительно н-алканов (рис. 12б).

Разрушение плотностного барьера сопровождалось высвобождением накопленных питательных веществ в фотическую зону. Этот процесс стимулировал всплески первичной биопродуктивности, что подтверждается резким ростом значений $C_{орг}$ и HI в слоях, залегающих непосредственно выше «бумажных сланцев».

## УГЛЕРОДНО-ИЗОТОПНАЯ ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ

Величины $\delta^{13}C_{орг}$ варьируют от -31.6 до -22.1‰. Максимальные значения установлены в 26 м от основания разреза (-22.1‰). Минимальные значения установлены в 1.5 м от основания разреза (-31.6‰). В целом наблюдается постепенный рост значений $\delta^{13}C_{орг}$ от нижней к средней части разреза,

где значения $\delta^{13}C_{орг}$ достигают максимума, с резким снижением значений от -26.0‰ до -30.5‰ в верхней части разреза. Такое поведение кривой вариаций $\delta^{13}C_{орг}$ характерно для интервала сегментов C2–C3 барремско-аптской изотопной углеродной кривой эталонного разреза Cismon (Италия) [Menegatti et al., 1998]. При этом сегмент C2 в изученном разрезе начинается с части, отражающей положительное восстановление значений $\delta^{13}C_{орг}$. Интервал, соответствующий смене положительной динамики, завершающейся пиком, на отрицательную тенденцию (пограничная часть сегментов C1 и C2), здесь не установлен. Наблюдаемый довольно высокий разброс величин $\delta^{13}C$ при общем преобладании относительно высоких значений устойчиво регистрируется во многих регионах мира, включая морские разрезы на северо-западе Германии [Bornemann et al., 2023], Италии [Menegatti et al., 1998; Luciani et al., 2006; Amodio and Weissert, 2017], Испании [Aguado et al., 2014, 2022; Castro et al., 2019; Sanchez-Hernandez and Maurrasse, 2014], Шпицбергена [Midtkandal et al., 2016], Тибета [Chen et al., 2017], а также континентальные разрезы Китая [Suarez et al., 2013; Zhang et al., 2021] (рис. 15). Резкое снижение значений $\delta^{13}C_{орг}$ в верхней части разреза может соответствовать переходу от сегмента C2 к сегменту C3, начало которого соответствует негативному экскурсу изотопной кривой. Большинство исследователей сопоставляет сегмент C2 с переходным барремско-аптским интервалом, а сегмент C3 – с началом раннеаптского океанического аноксидного события OAE1a. Таким образом, полученная изотопная $\delta^{13}C_{орг}$ кривая для разреза Белая Гора может служить дополнительным непалеонтологическим обоснованием в пользу позднебарремского–раннеаптского возраста.

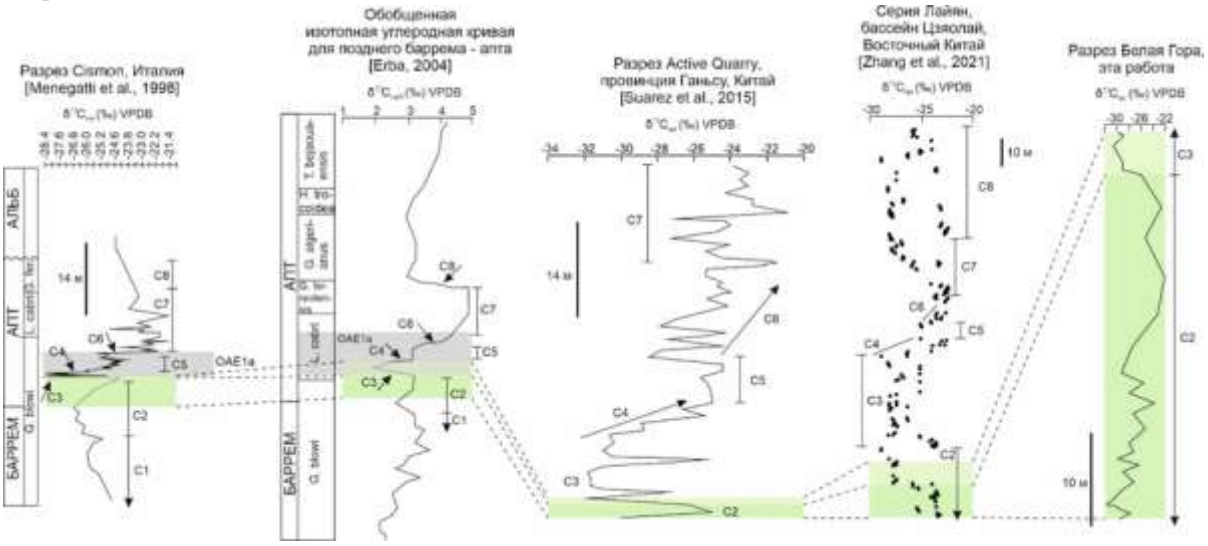



**Рис. 15.** Сопоставление $\delta^{13}C$ кривой разреза Белая Гора с кривыми других регионов.

**РЕЗУЛЬТАТЫ U-PB ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ЦИРКОНА**

Из образца песчаника SM-1 (верхняя часть слоя 23) было выделено более 120 зерен циркона. Мелкий размер зерен, наличие трещин и включений позволили сделать датировки только по 82 зернам циркона. Три зерна были исключены при построении гистограммы и кривой плотности вероятности по причине дискордантности более 10%. Результаты датирования образца SM-1 приведены в приложении 1.

Зерна циркона из образца SM-1 представлены кристаллами и их обломками до средней степени окатанности. Зерна имеют различный размер от относительно мелких (50-75 мкм) до крупных длиной более 200 мкм. Согласно катодолюминесцентным изображениям в пробе почти все зерна циркона обладают осцилляторной зональностью (рис. 16а).

В породе доминируют мезозойские зерна (86% - 68 зерен), палеозойские зерна составляют 14 % (11 зерен) (рис. 16а). Среди палеозойских зерен циркона преобладают девонские, которые образуют статистически значимые пики 415 (6 зерен) и 372 (3 зерна) млн лет, что соответствует

раннему и позднему девону соответственно. Также присутствуют единичные зерна раннеордовикского и раннекаменноугольного возрастов. Мезозойские зерна образуют три возрастных популяции. Раннеюрская популяция состоит из восьми зёрен циркона и образует статистически значимый пик 193 млн лет. Доминирующая популяция в породе (67%-53 зерна) образует возрастной пик 165 млн лет, что соответствует средней юре. Самая молодая популяция зерен циркона выделяется по четырем зернам со средневзвешенным значением возраста в пределах ошибки 2s – 127.9±2.2 млн лет (рис. 16а, б). Данная оценка отвечает готеривскому веку раннего мела [Cohen et al., 2025].

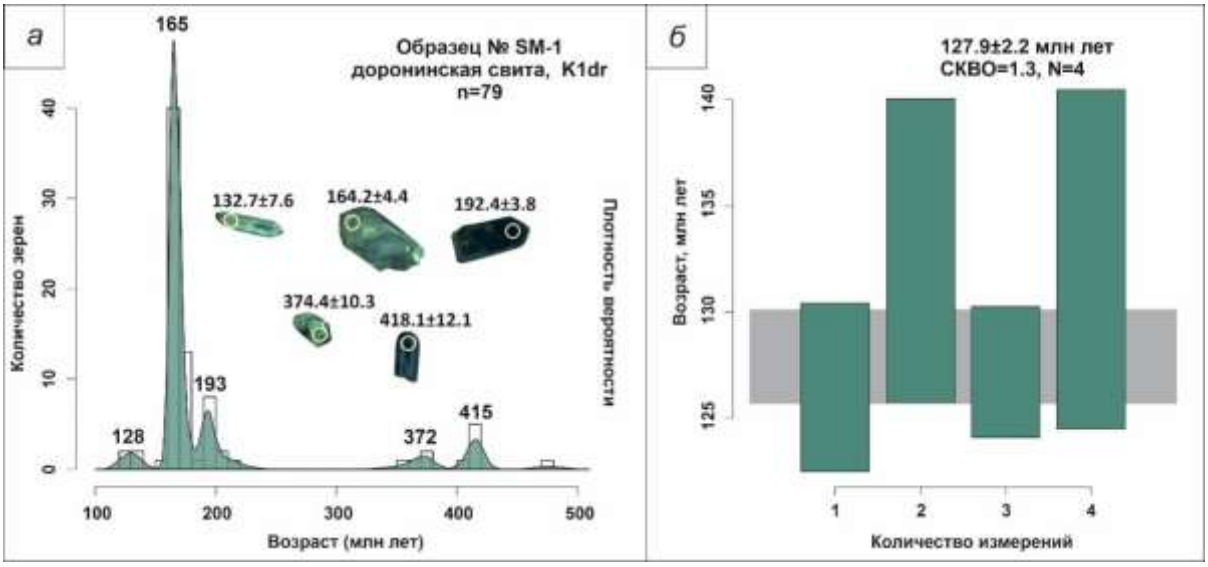



**Рис. 16.** (А) График плотности вероятности, гистограмма распределения возрастов обломочных зерен циркона и катодолюминесцентные изображения зерен циркона с кратерами лазерной абляции (желтый круг с диаметром 35 мкм) в образце SM-1. Цифрами подписаны возрасты в млн лет, n – количество конкордантных определений возраста в пробе. (Б) График средневзвешенного значения возраста самой молодой популяции зерен циркона в образце SM-1.

Реконструкция источников сноса для рассматриваемого региона осложняется широким распространением на данной территории разнообразных магматических комплексов при их относительно слабой геохронологической изученности – возраст многих интрузивных комплексов и вулканогенных свит принимается условно как палеозойский без уточнения периода. Источником сноса для наиболее древней популяции зерен циркона раннедевонского возраста (пик 415 млн лет) вероятнее всего являются надсубдукционные комплексы палеозойской Хэнтей-Даурской островной дуги, формирующей основание Хэнтей-Даурской структурно-формационной зоны [Gordiernko et al., 2018]. Позднедевонская популяция зерен циркона (пик 372 млн лет), является результатом разрушения гранитоидов олекминского комплекса, широко распространённых в изучаемом районе. Возраст гранодиоритов олекминского комплекса согласно последним результатам U-Pb датирования равен 371±4 и 364±5 млн лет [Dril et al., 2024]. Раннеюрские возраста с пиком 193 млн лет, вероятнее всего, обеспечиваются разрушением гранитоидов кыринского комплекса, локализованных в восточном борту Елизаветинской впадины, U-Pb возраст которых, согласно результатам геологической съёмки, устанавливается в 196±5 млн лет. Наиболее представительная популяция цирконов среднеюрского возраста с пиком 165 млн лет, вероятнее всего, связана с породами средне-верхнеюрской джаргалантуйской свиты, представленными в нижней подсвите основными и средними вулканитами, а в верхней подсвите – кислыми вулканитами, залегающими в основании и по периферии доронинской свиты [Пехтерев и др., 2012]. Также этому возрасту соответствует время формирования гранитоидов шахтаминского комплекса в пределах сопряжённой Агинской зоны [Naryzhnova et al., 2023]. Возраст самой молодой популяции цирконов из песчаников Елизаветинской

впадины равен 127.9±2.2 млн лет, что отвечает готеривскому веку раннего мела [Cohen et al., 2025]. Это указывает на то, что возраст пород доронинской свиты не древнее готеривского века, что соотносится с позднебаррем–аптским возрастом свиты, установленном на основании палеонтологического материала.

**ПАЛЕООБСТАНОВКИ**

Описанная выше совокупность литологических характеристик разреза позволяет сделать выводы относительно условий осадконакопления. Достаточно выдержанный пелитовый состав разреза указывает на преобладание пелагической седиментации в относительно спокойных гидродинамических условиях. Тонкая ритмичная ленточная слоистость указывает на периоды существенного влияния сезонности на условия осадконакопления. Ее локальная распространенность и деформированность до нечеткости представляются следствием постседиментационных локальных дислокаций и, вероятно, отчасти – криптобиотурбации. Отсутствие выраженной градационной слоистости может указывать на специфический профиль озера, из-за которого не происходило образование и распространение гравитационных течений (плотностных потоков), или же они также были уничтожены постседиментационными деформациями. Изменение содержания терригенной примеси в средней части разреза указывает на небольшую активизацию привноса терригенного материала, например, в результате увеличения водного притока (в весенне-осенние сезоны или при гумидизации климата), приближение источника обломочного материала или изменение комплекса механизмов его поступления в озеро.

Изученные комплексы микрофоссилий позволяют реконструировать неглубокое пресноводное проточное озеро, в которое эпизодически поступало значительное количество питательных веществ.

По соотношению наземных и озерных палиноморф в разрезе хорошо выделяются два этапа: низкого стояния озера (слои 1–11, общая мощность 6.5 м) и более высокого (слои 12–30, общая мощность около 35 м). Переход от первого ко второму этапу эволюции озера, скорее всего, является свидетельством гумидизации климата.

Анализ баррем-аптских спорово-пыльцевых комплексов на территории Забайкалья и соседних регионов показывает, что пыльца покрытосеменных отмечается в них не всегда [Косенко и др., 2023]. Тем не менее, следует отметить, что ее присутствие характерно для комплексов тургинского типа (тип 1) с обилием мешковой пыльцы хвойных, к которому следует отнести и спорово-пыльцевой комплекс разреза Белая Гора. Такие комплексы установлены в озерных отложениях в верховьях р. Витим, Тургино-Харанорской и Ингодинской впадинах [Косенко и др., 2023]. Состав этих спорово-пыльцевых комплексов, очевидно, отражает растительность более возвышенных участков Даурской низменности, которая восстанавливается на территории Забайкалья на основе комплексных геологических исследований [Атлас, 1968]. Для нее было характерно большое разнообразие хвойных, представленных древесными формами: вольциевых, подозамитовых, араукариевых, кипарисовых, древних сосновых. Среди последних особенно разнообразны елеподобные формы. Лиственные формы, представленные гинкговыми/цикадовыми и, возможно, первыми покрытосеменными, были менее распространены. Отметим, что сегодня большое разнообразие древесной растительности характерно для тайги южного типа, которая произрастает в Приморском крае и на севере Китая, где в горных лесах также наблюдается наибольшее разнообразие елей [Жизнь растений, 1978]. Тип растительности позволяет предположить, что климат Забайкалья был умеренно влажный и теплый, переходный к субтропическому.

**ВЫВОДЫ**

Из разреза Белая Гора изучен комплекс макрофауны, состоящий из насекомых, конхострак и рыб. Среди представителей этого комплекса наиболее важное значение для определения возраста имеют поденки *Ephemeropsis*, конхостраки *Eosestheria* и рыбы *Lycoptera* (комплекс *EEL*), являющиеся

«ядром» китайской биоты Джехол и характеризующие ее среднюю и позднюю эволюционные фазы. Барремский–аптский возраст этого комплекса в Северо-Восточном Китае установлен на основании многочисленных радиоизотопных датировок. Доминирование в ихтиокомплексе костистых рыб *Irenichthys* вместе с редкими *Lycoptera*, позволяет коррелировать осадочную толщу, вскрытую в разрезе Белая Гора, с верхами формации Исянь (датируется поздним барремом) и низами формации Цзюфотан (датируется в пределах позднего баррема – раннего апта). На позднебарремско-раннеаптский возраст указывают также комплексы флоры и остракод, в спорово-пыльцевых комплексах – редкая пыльца покрытосеменных. Полученная для разреза Белая Гора кривая вариаций $\delta^{13}C_{орг}$ сопоставляется с большей частью сегмента С2 и, как минимум, с началом сегмента С3 барремско-аптской изотопной углеродной кривой. Кроме того, судя по установленной последовательности палиноморф, начиная с уровня 6.5 м от основания разреза, обнаруживаются признаки гумидизации климата, которая в различных регионах приходится на апт. Изменения в составе палинокомплексов в переходном барремско-аптском интервале, отражающие гумидификацию, прослеживаются на широкой территории, включая Сибирь, европейскую часть России, Кавказ, Крым, Среднюю Азию, и давно используются палинологами для расчленения этих ярусов (Атлас…, 1964; Ярошенко, 1965; Шрамкова, 1970; Маркова, 1971; Споры…, 1971; и др.). В палинологических спектрах это выражается по-разному в зависимости от климата и местных особенностей растительных сообществ: сокращение количества *Classopollis* spp., увеличение количества и разнообразия спор влаголюбивых папоротников и плаунов и др. Точный стратиграфический уровень этих изменений пока не установлен и, видимо, может варьировать в разных районах в пределах пограничного барремско-аптского интервала.

Таким образом, совокупность полученных данных указывает на переходный барремско-аптский (возможно, преимущественно раннеаптский) возраст формирования разреза Белая Гора. Этой датировке не противоречит готеривский возраст самой молодой популяции детритовых зерен циркона из линз песчаников в верхней части разреза. Установленный позднебарремский–раннеаптский возраст изученного разреза распространяется не на всю доронинскую свиту, а лишь на ее верхнюю часть в Елизаветинской впадине.

На основе интерпретации полученных палеонтологических, палинологических, седиментологических и геохимических данных по разрезу Белая Гора реконструируется неглубокое проточное озеро со спокойной гидродинамикой. Состав спорово-пыльцевых и флористических комплексов позволяет восстановить окружавшую Белогорское палеоозеро растительность и климат. В составе растительности доминировали хвойные, среди которых наиболее разнообразны елеподобные формы. Лиственные формы были представлены гинкговыми, лептостробовыми и беннеттитовыми. В формировании нижних этажей растительности участвовали папоротники, хвощи и мохообразные. Такая флора существовала в условиях сезонного теплоумеренного климата.

Органическое вещество доронинской свиты характеризуется широким диапазоном концентраций $C_{орг}$, которые контролировались биопродуктивностью экосистемы водоема и бактериальной переработкой ОВ. Основными источниками автохтонного ОВ являлись погруженные («мягкая» водная растительность) и полупогруженные водоросли-макрофиты, фитопланктон (в том числе водоросли рода *Botryococcus)*, в меньшей степени – бактериальные сообщества; доля аллохтонного материала высшей наземной растительности с окружающей суши была существенной и менялась незначительно. Накопление ОВ происходило в условиях пресноводного озерного бассейна, характеризовавшегося дефицитом сульфатов. Степень зрелости ОВ соответствует градации протокатагенеза $ПК_3$.

**БЛАГОДАРНОСТИ И ФИНАНСИРОВАНИЕ**

Полевые исследования проводились в 2021 г. при поддержке гранта на полевые исследования Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), а в 2024 г. – при поддержке и для решения задач в рамках гранта РНФ № 22-17-00228 (https://rscf.ru/project/22-17-00228/) на базе ИНГГ СО РАН. Исследование флористических комплексов (частично), детальные петрографические исследования, а также обобщение результатов

этих работ с результатами комплексных палеонтологических, седиментологических, геохимических исследований и U-Pb датировки зерен циркона выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-77-10059 (https://rscf.ru/project/25-77-10059/) на базе ИНГГ СО РАН. Исследования проведены при научно-методическом сопровождении проектов FWZZ-2026-0033, FWZZ-2026-0042, FWZZ-2026-0043 и № 121031500274-4 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**ЛИТЕРАТУРА**

**Абрамова Л.Н. (1970).** Раннемеловая флора Жиганского и прилегающих районов Ленского бассейна // Учен. зап. НИИГА. Палеонтол. и биостратиграф., вып, 29, с. 36-57.

**Атлас нижнемеловых спорово-пыльцевых комплексов некоторых районов СССР. (1964)**. Ред. И.М. Покровская, Н.К. Стельмак. Труды ВСЕГЕИ, Новая сер., т. 124. М., Недра, 552 с.

**Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. (1968).** Ред. А.П. Виноградов. М., ГУГК, т. 3, 77 л.

Атлас фауны и флоры Забайкалья (2002). Ред. А.В. Куриленко, Г.В. Котляр, А.В. Кульков и др. Новосибирск, Наука, 714 с.

**Бугдаева Е.В. (1983).** Новый род по листьям из меловых отложений Восточного Забайкалья // Палеоботаника и фитостратиграфия Востока СССР. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, с. 44-47.

**Вахрамеев В.А. (1958).** Стратиграфия и ископаемая флора юрских и меловых отложений Вилюйской впадины и прилегающей части Приверхоянского краевого прогиба. // Региональная стратиграфия СССР. Л., Изд-во АН СССР, т. 3, 136 с.

**Вахрамеев В.А. (1962).** Новые раннемеловые цикадофиты Якутии // Палеонтол. журн., № 3, с. 123-129.

**Вахрамеев В.А. (1988).** Юрские и меловые флоры и климаты Земли. М., Наука, 214 с.

**Вахрамеев В.А., Котова И.З. (1977).** Древние покрытосеменные и сопутствующие им растения из нижнемеловых отложений Забайкалья // Палеонтол. журнал, № 4, с. 101-109.

**Ермакова Я.С., Павленко Л.Ф., Барабашин Т.О., Боровков А.Б., Новикова Т.М. (2002).** Состав углеводородов в липидных фракциях массовых видов фитопланктона Азовского и Черного морей // Океанология, т. 60, № 4, с. 556-563, DOI:10.31857/S0030157420040097.

**Жизнь растений. (1978)**. М., Просвещение, т. 4, 656 с.

**Киричкова А.И., Носова Н.В. (2025).** Региональные стратиграфические схемы континентальных отложений бата-верхней юры и нижнего мела Ленского бассейна, Восточная Сибирь // Стратиграфия. Геологическая корреляция, т. 33, № 1, с. 97–108.

**Кодрул Т.М., Костина Е.И., Гэрэлцэцэг Л., Герман А.Б., Александрова Г.Н., Моисеева М.Г., Альберг А. (2011).** Раннемеловые флористические комплексы Центральной Монголии // Эволюция органического мира в палеозое и мезозое. Сборник научных работ. СПб., Изд-во «Маматов», с. 96-104.

**Косенко, И.Н., Пещевицкая, Е.Б., Ефременко, В.Д., Метелкин, Е.К., Ян, П.А., Родченко, А.П., Никитенко, Б.Л., Мирзабаев, Д.А. (2025).** Тургинский лагерштетт (обнажение Миддендорфа, Восточное Забайкалье, баррем-апт): Стратиграфическое положение и палеообстановки // Геология и геофизика, т. 64, с. 1628–1653. DOI: 10.15372/GiG2023143

**Красилов В.А. (1967).** Раннемеловая флора Южного Приморья и ее значение для стратиграфии. М., Наука, 264 с.

**Красилов В.А. (1972).** Мезозойская флора реки Буреи (Ginkgoales и Czekanowskiales). М., Наука, 150 с.

**Куриленко А.В., Лиханов В.Д., Карасев В.В., Ядрищенская Н.Г., Киреева Л.Г., Соломонов П.Г. (2015).** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000 (издание второе). Серия Даурская. Лист M-49-XI – Доронинское. Объяснительная записка. СПб., Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 94с.

**Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. (2006).** Пресноводные раковинные амебы. М., Товарищество научных изданий КМК, 300 с.

**Маркова Л.Г. (1971).** История развития раннемеловой флоры Западно-Сибирской низменности (по данным палинологии). М., Недра, 100 с.

**Несов Л.А. (1997).** Неморские позвоночные мелового периода северной Евразии. М., БИН РАН, 269 с.

**Несов Л.А., Старков А.И. (1992).** Меловые позвоночные из Гусиноозерской котловины Забайкалья и их значение для определения возраста и условий образования отложений // Геология и геофизика, т. 33, с. 10–19.

**Никитенко Б.Л. (2009).** Стратиграфия, палеобиогеография и биофации юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). Новосибирск, Параллель, 680 с.

**Пехтерев С.Н., Нечепаев Е.В., Артамонова Н.А., Вологдин М.А. А.А. Духовский, Ф.И. Еникеев, С.В. Кожунова, О.Н. Круткина, Т.А. Ступина, М.Е. Четвериков, Г.М. Шор (2012).** Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист M-49 – Петровск-Забайкальский. Объяснительная записка. СПб., Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 438 с. + 4 вкл.

**Пещевицкая Е.Б. (2010).** Диноцисты и палиностратиграфия нижнего мела Сибири. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 230 с.

**Пещевицкая Е.Б. (2018).** Палинологические последовательности готерива—альба на территории Гыданского района (север Западной Сибири) // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Материалы Девятого Всероссийского совещания. Белгород, ПОЛИТЕРРА, с. 218—221.

**Писцов Ю.П. (1968).** Верхнемезозойские озерные бассейны Центрального и Восточного Забайкалья // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М., Наука, с. 22–38.

**Решения 4-го межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Хабаровск, 1990). (1994).** Ред. М.Т. Турбин, В.А. Бажанов, Г.В. Беляева, В.Ю. Забродин, Г.В. Роганов. Хабаровск, ХГГГП, 124 с., 38 схем.

**Самылина В.А. (1976).** Меловая флора Омсукчана (Магаданская область). Л., Наука, 207 с.

**Синица С.М., Вильмова Е.С., Вильмова Е.С. (2014).** Геологические памятники «Белая Гора» и «Красная Горка» в Забайкалье: общность и отличие стратиграфии, палеонтологии и палеореконструкций // Вестник ЗабГУ, № 7, с. 49–64.

**Скобло В.М., Лямина Н.А., Руднев А.Ф., Лузина И.В. (2001)**. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья (стратиграфия, условия осадконакопления, корреляции). Новосибирск, изд-во СО РАН, 332 с.

**Споры и пыльца юры и нижнего мела Центральной Азии. (1971).** М., Недра, 214 с.

**Сребродольская И.Н. (1983а).** Два новых раннемеловых вида рода *Equisetum* (Equisetaceae) из Забайкалья // Ботан. журн., т. 68, № 9, с. 1249-1254.

**Сребродольская И.Н. (1983б).** Новые раннемеловые растения из Забайкалья // Палеонтол. журн., № 4, с. 117-120.

**Стрепетилова В.Г., Пуртова С.И., Поповичева Л.В. (1982).** Расчленение и корреляция нижнемеловых отложений севера Западно-Сибирской равнины по новым палинологическим данным // Стратиграфия и фации фанерозоя Западной Сибири. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, с. 21—28.

**Тиссо Б., Вельте Д.** Образование и распространение нефти. М., Мир, 502 с.

**Фитостратиграфия и флора юрских и нижнемеловых отложений Ленского бассейна. (1985)**. Л., Недра, 223 с.

**Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И., Драгунов В.И., Патрунов Д.К., Кузнецов В.Г., Беленицкая Г.А., Куриленко В.В., Петровский А.Д., Кондитеров В.Н., Баженова Т.К., Жданов В.В., Щербаков Ф.А., Щербакова М.Н., Мизенс Г.А., Цейслер В.М., Трифонов Б.А., Верба Ю.Л., Ильин К.Б. (1998).** Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов. СПб, Недра, 352 с.

**Шрамкова Г.В. (1970).** Спорово-пыльцевые комплексы юры и нижнего мела Воронежской антеклизы и их стратиграфическое значение. Воронеж, ВГУ, 103 с.

**Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1988).** Геохимия черных сланцев. Л., Наука, 271 с.

**Яковлев, В.Н. (1968).** Ихтиофауна мезозойских озер Сибири / Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М., Наука, с. 189–202.

**Яковлев, В.Н., Сычевская, Е.К. (1985).** Рыбы / Юрские континентальные биоценозы Южной Сибири и сопредельных территорий. М., Наука, с. 132–136.

**Ярошенко О.П. (1965).** Спорово-пыльцевые комплексы юрских и нижнемеловых отложений Северного Кавказа и их стратиграфическое значение. М., Наука, 108 с.

**Aguado R., de Gea G.A., Castro J.M., O'Dogherty L., Quijano M.L., Naafs B.D.A., Pancost R.D. (2014).** Late Barremian – early Aptian dark facies of the Subbetic (Betic Cordillera, southern Spain):

Calcareous nannofossil quantitative analyses, chemostratigraphy and palaeoceanographic reconstructions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 395, p. 198-221, DOI:10.1016/j.palaeo.2013.12.031.

**Aguado R., Company M., O'Dogherty L., Sandoval J., Martinez M. (2022).** New insights into the Barremian-lower Aptian calcareous nannofossils of the Mediterranean Tethys: Chronostratigraphic and paleobiogeographic implications // Marine Micropaleontology, v. 173, 102114, DOI:10.1016/j.marmicro.2022.102114

**Amodio S., Weissert H. (2017).** Palaeoenvironment and palaeoecology before and at the onset of Oceanic Anoxic Event (OAE) 1a: Reconstructions from Central Tethyan archives // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 479, p. 71-89, DOI: 10.1016/j.palaeo.2017.04.018.

**Averianov A., Sizov A., Grigoriev D., Kolchanov V., Skutschas P. (2025).** A sauropod *Tengrisaurus starkovi* from the Lower Cretaceous of Transbaikalia, Russia, and Asiatic origin of Titanosauria. Cretaceous Research, v. 181, 106271, DOI:10.1016/j.cretres.2025.106271

**Berner R.A. (1983).** Sedimentary pyrite formation: An update // Geochim. Cosmochim. Acta, v. 48, p. 605–615, DOI: 10.1016/0016-7037(84)90089-9.

**Bornemann A., Erbacher J., Blumenberg M., Voigt S. (2023).** A first high-resolution carbon isotope stratigraphy from the Boreal (NW Germany) for the Berriassian to Coniacian interval – implications for the timing of the Aptian-Albian boundary // Front. in Earth Sci., v. 11, 1173319, DOI: 10.3389/feart.2023.1173319.

**Brassell S.C., Eglinton G., Sheng G., Fu J. (1988).** Biological markers in lacustrine Chinese oil shales //Lacustrine Petroleum Source Rocks / Eds. K. Kelts, A.J. Fleet, M. Talbot. London, Blackwell, p. 299-308.

**Brocks J.J., Love G.D., Summons R.E., Knoll A.H., Logan G.A., Bowden S.A. (2005).** Biomarker evidence for green and purple sulphur bacteria in a stratified Paleoproterozoics sea // Nature, v. 437, p. 866–870, DOI:10.1038/nature04068.

**Bugdaeva E.V., Golovneva L.B. (2025).** Siberian Jehol Biota // Cretaceous Project 200 Volume 2: Regional Studies / Eds. M.B. Hart, S.J. Batenburg, B.T. Huber, G.D. Price, N. Thibault, M. Wagreich and I. Walaszczyk. Geological Society, London, Special Publications, v. 545, DOI:10.1144/sp545-2023-155

**Bugdaeva E.V., Markevich V.S. (2012).** The Age of *Lycoptera* Beds (Jehol Biota) in Transbaikalia (Russia) and Correlation with Mongolia and China // Bernissart dinosaurs and Early Cretaceous terrestrial ecosystems / Ed. P. Godefroit. Bloomington, Indiana University Press, p. 453–464.

**Castro J.M., de Gea G.A., Quijano M.L., Aguado R., Froehner S., Naafs B.D.A., Pancost R.D. (2019).** Complex and protracted environmental and ecological perturbations during OAE 1a – Evidence from an expanded pelagic section from south Spain (Western Tethys) // Global and Planetary Change, v. 183, 103030, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103030.

**Chang M., Liu C. (1977).** Two primitive Euteleostei: Manchurichthys and Sungarichthys // Vert. PalAsiat, v. 15 (3), p. 184–193.

**Chang, M., Miao, D. (2004).** An overview of Mesozoic fishes in Asia / Mesozoic Fishes 3 – Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity, München, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, pp. 535–563.

**Chen X., Idakieva V., Stoykova K., Liang H.M., Yao H.W., Wang C.S. (2017).** Ammonite biostratigraphy and organic carbon isotope chemostratigraphy of the early Aptian oceanic anoxic event (OAE 1a) in the Tethyan Himalaya of southern Tibet // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 485, p. 531-542, DOI:10.1016/j.palaeo.2017.07.010.

**Cohen K., Harper D., Gibbard P., Car N. (2025).** The ICS international chronostratigraphic chart this decade // Episodes, v. 48, 105 – 115. DOI:10.18814/epiiugs/2025/025001.

**Difan H., Dajiang Z., Jinchao L. (1994).** The origin of 4-methyl steranes and pregnanes from Tertiary strata in the Qaidam Basin, China // Org. Geochem., v 22 (2), p. 343-348, DOI:10.1016/0146-6380(94)90180-5.

**Dril S.I., Kovach V.P., Kotov A.B., Wang K.-L., Larin A.M., Iizuka Y., Lee H.-Y. (2024).** Granodiorites of Olekminsky Complex of the Eastern Transbaikalia: U-Pb LA-ICP-MS Zircons Geochronology and Age Position of Complex // Geodynamics & Tectonophysics, v. 15 (1), 0740. DOI: 10.5800/GT-2024-15-1-0740

**Eglinton G., Gonzalez A.G., Hamilton R.J., Raphael R. A. (1962).** Hydrocarbon constituents of the wax coatings of plant leaves: a taxonomic survey / Phytochemistry, v. 1, p. 89-102.

**Erba E. (2004).** Calcareous nannofossils and Mesozoic oceanic events // Mar. Micropaleontol., v. 52, p. 85-106.

**Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. (2000).** An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Org. Geochem., v. 31, p. 745-749, DOI: 10.1016/S0146-6380(00)00081-4.

**Gao L., Hou J., Toney J., MacDonald D., Huang Y. (2011).** Mathematical modeling of the aquatic macrophyte inputs of mid-chain n-alkyl lipids to lake sediments: implications for interpreting compound specific hydrogen isotopic records // Geochim. Cosmochim. Acta, v. 75, p. 3781-3791, DOI: 10.1016/j.gca.2011.04.008.

**Grantham P.J., Wakefield L.L. (1988).** Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time // Org. Geochem., v. 12 (1), p. 61-73, DOI: 10.1016/0146-6380(88)90115-5.

**Goodwin N.S., Mann A.L., Patience R.L. (1988).** Structure and significance of $C_{30}$ 4-methyl steranes in lacustrine shales and oils Author links open overlay panel // Org. Geochem., v. 12 (5), p. 495-506, DOI: 10.1016/0146-6380(88)90159-3.

**Gordienko I.V., Minina O.R., Vetluzhskikh L.I., Medvedev A.Ya., Odgerel D. (2018).** Hentei-Dauria fold system of the Mongolia-Okhotsk belt: magmatism, sedimentogenesis, and geodynamics // Geodynamics & Tectonophysics, v. 9 (3), p. 1063–1097. DOI: 10.5800/GT-2018-9-3-0384.

**Huang W.Y., Meinschein W.G. (1979).** Sterols as ecological indicators // Geochim. Cosmochim. Acta, v. 43, p. 739-745, DOI: 10.1016/0016-7037(79)90257-6.

**Kopylov D.S., Rasnitsyn A.P., Aristov D.S., Bashkuev A.S., Bazhenova N.V., Dmitriev V.Yu., Gorochov A.V., Ignatov M.S., Ivanov V.D., Khramov A.V., Legalov A.A., Lukashevich E.D., Mamontov Yu.S., Melnitsky S.I., Ogłaza B., Ponomarenko A.G., Prokin A.A., Ryzhkova O.V., Shmakov A.S., Sinitshenkova N.D., Solodovnikov A.Yu., Strelnikova O.D., Sukacheva I.D., Uliakhin A.V., Vasilenko D.V., Wegierek P., Yan E.V., Zmarzły M. (2020).** The Khasurty Fossil Insect Lagerstatte // Paleontological Journal, v. 54 (11), p. 1221–1394. DOI: 10.1134/S0031030120110027

**Kosenko I.N., Efremenko V.D., Metelkin E.K., Dzyuba O.S., Shurygin B.N., Kotler P.D., Kulikova A.V. (2024).** First Data on the Age of Zircon Grains from the Upper Mesozoic Leskovo Unit of the Unda-Daya Basin, Eastern Transbaikalia // Doklady Earth Sciences, v. 519, p. 2022–2026, DOI: 10.1134/S1028334X24603432

**Krassilov V.A. (1972)**. Phytogeographical Classification of Mesozoic Floras and their Bearing on Continental Drift // Nature, v. 237, p. 49-50.

**Krassilov V.A. (1982).** Early Cretaceous flora of Mongolia // Palaeontographica, Abt. B, Lfg. 1-3, p. 1-43.

**Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. (1982).** Achene-like fossils from the Lower Cretaceous of the Lake Baikal area. Review of Palaeobotany and Palynology, v. 36, p. 279-295. DOI: 10.1016/0034-6667(82)90023-9

**Liu, T. (1957).** A new Cretaceous palaeoniscoid fish from Yumen of the Chiuchuan Basin, western Kansu // Vert. PalAsiat, v. 1 (2), p. 103–122.

**Luciani V., Cobianchi M., Lupi C. (2006).** Regional record of a global oceanic anoxic event: OAE1a on the Apulia Platform margin, Gargano Promontory, southern Italy // Cretaceous Research, v. 27, p. 754-772, DOI: 10.1016/j.cretres.2006.01.003.

**Menegatti A.P., Weissert H., Brown R.S., Tyson R.V., Farrimond P., Strasser A., Caron M. (1998).** High-resolution $\delta^{13}C$ stratigraphy through the early Aptian 'Livello Selli' of the Alpine Tethys // Paleoceanography, v. 13, p. 530—545.

**Midtkandal I., Svensen H.H., Planke S., Corfu F., Polteau S., Torsvik T.H., Faleide J.I., Grundvåg S.-A., Selnes H., Kürschner, Olaussen S. (2016).** The Aptian (Early Cretaceous) oceanic anoxic event (OAE1a) in Svalbard, Barents Sea, and the absolute age of the Barremian-Aptian boundary // Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 463, p. 126 – 135, DOI: 10.1016/j.palaeo.2016.09.023.

**Moldowan J.M., Seifert W.K., Gallegos E.J. (1985).** Relationship between petroleum composition and depositional environment of source rocks // AAPG Bull., v. 69, p. 1255—1268, DOI: 10.1306/AD462BC8-16F7-11D7-8645000102C1865D.

**Naryzhnova, A.V., Khromykh, S.V., Kruk, N.N., Kotler P.D. (2023).** New Geochronological and Isotope Data on Mesozoic Granitoids of Eastern Transbaikalia // Dokl. Earth Sc., v. 510, 442–448, DOI: 10.1134/S1028334X23600378

**Palynology**: **principals and application. In 3 Volumes. (1996)**. Eds. Jansonius J., McGregor D.C. Salt Lake City, Publishers Press, v. 1, 452 p.

**Pan Y., Sha J., Zhou Z., Fürsich F.T. (2013).** The Jehol Biota: Definition and distribution of exceptionally preserved relicts of a continental Early Cretaceous ecosystem // Cretaceous Res., v. 44, p. 30–38, DOI: 10.1016/j.cretres.2013.03.007.

**Pestchevitskaya E.B., Smokotina I.V., Baykalova G.E. (2012).** Lower Valanginian palynostratigraphy of southeastern regions of Siberia, palaeoenvironment and vegetation reconstructions // J. Stratigr., v. 36 (2), p. 179–193.

**Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. (2005).** The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History, second ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1155 p.

**Pott C., McLoughlin S., Lindström A., Wu S.Q., Friis E.M. (2012).** *Baikalophyllum lobatum* and *Rehezamites anisolobus*: two seed plants with "cycadophyte" foliage from the Early Cretaceous of Eastern Asia // Int. J. Plant Sci., v. 173(2), p. 192–208, DOI: 10.1086/663276

**Qin Z., Xi D., Wagreich M., Sames B., Tong X., Hu J., Yu Z., Wan X. (2021).** Living environment of the early Jehol Biota: A case study from the Lower Cretaceous Dabeigou Formation, Luanping Basin (North China) // Cretaceous Res., v. 124, 104833, DOI: 10.1016/j.cretres.2021.104833.

**Sanchez-Hernandez Y., Maurrasse F. J.-M.R. (2014).** Geochemical characterization and redox signals from the latest Barremian to the earliest Aptian in a restricted marine basin: El Pui section, Organyà Basin, south-central Pyrenees // Chemical Geology, v. 372, p. 12-31. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.02.011

**Shi G.L., Herrera F., Herendeen P.S., Clark E.G., Crane P.R. (2022)**. Silicified cupulate seed-bearing structures from the Early Cretaceous of eastern Inner Mongolia, China: rethinking the corystosperm concept // Journal of Systematic Palaeontology, v. 20, No. 1, 2133644, DOI: 10.1080/14772019.2022.2133644

**Su, T. (1963).** A new species of Annethalion // Vert. PalAsiat, v. 7, p. 132–135.

**Suarez M.B., Ludvigson G.A., González L.A., Al-Suwaidi A.H., You H.-L. (2013).** Stable isotope chemostratigraphy in lacustrine strata of the Xiagou Formation, Gansu Province, NW China // Isotopic studies in Cretaceous Research. Geological Society, London, Special Publications, v. 382, p. 143 – 154,

**Sun G. (1993).** *Ginkgo coriacea* Florin from Lower Cretaceous of Huolinhe, Northeastern Nei Mongol, China // Palaeontographica, Abt. B, Lfg. 1-6, s. 159-168.

**Sun G., Zheng S.L., Dilcher D.L., Wang Y.D., Mei S.W. (2001).** Early angiosperms and their Associated Plants from Western Liaoning, China. Shanghai, Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House, 227 p.

**Sychevskaya, E.K. (2001).** First finds of Polyodontidae in the Early Cretaceous of Transbaikalia and Mongolia. In: Mesozoic Fishes, Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity. Switzerland, Serpiano, p. 61.

**The Jehol fossils: The emergence of feathered dinosaurs, beaked birds and flowering plants. (2008**) / Eds. M.-M. Chang, P.-J. Chen, Y. Wang, Y.-Q. Wang. Beijing, Academic Press, 208 p.

**van Aarssen B.G.K., Alexander R., Kagi R.I. (2000).** Higher plant biomarkers reflect palaeovegetation changes during Jurassic times // Geochem. Cosmochim. Acta, v. 64, p. 1417–1424, DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00432-9.

**Vaz Dos Santos Neto, E., Hayes J.M., Takaki T. (1998).** Isotopic biogeochemistry of the Neocomian lacustrine and Upper Aptian marine-evaporitic sediments of the Potiguar Basin, Northeastern Brazil // Org. Geochem., v. 28 (6), p. 361-381, DOI: 10.1016/S0146-6380(98)00007-2.

**Volkman J. (1986).** A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter // Org. Geochem., v. 9 (2), p. 83-99, DOI: 10.1016/0146-6380(86)90089-6.

**Volkman J. (2003).** Sterols in microorganisms // Appl. Microbiol. Biotechnol., v. 60, p. 495-506, DOI: 10.1007/s00253-002-1172-8.

**Zhang X., Li S., Wang X., Zhao X., Yin T. (2021).** Expression of the early Aptian Event (OAE) 1a in lacustrine depositional systems of East China // Global and Planetary Change, v. 196, 103370, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2020.103370.

**Zhou W., Zhang X., Wang A., Yang L., Gan Q., Yi L., Summons R.E., Volkman J.K., Lu Y. (2022).** Widespread sterol methyltransferase participates in the biosynthesis of both C4α- and C4β-methyl sterols // Journal of the American Chemical Society, v. 144 (20), p. 9023-9032, DOI:10.1021/jacs.2c01401.

**Zhou Z., Meng Q., Zhu R., Wang M. (2021).** Spatiotemporal evolution of the Jehol Biota: Responses to the North China craton destruction in the Early Cretaceous // PNAS, v. 118 (34), e2107859118, DOI: 10.1073/pnas.2107859118.

**Zhou Z., Barrett P.M., Hilton J. (2003).** An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem // Nature, v. 421, p. 807–814. DOI: 10.1038/nature01420