

ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ И МИКРОФОССИЛИИ ВЕРХНЕЙ ЮРЫ И НИЖНЕГО МЕЛА НИЗОВЬЕВ Р. ОЛЕНЕК

(северо-восточное обрамление Сибирской платформы, Арктическая Сибирь)

В.А. Каширцев^{1,2}, Б.Л. Никитенко^{1,2}, Е.Б. Пешевицкая¹, Е.А. Фурсенко^{1,2}, Н.П. Шевченко¹

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

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

В эталонном разрезе верхней юры и нижнего мела низовьев р. Оленек по материалам органической геохимии обособляются два уровня: нижний в объеме волжского яруса — низов бореального берриаса (диастереновый) и верхний: бореальный берриас—валанжин (гопановый). Волжские слои сложены глинами с обилием прازیнофитов *Leiosphaeridia*, *Tasmanites* и различными ассоциациями диноцист. Содержания органического углерода (C_{org}) здесь самые высокие — до 9 %. Среди алифатических углеводородов резко преобладают изопреноиды, в частности, пристан и фитан, более чем в 3 раза превышающие концентрации совместно элюирующихся *n*-алканов, что характерно для захороненного хлорофиллсодержащего планктона (диноцисты, прازیнофиты). Седиментологический, биофациальный и палеоэкологический анализы свидетельствуют, что эти высокоуглеродистые слои буолкалахской свиты формировались в условиях дефицита кислорода. Проведенный комплексный анализ позволил установить, что значения пристан/фитан не всегда достоверно отражают восстановительные или окислительные обстановки накопления и диагенеза ОВ. Это несоответствие геохимической диагностики органического вещества по отношению пристан/фитан с биофациальными и седиментологическими данными связано с его низкой катагенетической зрелостью. Волжский век знаменуется значительной трансгрессией Анабаро-Ленского моря, но в конце века и в бореальном берриасе начинается постепенная последовательная регрессия бассейна. Концентрации органического углерода в прибрежных и субконтинентальных осадках снижаются. В баланс молекул-биомаркеров исчезают диастерены и 4-метилдиастерены, возрастает роль гопаиноидов. Преобладают аэробные обстановки в придонных водах. Ранее в синхронных разрезах Анабарского залива (побережье моря Лаптевых) по геохимическим критериям были выделены три биомаркерных горизонта: терпановый, диастереновый и гопановый. В разрезе бассейна р. Оленек два верхних горизонта хорошо опознаются по специфичным биометкам, а нижний отсутствует в результате перерыва в осадконакоплении. Стратиграфический анализ положения этих геохимических уровней в разных частях (и батиметрических зонах) Анабаро-Ленского бассейна показывает диахронность их формирования. По всем геологическим и геохимическим критериям волжский ярус и низы бореального берриаса Анабаро-Ленского бассейна обладают хорошим нефтематеринским потенциалом, и, вероятно, в приосевой зоне прогиба и тем более на шельфе моря Лаптевых существовали вполне благоприятные условия для генерации и аккумуляции углеводородных скоплений, генетически связанных с верхнеюрскими высокоуглеродистыми породами.

Юра и мел, органическая геохимия, биомаркеры, микрофауна, наземные и морские палиноморфы, Арктическая Сибирь, Лено-Анабарский прогиб

ORGANIC GEOCHEMISTRY AND MICROFOSSILS OF THE UPPER JURASSIC AND LOWER CRETACEOUS STRATA IN THE LOWER REACHES OF THE OLENEK RIVER (northeastern framing of the Siberian Platform, Arctic Siberia)

V.A. Kashirtsev, B.L. Nikitenko, E.B. Pestchevitskaya, E.A. Fursenko, and N.P. Shevchenko

The organic-geochemistry data reveal two levels in the reference Upper Jurassic–Lower Cretaceous section of the lower reaches of the Olenek River: lower (Volgian–lower Boreal Berriasian (diasterene)) and upper (Boreal Berriasian–Valanginian (hopane)). The Volgian beds are composed of clays with abundant prasinophytes *Leiosphaeridia* and *Tasmanites* and various dinocyst associations and have the highest content of organic carbon (C_{org}), up to 9 %. Isoprenoids, in particular, pristane and phytane, are highly predominant among aliphatic hydrocarbons; their content is more than three times higher than that of coeluting *n*-alkanes, which is typical of buried chlorophyll-containing plankton (dinocysts and prasinophytes). Sedimentological, biofacies, and paleoecological analyses show that the highly carbonaceous beds of the Buolkalakh Formation formed under oxygen deficit conditions. An integrated analysis demonstrated that the pristane/phytane ratio not always reliably reflects the reducing or oxidizing conditions of organic-matter accumulation and diagenesis. The discrepancy between the geochemical identification of organic matter according to the pristane/phytane ratio and the biofacies and sedimentological data is due to the low catagenetic maturity of OM. The Volgian was marked

by a significant transgression of the Anabar–Lena sea, which was gradually changed by a successive regression of its basin at the end of this stage and in the Boreal Berriasian. The C_{org} contents in the coastal and subcontinental sediments decreased. Diasterenes and 4-methyldiasterenes disappeared from the balance of biomarker molecules, and the portion of hopanoids increased. Aerobic environments prevailed in the subbottom waters. Earlier, three biomarker horizons were identified according to geochemical criteria in the synchronous sections of Anabar Bay (Laptev Sea coast): terpane, diasterene, and hopane ones. In the section of the Olenek basin, the upper two horizons are well identified by specific biomarkers, and the lower one is absent because of the sedimentation break. Stratigraphic analysis of the location of these geochemical levels in different parts (and bathymetric zones) of the Anabar–Lena basin shows their diachronous formation. According to all geological and geochemical criteria, the Volgian Stage and the lower beds of the Boreal Berriasian Stage of this basin have a high petroleum potential. In the axial zone of the basin and, especially, on the Laptev Sea shelf, there were probably favorable conditions for the generation and accumulation of hydrocarbons genetically related to the Upper Jurassic highly carbonaceous rocks.

Jurassic and Cretaceous, organic geochemistry, biomarkers, microfauna, terrestrial and marine palynomorphs, Arctic Siberia, Lena–Anabar basin

ВВЕДЕНИЕ

С богатыми органическим веществом верхнеюрскими отложениями, сформировавшимися в Боральном и Арктическом бассейнах, связана нефтеносность и газоносность таких регионов, как Северное и Норвежское моря, Баренцевский шельф, Западная Сибирь [Leith et al., 1992; Конторович, 2004; Никитенко, 2009]. На севере Восточной Сибири (северное обрамление Сибирской платформы) верхнеюрские и меловые толщи широко развиты и относительно хорошо изучены в пределах окаймляющих ее краевых депрессий. Здесь разработаны параллельные зональные стратиграфические шкалы по разным группам макро-, микрофауны, морским и наземным палиноморфам [Стратиграфия..., 1976; Захаров и др., 1997; Шурыгин и др., 2000; Nikitenko et al., 2008, 2018; Пещевицкая, 2010; Никитенко и др., 2011, 2013, 2015а,б; Дзюба, 2012; Шурыгин, Дзюба, 2015; и др.].

Первоначально на месте краевых депрессий существовала карбонатная платформа, осложненная раннепротерозойскими рифтовыми структурами. В карбоне (визе) на окраине Сибирского кратона заложилась обширная пассивная континентальная окраина, которая в позднем мезозое в результате коллизии между Северо-Американской и Сибирской плитами трансформировалась в Верхояно–Колымскую складчатую систему с краевыми прогибами на периферии [Тектоника..., 2001].

В настоящем сообщении представлены результаты продолжения комплексных исследований юрских и меловых микробиот и рассеянного органического вещества (ОВ) в разрезах вдоль побережья моря Лаптевых и северного обрамления Сибирской платформы. Первые результаты геохимических исследований разрезов Анабарского залива уже опубликованы [Каширцев и др., 2018]. В этих разрезах по геохимическим критериям были выделены три биомаркерных горизонта: терпановый (верхи оксфорда—кимеридж), диастереновый (верхи средневожского подъяруса—основание валанжина) и гопановый (нижний валанжин), по преимущественному распространению тех или иных углеводородов-биомаркеров. Кроме того, одной из задач настоящего исследования наряду с детальной идентификацией молекул-биомаркеров являлась оценка изменчивости «геохимических фаций» и ассоциаций микрофоссилий как в вертикальном ряду, так и по латерали в Анабаро–Ленском бассейне.

Рассматриваемый в работе разрез расположен на платформенном крыле Лено–Анабарского прогиба в бассейне р. Оленек (рис. 1). Здесь мезозойские пласты залегают субгоризонтально или с пологим наклоном на север (1—3°) и представлены морскими образованиями триаса, юры и бореального берриаса, а также прибрежно-морскими, субконтинентальными и континентальными образованиями валанжина, готерива, апт—альба.

Верхнеюрская и нижнемеловая буолкалахская свита на левом берегу р. Оленек (см. рис. 1) залегают на алевролитах и песчаниках чекуровской свиты (средняя юра, бат) с базальной пачкой песков с линзами конгломератов (рис. 2). Мощность этой пачки в разных разрезах меняется от 0.3 до 2.0 м. Конгломераты сложены хорошо окатанной галькой, валунами песчаников и известковистыми конкрециями чекуровской свиты. Базальную пачку перекрывает толща черных тонкослоистых глин (вожский ярус—низы бореального берриаса), которая сменяется серыми глинами и алевритами верхней части бореального берриаса. Буолкалахская свита охарактеризована многочисленными остатками аммонитов, фораминифер, морских и наземных палиноморф [Nikitenko et al., 2018]. Вышележащая издесская свита (валанжин—нижний готерив) представлена мелководно-морскими, прибрежными и субконтинентальными светло-серыми песчаниками и серыми алевролитами.

Детальные микропалеонтологическая и палинологическая характеристики изученного разреза были опубликованы ранее [Nikitenko et al., 2018]. В этой и других работах [Никитенко, 2009; Пещевиц-

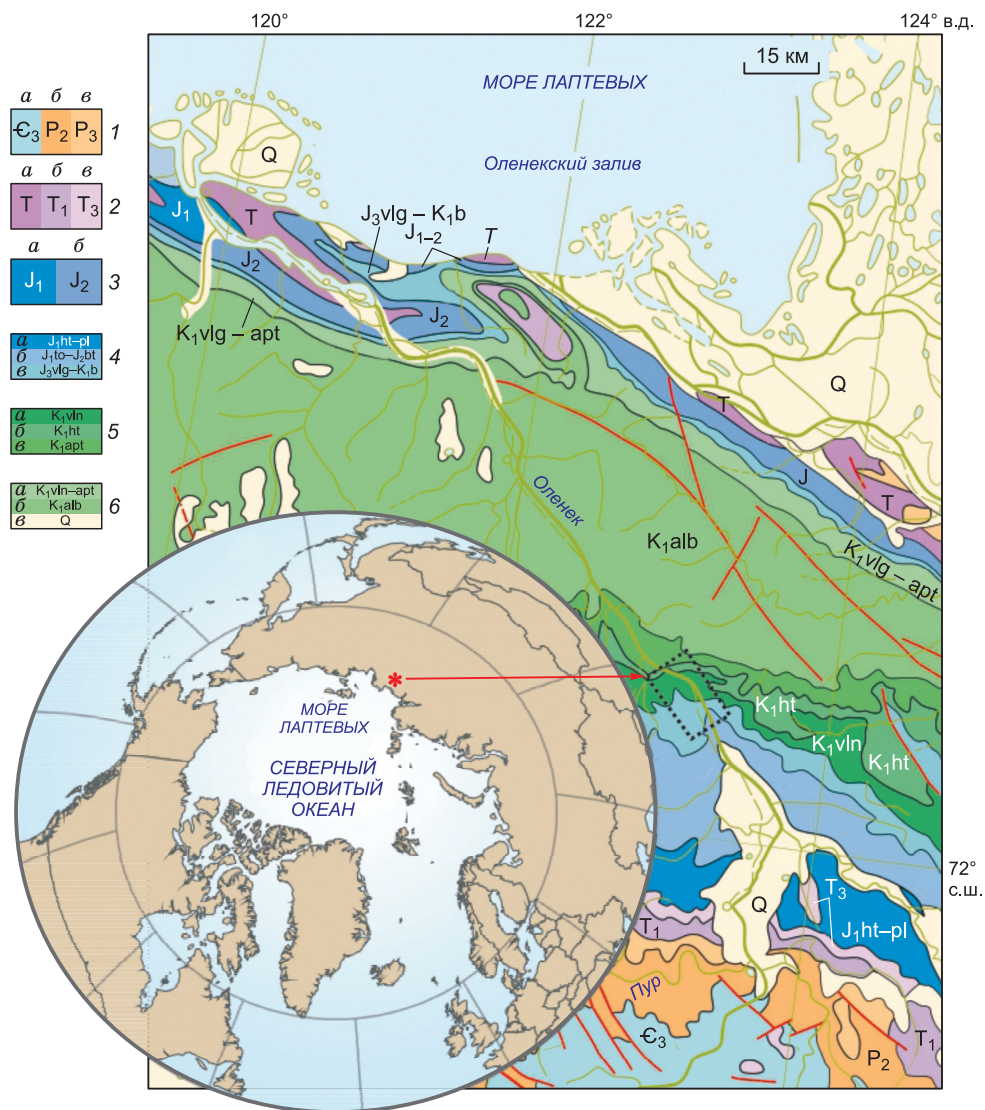


Рис. 1. Местоположение эталонного разреза верхней юры и нижнего мела на левом берегу р. Оленек (платформенное крыло Лено-Анабарского прогиба, по [Геологическая карта..., 2006] с изменениями).

1—6 — возрасты: 1 — кембрий (а), средняя пермь (б), верхняя пермь (в); 2 — триас (а), нижний триас (б), верхний триас (в); 3 — нижняя юра (а), средняя юра (б); 4 — геттанг—плинсбах (а), тоар—бат (б), волжский ярус—бореальный берриас (в); 5 — валанжин (а), готерив (б), апт (в); 6 — валанжин—апт (а), альб (б), квартал (в).

кая, 2010; Никитенко и др., 2013, 2015а, б] описаны методы подготовки образцов к микропалеонтологическому и палинологическому анализам и основные методические приемы, используемые для биофациального анализа и реконструкции обстановок.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биогеохимическими методами в разрезе на р. Оленек изучено 20 проб глинистых и алевритистых пород в стратиграфическом диапазоне от волжского яруса до нижнего валанжина. После дезинтеграции в шаровой мельнице пробы делились на несколько частей. Одна часть пробы была декарбонитизирована 10 %-й соляной кислотой и использована для определения содержания C_{org} (% на породу) и его изотопного состава ($\delta^{13}C$, ‰). Для второй экспрессным методом в варианте «Rock-Eval» определены пиролитические характеристики (S_1 , S_2 , HI, T_{max}). Для выделения битумоидов остаток пробы поступал на многократную холодную экстракцию хлороформом методом центрифугирования. После осаждения ас-

фальтенов избытком петролейного эфира мальтеновая часть битумоидов на хроматографических колонках с силикагелем АСК и оксидом алюминия разделялась на смолы, алифатическую и ароматическую фракции.

Хромато-масс-спектрометрические (ХМС) исследования алифатических и ароматических соединений проводились на системе, включающей газовый хроматограф Agilent Technologies 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором MSD 5973N и компьютерной системой (ChemStation) регистрации и обработки информации HPG 1034. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой HP-5 длиной 30 м, диаметром 0.25 мм. В качестве газа-носителя служил гелий со скоростью потока 1 мл/мин. Температура испарителя составляла 290 °С. Ввод проб проводился без деления потока. Программирование температуры начиналось от 100 °С (изотерма 4 мин) с последующим подъемом до 290 °С со скоростью 4 °С/мин и конечной изотермой в течение 30 мин. Ионизирующее напряжение источника 70 эВ, температура 230 °С. Идентификации индивидуальных соединений на масс-хроматограммах (ТIC) и масс-фрагментограммах (m/z — отношение массы иона к заряду) осуществляли компьютерным поиском в библиотеке Национального института стандартов (NIST), по литературным данным и реконструкций структур по типу ионной фрагментации при электронном ударе.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И БИОФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРЕЗА

Как следует из анализа геохимических данных (см. рис. 2, табл. 1), в изученном разрезе обособляются два уровня, которым свойственно преимущественное распространение разных групп углеводородов-биомаркеров. Согласно стратиграфическим исследованиям [Nikitenko et al., 2018], нижний уровень соответствует волжскому ярусу и низам бореального берриаса, тогда как верхний — бореальному берриасу—валанжину.

Остановимся на геохимической характеристике нижнего геохимического уровня (диастереновый геохимический горизонт; волжский ярус — основание бореального берриаса) разреза р. Оленек. Для глинистого—основания верхнего подъяруса волжского яруса типичны наиболее высокие для исследованной выборки содержания органического углерода (4.3—8.8 % на породу) (см. рис. 2, табл. 1). Значительно ниже значения $C_{орг}$ в верхах волжского яруса (1.5 и 0.6 %). Наиболее обогащенная $C_{орг}$ часть разреза одновременно характеризуется высокими значениями водородного индекса (HI), который в отдельных случаях достигает значений 250 мг УВ/г $C_{орг}$ и соответствует относительно высокому нефтегазогенерационному потенциалу [Лопатин, Емец, 1987; Peters et al., 2005]. Здесь же отмечается наиболее «легкий» (от –28.5 до –30.5 ‰) изотопный состав органического углерода (см. рис. 2, табл. 1) по сравнению с ниже- и вышележащими толщами. Все исследованные хлороформенные битумоиды, включая обогащенные органическим веществом пробы, более чем на 50 % представлены смолисто-асфальтеновой фракцией, а содержание алифатических и ароматических соединений в сумме не превышает 40 %. Алифатическая фракция битумоидов представлена главным образом *n*-алканами с максимумами распределения на C_{25} — C_{27} и заметно выраженным преобладанием молекул с нечетным количеством атомов углерода ($CPI \gg 1$), что согласуется с параметром T_{max} и подтверждает невысокую (протокатагенез) катагенетическую зрелость органического вещества (см. табл. 1). Одной из характерных черт распределения ациклических углеводородов является резкое преобладание (до 3-кратного) изопреноидов пристана и фитана над совместно элюирующимися *n*-алканами C_{17} и C_{18} (см. рис. 2, табл. 1). Подобное распределение молекул-биометок в целом отражает некогда существовавшее изобилие хлорофиллсодержащего фитопланктона в фотической части водного столба [Volkman et al., 2015]. Как будет показано ниже, высокие концентрации фитопланктона в осадке определили и специфику образования некоторых ароматических соединений. Известно [Тиссо, Вельте, 1981], что в зависимости от окислительно-восстановительных условий в осадках фитол хлорофилла через гидрофитол восстанавливается до углеводорода фитана либо окисляется до фитановой кислоты с последующим декарбоксилированием до пристана. Поэтому значения количественных соотношений этих изопреноидов обычно используют для реконструкций обстановок осадконакопления и преобразования органического вещества в диагенезе. Как установлено нашими исследованиями, значения пристан/фитан не всегда достоверно отражают восстановительные или окислительные обстановки накопления и диагенеза ОВ, которые реконструированы по седиментологическим, биофаціальным и палеоэкологическим критериям. Так, нижние высокоуглеродистые слои буолкалахской свиты по всем вышеперечисленным признакам формировались в условиях явного дефицита кислорода, хотя повышенные значения отношения пристан/фитан указывают, скорее, на нейтральную и иногда окислительную обстановку формирования осадков. Вместе с тем (как будет показано ниже) присутствие метанотрофных биометок, палинологические и микрофаунистические ассоциации свидетельствуют о застойных условиях накопления глин и органического вещества [Nikitenko et al., 2018] в нижнем геохимическом уровне исследованного разреза. Наблюдаемое несоответствие геохимической диагностики органического вещества по отношению пристан/

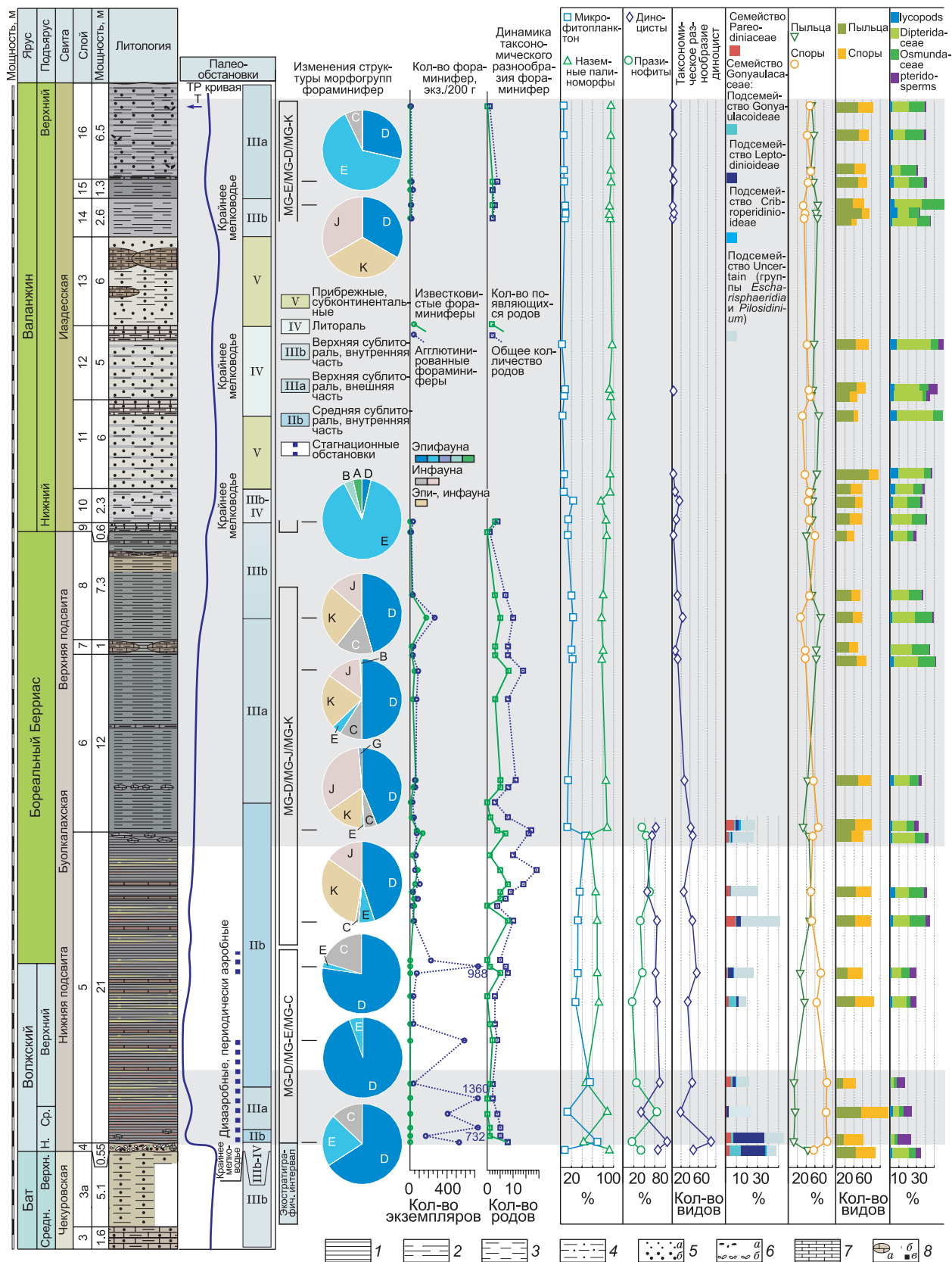
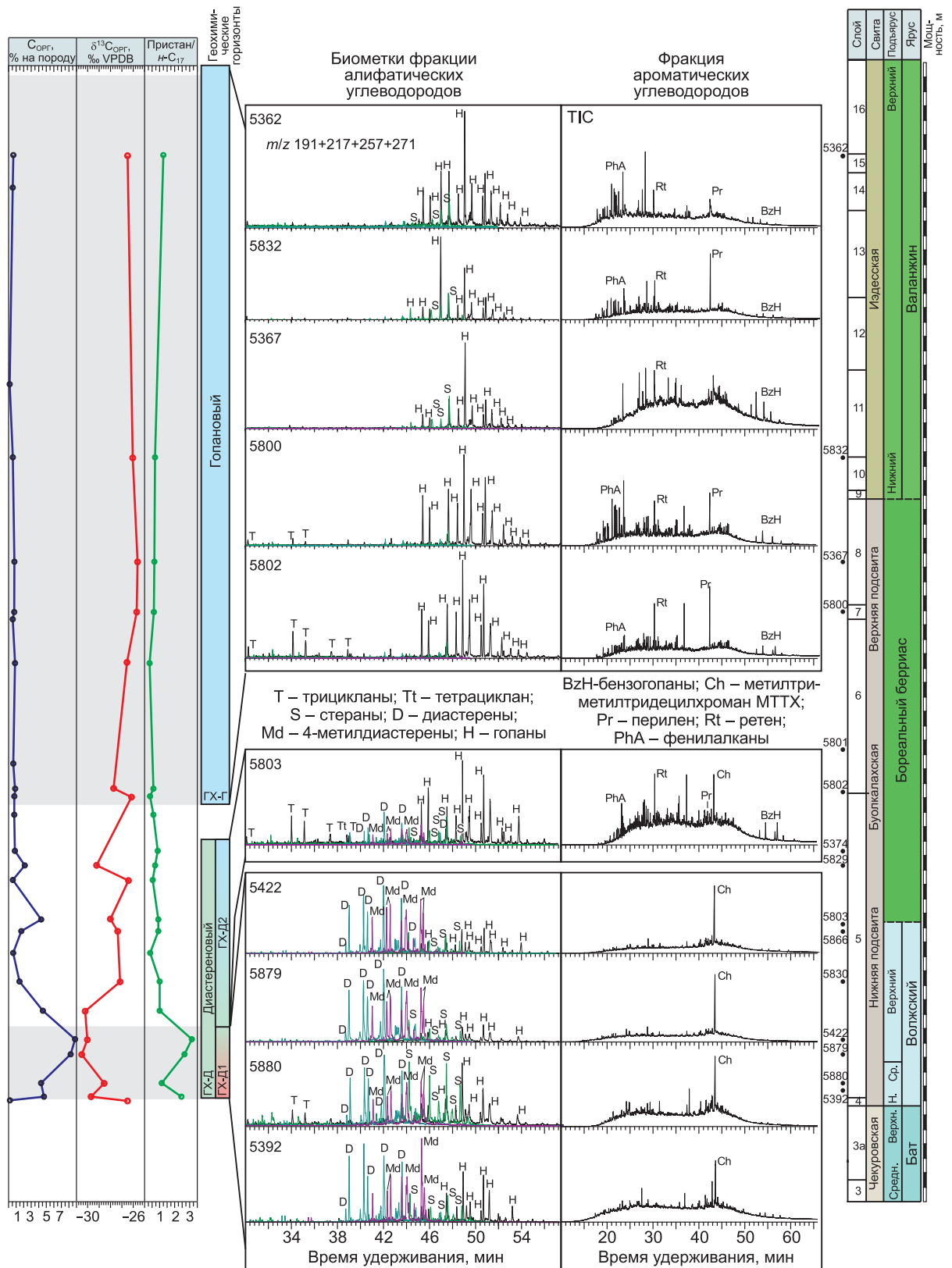


Рис. 2. Литостратиграфия, палеообстановки, таксономическое разнообразие, структура ассоциаций микробентоса, морских и наземных палиноморф и биогеохимическая характеристика органического вещества эталонного разреза верхней юры и нижнего мела р. Оленок.



1 — аргиллитоподобные глины; 2 — глинистые алевроиты; 3 — алевроиты; 4 — песчаные алевроиты; 5 — пески (а), гравелиты (б); 6 — галька (а), конгломераты (б); 7 — известковый конкреционный прослой; 8 — известковые, сидеритовые конкреции (а), глауконит (б), пирит (в).

Таблица 1. Геохимическая характеристика органического вещества верхнеюрско-нижнемеловых отложений р. Оленек

Полевая привязка образца (обн., слой, м от подослы (П)/ кровли (К))	№ пробы, лабораторный	С _{орг.} % на породе	Пиролизические характеристики		Изотопный состав углерода ($\delta^{13}C_{орг.}$ ‰)	Алифатические биомаркеры в % на алифатическую фракцию				Соотношения биометок				Ароматические биомаркеры в % на ароматическую фракцию	
			T _{max} , °C	НН, мг УВ/г С _{орг.}		Стераны (St) m/z 217	Диастерены (Dst) m/z 257	Метилдиастерены (Mdst) m/z 271	Терпены m/z 191	СРІ	Пристан/фитан	Пристан/n-C ₁₇	Стераны C ₂₉ /C ₂₇	Хроманы МТТХ	Ретен (Rt)
09Н-14О-15К	5362	0.62	442	51.00	-26.5	14.36	2.41	0.00	83.22	2.01	2.27	1.20	12.05	0.01	2.55
09Н-14О-10К	5832	0.58	438	52	-26.0	23.94	3.01	0.58	72.48	1.74	1.65	0.73	2.74	0.03	3.14
09Н-14О-8-3П	5367	0.79	439	35	-25.6	21.98	2.36	1.02	74.64	2.18	1.00	0.71	5.31	0.01	2.89
09Н-14О-7-0.5П	5800	0.74	439	28	-25.7	8.03	2.94	0.94	88.09	2.03	1.44	0.58	6.05	0.01	3.33
О14-6-3К	5801	0.86	440	29	-26.5	16.80	0.83	0.00	82.38	2.11	0.77	0.36	3.35	0.01	1.94
О14-6-П	5802	1.03	442	34	-27.7	8.59	2.71	0.90	87.79	2.33	0.86	0.58	5.46	0.01	3.41
О14-5-К	8661	0.76	437	26	Нет данных	14.56	0.74	0.07	84.63	2.03	0.49	0.36	2.97	0.36	7.61
О14-5-1.5К	8663	0.77	435	26	-26.7	19.30	4.35	1.98	74.37	2.12	0.19	0.61	2.28	0.32	4.03
09Н-14О-5-17П	5374	0.81	435	34	-26.8	11.17	6.66	3.66	78.51	2.09	1.50	0.90	5.31	1.2	3.45
О14-5-16П	5829	2.17	440	25	-29.2	17.43	12.03	6.34	64.20	2.05	1.23	0.70	3.31	3.80	3.39
09Н-14О-5-15П	8660	0.58	433	37	-26.4	20.13	1.90	0.63	77.35	1.89	0.23	0.60	2.59	Не опр.	Не опр.
О14-5-12.3П	5803	4.33	438	17	-28.0	19.29	13.04	9.45	58.23	2.06	0.98	0.93	2.16	4.31	2.31
09Н-14О-5-11.5П	5366	1.57	421	16	-27.3	22.42	4.24	3.36	69.98	1.94	0.90	0.98	2.71	2.92	2.51
О14-5-10П	8664	0.63	425	19	-26.3	24.91	1.72	4.31	69.06	1.68	0.62	0.35	Не опр.	Не опр.	Не опр.
О14-5-8П	5830	1.46	440	22	-27.1	26.52	12.96	9.85	50.67	2.03	1.03	1.21	1.37	2.66	1.03
О14-5-6П	8662	4.59	428	92	-30.2	20.55	26.75	25.81	26.88	2.22	1.44	1.40	0.84	2.46	1.32
09Н-14О-5-4П	5422	8.81	418	264	-30.0	13.00	34.77	31.30	20.94	1.98	1.24	3.15	0.98	20.31	0.92
О14-5-3П	5879	8.21	417	256	-30.5	12.88	40.20	32.81	14.11	2.15	1.40	2.62	0.97	22.49	1.19
О14-5-1П	5880	4.29	418	40	-28.5	29.18	26.40	17.30	27.12	2.40	1.08	1.13	1.24	7.01	1.37
09Н-14О-5-П	5392	4.57	420	208	-29.7	15.01	35.90	22.72	26.37	2.13	2.00	2.49	0.94	10.48	0.96

Примечание. НН-водородный индекс; T_{max} — температура максимального выхода продуктов пиролизического крекинга керогена; СРІ (carbon preference index) — соотношение n-алканов с нечетным и четным количеством атомов углерода в цепи.

фитан с биофациальными и седиментологическими данными, возможно, связано с его низкой катагенетической зрелостью [Volkman, Maxwell, 1986; Goncharov et al., 2011].

Среди полициклических биометок в основании буолкалахской свиты существенно преобладают диастерены и 4-метилдиастерены. Это прекрасно видно на композитных масс-хроматограммах по четырем фрагментным ионам: m/z 191 — трицикланы и гопаноиды, m/z 217 — стераны, m/z 257 — диастерены, m/z 271 — 4-метилдиастерены (рис. 2, 3, табл. 2). Общее количество диастеренов в этом интервале

Таблица 2. Идентификация диастеренов, стеранов и гопаноидов на масс-хроматограммах (см. рис. 3)

Пик	m/z	Формула	Углеводород
Диастерены			
ds1	257, 370	$C_{27}H_{46}$	20S-10 β -диахолест-13(17)-ен
ds2	257, 370	$C_{27}H_{46}$	20S-10 α -диахолест-13(17)-ен
ds3	257, 370	$C_{27}H_{46}$	20R-10 β -диахолест-13(17)-ен
ds4	257, 370	$C_{27}H_{46}$	20R-10 α -диахолест-13(17)-ен
ds5	257, 384	$C_{28}H_{48}$	20S-10 β -24-метилдиахолест-13(17)-ен
ds6	257, 384	$C_{28}H_{48}$	20S-10 α -24-метилдиахолест-13(17)-ен
ds7	257, 384	$C_{29}H_{50}$	20S-10 α -24-этилдиахолест-13(17)-ен
ds8	257, 384	$C_{29}H_{50}$	20R-10 β -24-этилдиахолест-13(17)-ен
ds9	257, 384	$C_{29}H_{50}$	20R-10 α -24-этилдиахолест-13(17)-ен
4-метилдиастерены			
mds1	271, 384	$C_{28}H_{48}$	20S-10 α -4-метилдиахолест-13(17)-ен
mds2	271, 384	$C_{28}H_{48}$	20R-10 α -4-метилдиахолест-13(17)-ен
mds3	271, 398	$C_{29}H_{50}$	20S-10 α -4-метил,24-диметилдиахолест-13(17)-ен
mds4	271, 412	$C_{30}H_{52}$	20S-10 β -4-метил, 24-этилдиахолест-13(17)-ен
mds5	271, 412	$C_{30}H_{52}$	20S-10 α -4-метил, 24-этилдиахолест-13(17)-ен
mds6	271, 412	$C_{30}H_{52}$	20R-10 β -4-метил, 24-этилдиахолест-13(17)-ен
mds7	271, 412	$C_{30}H_{52}$	20R-10 α -4-метил, 24-этилдиахолест-13(17)-ен
Стераны			
s1	217, 372	$C_{27}H_{48}$	20S-17 α -холестан
s2	217, 372	$C_{27}H_{48}$	20R-17 α -холестан
s3	217, 386	$C_{28}H_{50}$	20S-17 α -метилхолестан
s4	217, 386	$C_{28}H_{50}$	20R-17 α -метилхолестан
s5	217, 400	$C_{29}H_{52}$	20S-17 α -этилхолестан
s6	217, 400	$C_{29}H_{52}$	20R-17 α -этилхолестан
s7	217, 414	$C_{30}H_{54}$	20S-17 α -пропилхолестан
s8	217, 414	$C_{30}H_{54}$	20R-17 α -пропилхолестан
Гопаноиды			
h1	191, 370	$C_{27}H_{46}$	17 α (H),21 β (H)-трисноргопан (Тm)
h2	191, 370	$C_{27}H_{46}$	17 β (H),21 β (H)-трисноргопан
h3	191, 384	$C_{28}H_{48}$	17 α (H),21 β (H)-28-норгопан
h4	191, 396	$C_{29}H_{48}$	Неоноргоп-13(18)-ен
h5	191, 398	$C_{29}H_{50}$	17 α (H),21 β (H)-норгопан
h6	191, 398	$C_{29}H_{50}$	17 β (H),21 α (H)-норгопан
h7	191, 412	$C_{30}H_{52}$	17 α (H),21 β (H)-гопан
h8	191, 410	$C_{30}H_{50}$	Неогоп-13(18)-ен
h9	191, 412	$C_{30}H_{52}$	17 β (H),21 α (H)-гопан (моретан)
h10	191, 426	$C_{31}H_{54}$	17 α (H),21 β (H)-гомогопан (22S)
h11	191, 426	$C_{31}H_{54}$	17 α (H),21 β (H)-гомогопан (22R)
h12	191, 424	$C_{31}H_{52}$	Неогомогоп-13(18)-ен
h13	191, 426	$C_{31}H_{54}$	17 β (H),21 α (H)-гомогопан (гомоморетан)
h14	191, 440	$C_{32}H_{56}$	17 α (H),21 β (H)-бисгомогопан (22S)
h15	191, 440	$C_{32}H_{56}$	17 α (H),21 β (H)-бисгомогопан (22R)
h16	191, 424	$C_{31}H_{54}$	17 β (H),21 β (H)-гомогопан
h17	191, 424	$C_{32}H_{56}$	17 β (H),21 β (H)-бисгомогопан

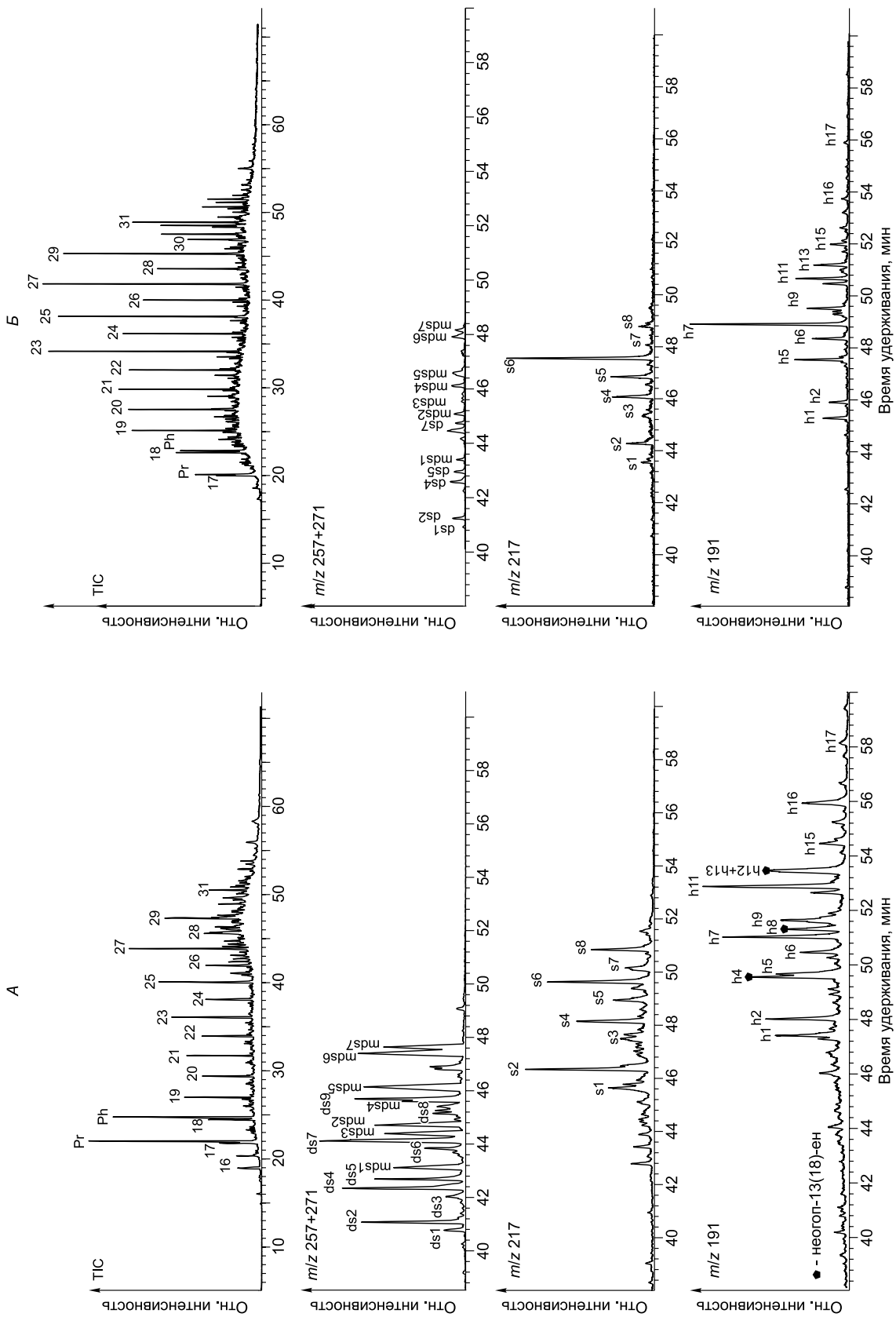


Рис. 3. Масс-хроматограммы алифатических фракций битумоидов по полному ионному току (TIC) и фрагментным ионам гопаноидных (m/z 191) и стероидных (m/z 257+271; 217) углеводородов-биомаркеров.

A — пр. 5879 из основания волжского подъяруса (диастереновый горизонт); B — пр. 5367 — из верхних слоев борельного берриаса (гопаноидный горизонт).

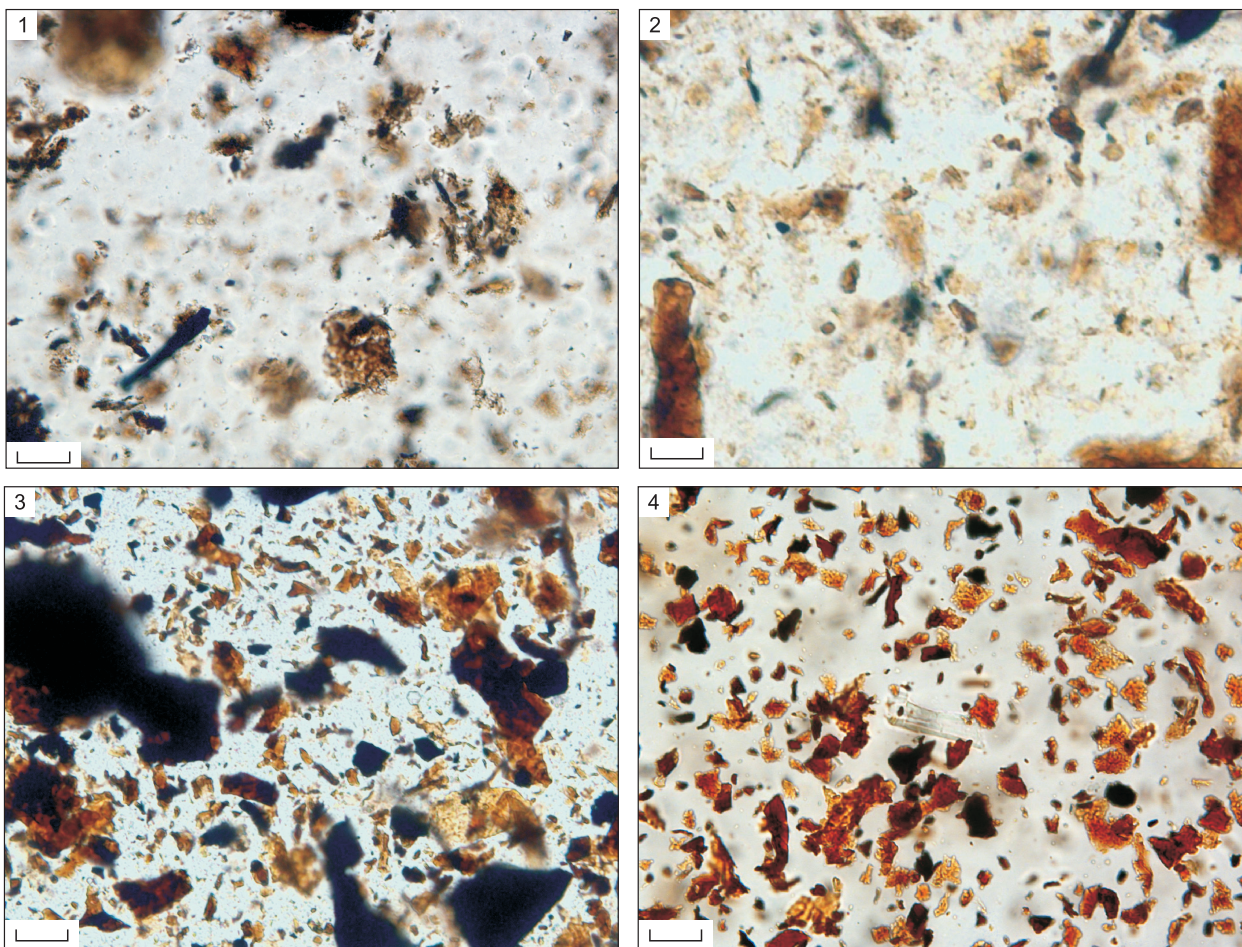


Рис. 4. Общий состав палинологических образцов в разрезе на р. Оленек.

Масштаб 25 мкм. Фиг. 1 — образец из слоя 5, 4 м от подошвы, волжский ярус; фиг. 2 — образец из слоя 5, 17 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 3 — образец из слоя 10, 1,5 м от подошвы, валанжин; фиг. 4 — образец из слоя 15, кровля, валанжин.

разреза может превышать 60 % от суммы всех полициклических биомаркеров алифатической фракции. Образование диастеренов и 4-метилдиастеренов при общей невысокой зрелости органического вещества в рассматриваемом интервале разреза, вероятнее всего, обусловлено диагенетическими преобразованиями захороненного органического вещества, в том числе стеролов и 4-метилстеролов при каталитическом участии глинистых минералов. Большинство исследователей диастерены, возникшие на этапах диагенетического преобразования ОВ, рассматриваются как промежуточные соединения для последующего образования регулярных стеранов и диастеранов [Petrov et al., 1985; Peakman, Maxwell, 1987]. Наличие в волжских битумоидах 4-метилдиастеренов, по-видимому, связано с динофлагеллатами, синтезирующими специфические диностеролы (4-метилстеролы) с метильными заместителями у С-4, С-23 и двойной связью у С-22. Хорошая корреляция 4-метилстеранов с избытком цист динофлагеллат в сланцах Майоминг показана в работе [Brassell et al., 1985]. В разрезе на р. Оленек наличие 4-метилдиастеренов хорошо соотносится с палинологическими данными: в волжском ярусе в ассоциациях микрофитопланктона цисты динофлагеллат достигают обилия и разнообразия (см. рис. 2).

Состав и распределение гопаноидов по всему разрезу волжского яруса — валанжина повсеместно отражает низкую степень катагенетических преобразований, но наиболее ярко она сохранилась в органическом веществе волжских слоев. Здесь наряду с регулярными гопанами «биологической» конфигурации $17\beta(H), 21\beta(H)$ идентифицированы метанотрофные неогоп-13(18)-ены (см. рис. 3, табл. 2). Существование метанотрофных бактерий, как и сохранность их метаболитов и диастеренов в осадках этого стратиграфического интервала, по-видимому, обусловлена аноксидными и дизаэробными условиями, возникавшими при интенсивной бактериальной переработке планктоногенного органического вещества. Это подтверждается и палинологическими данными: в общем составе палинологических образцов

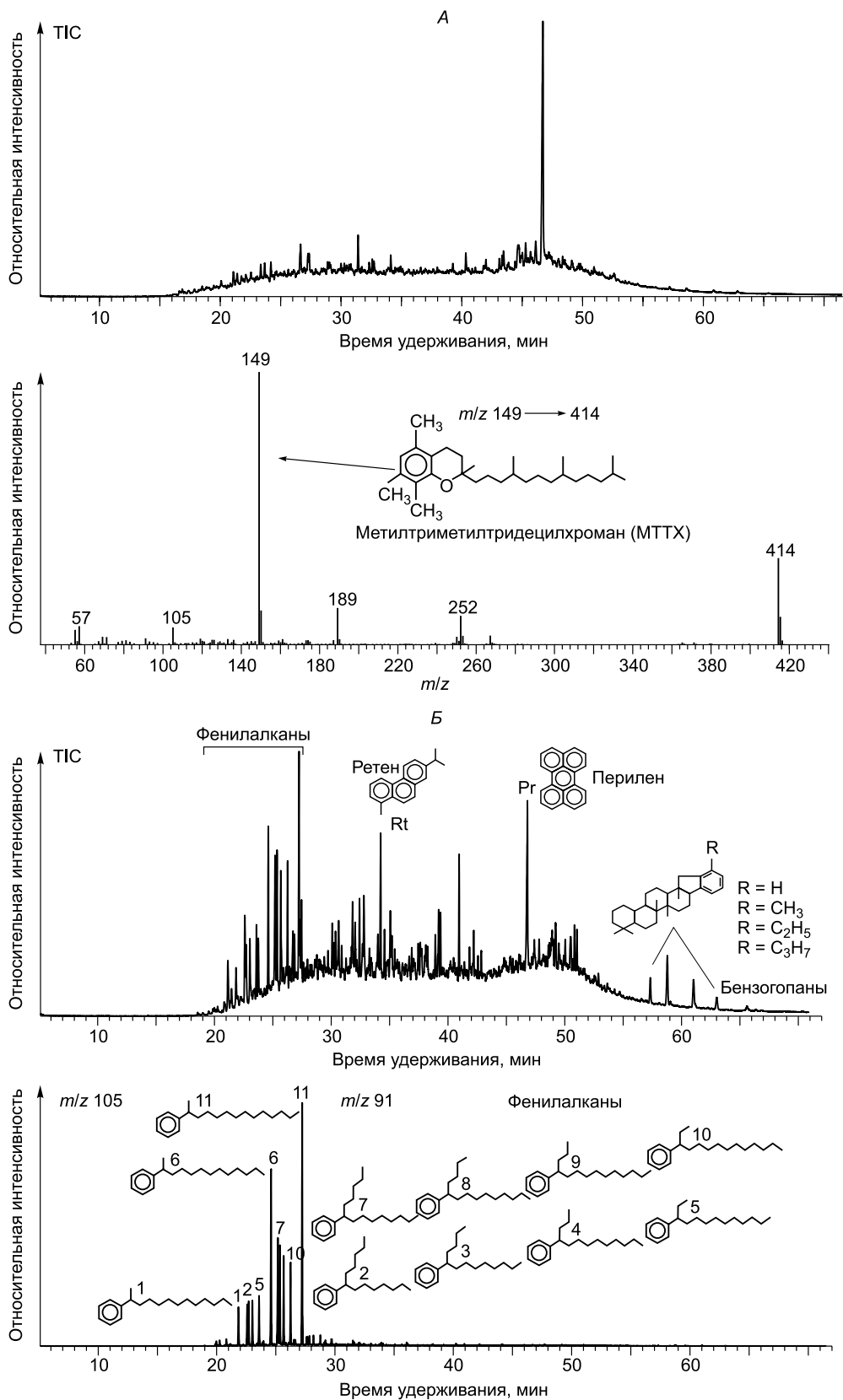


Рис. 5. Масс-хроматограммы ароматической фракции по полному ионному току (ТІС) и распределение фенилалканов (по фрагментным ионам m/z 91+105):

A — пр. 5879 из основания верхневолжского подъяруса (диастерновый горизонт) (внизу масс-спектр основного пика); *B* — пр. 5800 из верхних слоев бореального берриаса (гопановый горизонт).

преобладают тонкие прозрачные частицы детрита и палинодебрис, которые подвержены значительной деструкции (рис. 4).

В ароматической фракции битумоидов с преобладанием диастеренов в алифатической фракции (диастереновый геохимический горизонт) исключительную роль играют метилтриметилтридецилхроманы (МТТХ), а точнее их α форма m/z 149 \rightarrow 414 (см. рис. 2, 5; табл. 2). Хорошо известно, что структуры идентифицированных хроманов чрезвычайно близки аналогичным формам токоферолов (витамин Е), а единственными отличиями МТТХ от последних является отсутствие гидроксильной группы у ароматического кольца. Логично предположить возможность образования гомологов МТТХ в диагенезе за счет дегидратации токоферолов, однако по мнению ряда исследователей эта реакция кинетически маловероятна [Sinninghe Damste et al., 1987]. Китайскими учеными предложена реакция образования МТТХ за счет конденсации хлорофилла с алкилфенолами [Li et al., 1995]. Вполне вероятно, что подобный процесс осуществлялся на стадии диагенеза в органическом веществе исследованных волжских отложений при взаимодействии хлорофилла (фитопланктон) с алкилфенолами. Последние, по-видимому, являлись предшественниками фенилалканов, которые широко распространены в органическом веществе берриас-валанжинских осадков (см. рис. 5). Соответственно, на уровне волжских слоев возник определенный дефицит фенилалканов, поскольку исходные компоненты были истрачены на образование МТТХ. Наиболее древние хроманы обнаружены в неопротерозойской нефти Индостана [Dutta et al., 2013]. Вполне естественно, что в их формировании значительную роль сыграл хлорофилл цианобактерий и празиофитов, известных с докембрия [Rozanov, Astafieva, 2008].

Геохимические особенности и, в частности, повышенные концентрации органического вещества и необычный комплекс углеводов-биомаркеров, экстрагированных из волжских глин, обязаны своим происхождением геодинамическим условиям развития региона, палеогеографии, палеоклимату и биопродуктивности Анабаро-Ленского моря и окружающего континента. По результатам биофациального анализа ассоциаций спор и пыльцы наземных растений для Оленекского района в волжское время восстанавливается умеренно-теплый и влажный климат, характерный для Сибирско-Канадской палеофлористической области [Никитенко и др., 2015а, б; Nikitenko et al., 2018]. В палинологических спектрах здесь содержится большое количество таксонов, широко распространенных в пределах бореальных территорий, много спор влаголюбивых растений (см. рис. 2, 6, А).

Как уже отмечалось, началу волжской трансгрессии в оленекском разрезе соответствует накопление базальной пачки буолкалахской свиты, сложенной песками и песчаниками с линзами конгломератов с галькой и валунами песчаников и обломками ростров белемнитов. Базальная пачка буолкалахской свиты с размывом перекрывает чекуровские песчаники и содержит комплексы наземных палиноморф и ассоциации диноцист подсемейств *Leptodinioidae* (*Scriniodinium*, *Meiourogonyaulax*, *Leptodinium*, *Ambo-nosphaera*, *Sirmiodinium*, *Occisucysta*) и *Gonyaulacoidea* (главным образом *Tubotubarella*), обычно характерных для средней части неритовой зоны [Wilpshaar, Leereveld, 1994; Leereveld, 1995; Никитенко и др., 2015б]. По всей вероятности, обилие диноцист в базальной пачке связано с переотложением более глубоководных кимериджских осадков [Nikitenko et al., 2018].

В низах глинистой части буолкалахской свиты комплексы микрофитопланктона отличаются большим обилием и разнообразием, в них широко представлены диноцисты семейств *Gonyaulacaceae* и *Pareodiniaceae*, что считается типичным признаком неритовой зоны (см. рис. 2; 6, Б). Анализ изменений фораминиферных сообществ в конце юры и начале мела, динамики таксономического разнообразия и морфогрупп фораминифер позволил провести интерпретацию основных абиотических факторов среды [Nikitenko et al., 2018]. Удаленные от палеоберега, мелководные и умеренноглубоководные обстановки верхней и средней сублиторали для волжского века и основания бореального берриаса восстанавливаются по данным микрофаунистического анализа. В основании слоя 5, в высокоуглеродистых глинах, встречены дифференцированные сообщества фораминифер внутренней части средней сублиторали [Nikitenko et al., 2018]. В сообществах отсутствуют ярко выраженные доминанты, резко преобладают представители эпифауны, характерны *Ammodiscus*, *Dorothia*, *Recurvoides*, более редки *Spiroplectamina*, *Kutsevella*, *Trochammina* и *Bulbobaculites* (морфогруппы MG-E, MG-C, MG-D). Средневолжские ассоциации фораминифер достаточно обеднены, представлены редкими *Trochammina*, *Kutsevella* и *Evolutinella* (морфогруппа MG-D, эпифауна) (см. рис. 2) и, вероятно, обитали в условиях внешней части верхней сублиторали с застойными стагнационными обстановками. В конце волжского века и начале бореального берриаса фораминиферы становятся более разнообразными, но они представлены только агглютинирующими формами: *Recurvoides*, *Evolutinella*, *Gaudryina*, единичны *Ammodiscus*, *Glomospirella* и *Arenoturrispirillina* (морфогруппы MG-E, MG-C, MG-D, резкое преобладание эпифауны) (см. рис. 2). Стоит отметить, что в составе сообществ микробентоса присутствует большое количество бактериофагов и падальщиков, что также подтверждает бактериальную активность, предполагаемую по геохимическим данным и косвенно по биофациальному анализу палинологических ассоциаций. В сообществах фораминифер резко преобладают представители эпифауны и лишь изредка (в начале волжского века и начале

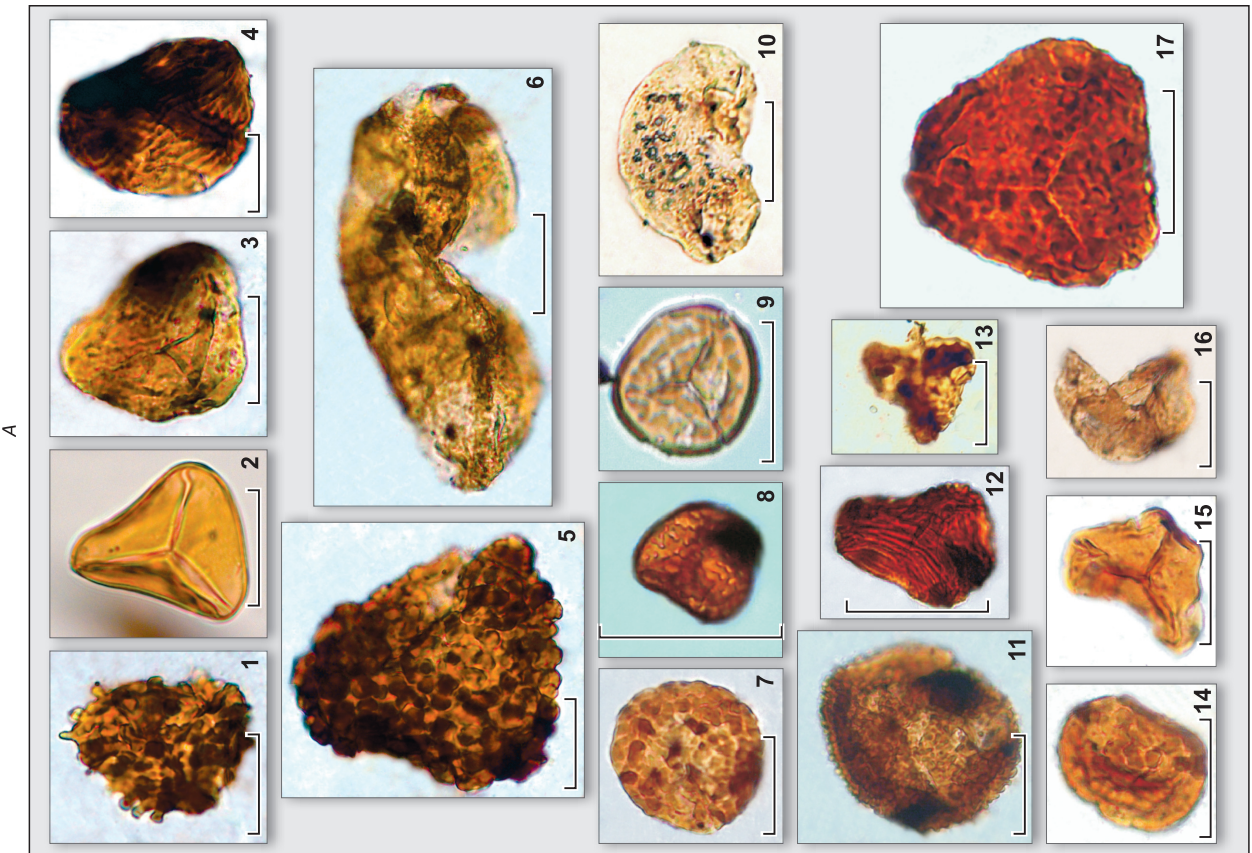
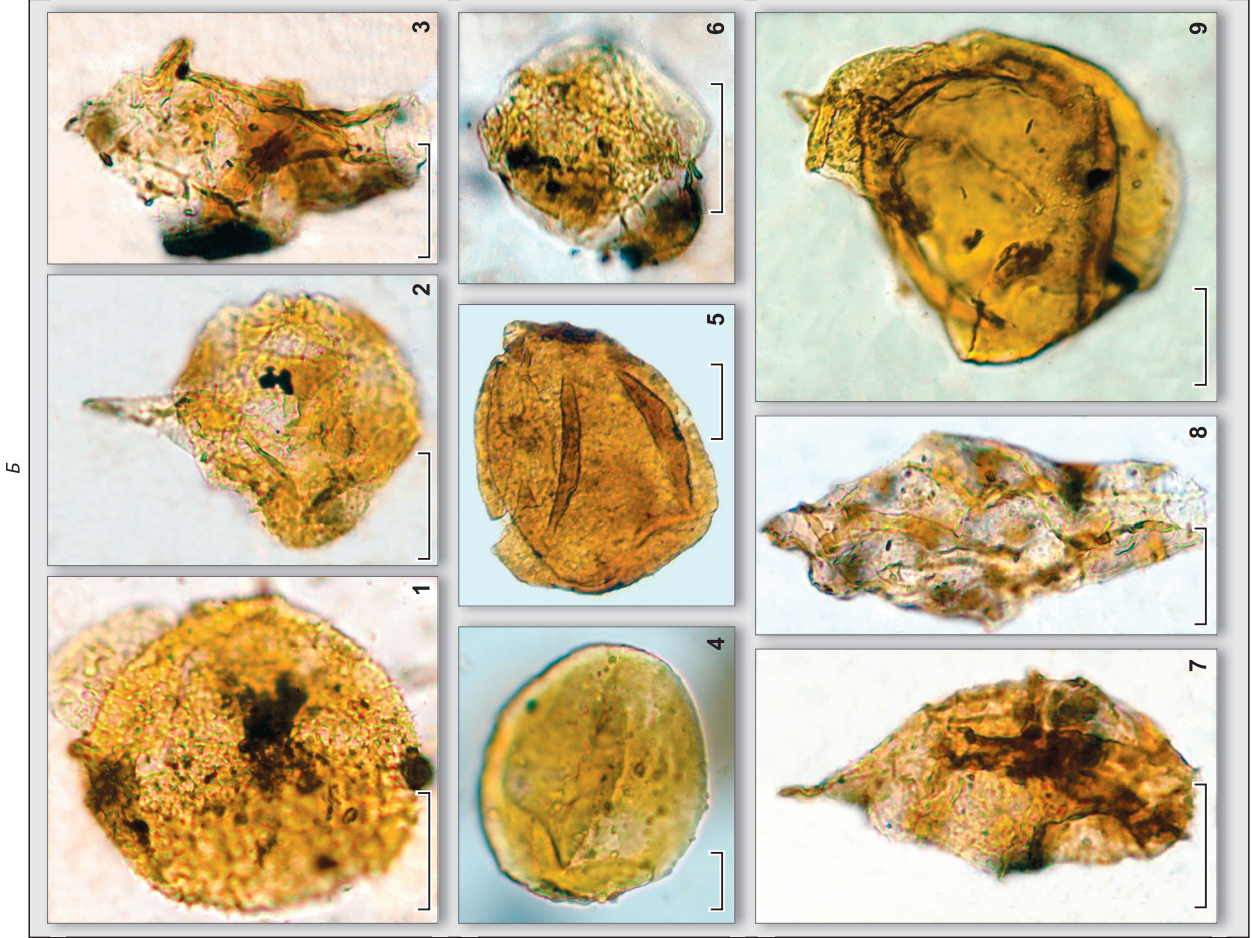


Рис. 6. Палиноморфы из волжского яруса, берриаса и валанжина в разрезе на р. Оленек.

Все экземпляры из обн. 14, масштаб 25 мкм. А — споры и пыльца наземных растений: фиг. 1 — *Neoraistrickia bassulifera* (Maljavkina) Lijina, слой 5, кровля, бореальный берриас; фиг. 2 — *Syathidites minor* Cooper, слой 11, 1 м от подошвы, нижний валанжин; фиг. 3 — *Syathidites* sp., слой 5, кровля, берриас; фиг. 4 — *Plicatella exiloides* (Maljavkina) Bondarenko, слой 10, кровля, нижний валанжин; фиг. 5 — *Trilobosporites gibberulus* (Kara-Murza) Rosock, слой 5, кровля, бореальный берриас; фиг. 6 — *Pseudoripicea magnifica* Bolchovitina, слой 7, 0,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 7 — *Selaginella granata* Bolchovitina, слой 5, кровля, бореальный берриас; фиг. 8 — *Klukisporites foveolatus* Rosock, слой 12, 2 м от подошвы, нижний валанжин; фиг. 9 — *Stereisporites congregatus* (Bolchovitina) Schulz, слой 11, 1 м от подошвы, нижний валанжин; фиг. 10 — *Pinus subconcinna* Bolchovitina, слой 5, подошва, волжский ярус; фиг. 11 — *Vasculitisporites cotamensis* (Cookson) Potonie, слой 6, 3,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 12 — *Cicatricosisporites ludbrookiae* Dettmann, слой 14, 1,5 м от подошвы, валанжин; фиг. 13 — *Eboracia granulosa* (Tralau) Timoshina, слой 5, 15 м от подошвы, нижняя часть бореального берриаса; фиг. 14 — *Defenseisporites verrucosus* (Rosock) McKellar, слой 6, 3,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 15 — *Dictyophyllocladites harrisi* Cooper, слой 8, 1,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 16 — *Taxodiaceapollenites* sp., слой 6, подошва, бореальный берриас; фиг. 17 — *Trilobosporites valanjinensis* (Kara-Murza) Döring, слой 14, 1,5 м от подошвы, валанжин;

Б — микрофитопланктон: фиг. 1 — *Trichodinium ciliatum* (Goehlt) Eisenack et Klement, слой 5, подошва, волжский ярус; фиг. 2 — *Paragonyaulacysta* sp., слой 5, 11,5 м от подошвы, верхи волжского яруса; фиг. 3 — *Tubotuberella aratela* (Cookson et Eisenack) Joannides, слой 6, 3,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 4 — *Tasmanites* sp., слой 5, 2 м от подошвы, волжский ярус; фиг. 5 — *Batiacasphaera norvickii* (Burger) Lentin et Williams, слой 5, 17 м от подошвы, нижняя часть бореального берриаса; фиг. 6 — *Dingodinium* sp., слой 5, 1,5 м от подошвы, нижняя часть бореального берриаса; фиг. 7 — *Paragonyaulacysta ?borealis* (Brédaux et Fisher) Stover et Euytt, слой 6, 3,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 8 — *Tubotuberella rhombiformis* Vozzhennikova, слой 6, 3,5 м от подошвы, бореальный берриас; фиг. 9 — *Scriiniodium multistratum* Lebedeva et Pestchevitskaya, слой 6, 15 м от подошвы, нижняя часть бореального берриаса.

бореального берриаса) встречаются представители неглубокой инфауны (морфогруппы MG-C). Это свидетельствует о преимущественно аноксидных обстановках в осадке и дизаэробных на поверхности осадка и придонном слое воды.

В середине и конце волжского века типичны нестабильные палеообстановки, что отражается в постоянном изменении таксономического состава ассоциаций диноцист и количественных характеристик различных групп микрофитопланктона. Разнообразие диноцист сокращается, но остается достаточно высоким (15—26 родов). В это время в комплексах микрофитопланктона периодически доминируют празиофиты родов *Leiosphaeridia* и *Tasmanites*, что часто интерпретируется как свидетельство застойных стагнационных обстановок (см. рис. 2, 6). Их присутствие в осадках тонкозернистых фаций часто рассматривается как индикатор аноксических или дизаэробных состояний придонных вод [Jarvis et al., 1988; Tyson, 1995; Guy-Ohlson, 1996; Palynology..., 1996; Пуина et al., 2005]. Для «цветения» микроводорослей необходимы обилие питательных веществ и относительно теплые климатические условия. Отметим, что период незначительного потепления климата в поздневолжское время восстанавливается по увеличению доли теплолюбивых компонентов в спорово-пыльцевых ассоциациях [Nikitenko et al., 2018]. Богатые празиофитами ассоциации планктона нередко возникают в опресненных бассейнах, при обильном поступлении вод с континента, обогащенных биогенными элементами. В нашем случае обилие *Leiosphaeridia* в волжских отложениях может рассматриваться как индикатор высокой биопродуктивности фотической зоны и, как следствие, накопление обильного органического вещества в осадках, которое подвергалось интенсивной бактериальной переработке, создавая дефицит кислорода в придонных слоях [Bujak, Mudge, 1994; Пуина et al., 2005; Nikitenko et al., 2018]. Необходимо отметить, что в Западной Сибири празиофиты *Leiosphaeridia* часто доминируют в баженовской свите (верхи нижневолжского подъяруса—низы бореального берриаса), формирование которой происходило в более глубоководных обстановках на значительно больших удалениях от береговой линии [Шурыгин и др., 2000; Конторович и др., 2019]. Обилие биогенных элементов в баженовском море, вероятно, объясняется его эпиконтинентальным характером, когда вынос питательных веществ, поступающих с континента, в открытые океанические акватории и их дальнейшее рассеивание течениями были лимитированы. Концентрацию биогенных элементов в Оленекском районе Анабаро-Ленского моря можно объяснить образованием залива со спокойной гидродинамикой, которая ограничивала смешивание локальных вод с водами основной акватории. Это подтверждается литологическими особенностями пород и типом сообществ микробентоса [Nikitenko et al., 2018].

Состав и распределение индивидуальных углеводов в органическом веществе бореального берриаса и тем более валанжина сменяется по мере регрессии морского бассейна. На этом уровне по соотношению алифатических биометок, по аналогии с разновозрастным разрезом Анабарского залива [Каширцев и др., 2018] выделяется гопановый геохимический горизонт (бореальный берриас—валанжин). На этом стратиграфическом уровне в исследованном разрезе заметно уменьшаются содержания органического углерода, а в большинстве

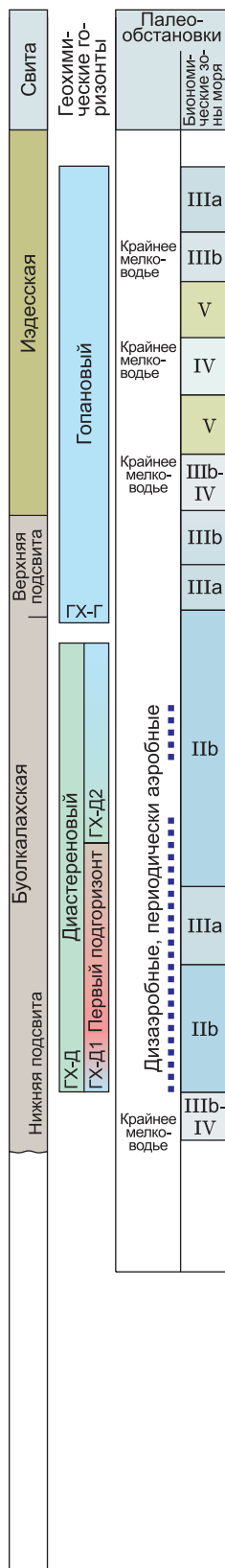
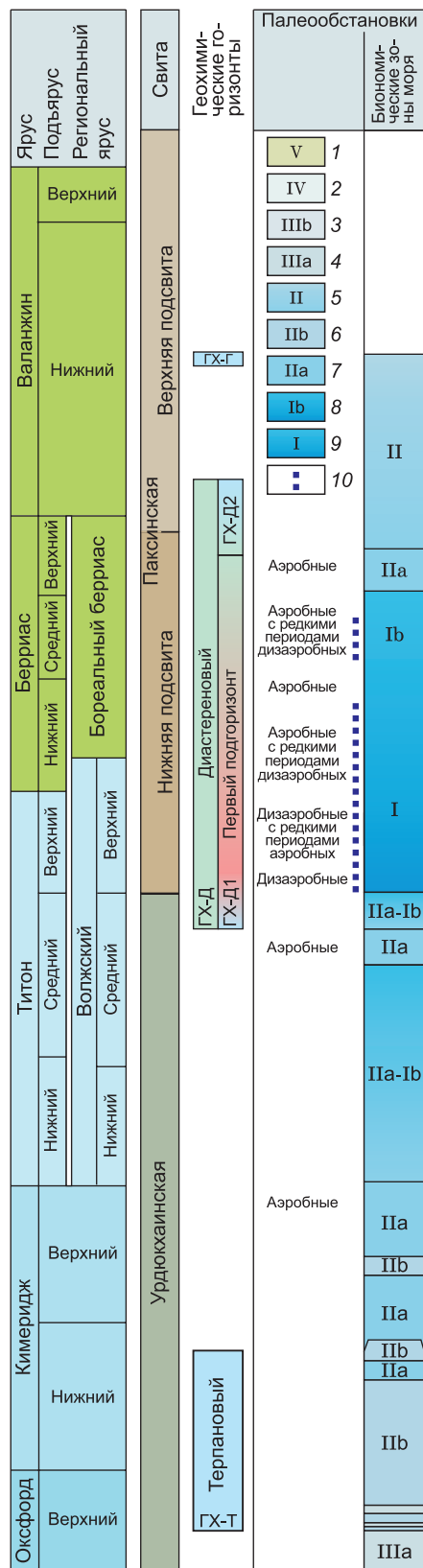


Рис. 7. Стратиграфическое положение геохимических горизонтов в разрезах Анабарского залива и р. Оленек.

1 — Прибрежные и субконтинентальные обстановки; 2 — литораль; 3 — верхняя сублитораль, внутренняя часть (обстановки мелководья, приближенного к берегу); 4 — верхняя сублитораль, внешняя часть (обстановки мелководья, удаленного от берега); 5 — средняя сублитораль (обстановки умеренного глубоководья); 6 — средняя сублитораль, внутренняя часть (обстановки умеренного глубоководья, приближенного к берегу); 7 — средняя сублитораль, внешняя часть (обстановки умеренного глубоководья, удаленного от берега); 8 — нижняя сублитораль, внутренняя часть (обстановки относительного глубоководья, приближенного к берегу); 9 — нижняя сублитораль (обстановки относительного глубоководья); 10 — стационарные обстановки.

проб значения $C_{орг}$ определяются на уровне или ниже кларковых ($< 1\%$) (см. рис. 2, табл. 1). В алифатических фракциях битумоидов при максимумах распределения *n*-алканов на C_{25} или C_{27} в отличие от диастеренового геохимического горизонта снижаются соотношения между изопреноидами и *n*-алканами (см. рис. 2, табл. 1): отношения пристана и фитана к совместно элюирующимся *n*-алканам обычно не превышают единицы. В балансе молекул биомаркеров практически полностью исчезают диастерены и 4-метилдиастерены, возрастает роль гопаноидов. В составе последних также присутствуют «биологические» структуры ($17\beta(H)$, $21\beta(H)$), но исчезают ненасыщенные метанотрофные неогоп-13(18)-ены. В сообществах фораминифер значительную роль начинают играть представители инфауны, содержание которых достигало 50 % и более [Nikitenko et al., 2018], появляются многочисленные следы биотурбации осадка и жизнедеятельности. Это свидетельствует об аэробных, хорошо аэрируемых обстановках в верхнем слое осадка и придонных водах, что согласуется с геохимической информацией.

В битумоидах среди стеранов ведущая роль переходит к этилхолестанам (C_{29}), отражая все возрастающее количество привнесенных в осадок ли-

пидных остатков наземной растительности. Геохимические изменения в составе органического вещества при смене волжских глин более алевритистыми осадками и песками бореального берриаса и валанжина заметно проявляются и на индивидуальном составе ароматических фракций, где доминирующее

положение хроманов МТТХ сменяется повышенными концентрациями фенилалканов, фенантронов, перилена, ретеном и набором бензоганов (см. рис. 2, 5). Предполагается, что фенилалканы могут быть продуктами синтеза археями, в том числе наземными термофильными формами *Thermoplasma acidophilum*, а бензогановы появляются в раннем диагенезе за счет циклизации и ароматизации гомоганоидной цепи [Ellis et al., 1996; Peters et al., 2005].

Известно [Otto, Simoneit, 2001], что ретен и перилен наследуются от липидов высшей наземной растительности, в частности, их биопредшественники характерны для смол хвойных растений. В бореальном берриасе и валанжине Оленекского разреза количество ретена и перилена возрастает незначительно, хотя, по палинологическим данным, хвойные растения были широко представлены в древних растительных сообществах на территории суши, прилегающей к Оленекскому району Анабаро-Ленского бассейна [Nikitenko et al., 2018]. В бореальном берриасе и валанжине процентное содержание хвойных сокращается. Предполагается, что это могло быть связано с началом форсированной регрессии морского палеобассейна и освобождением обширных прибрежных низменностей, более благоприятных для влаголюбивых плаунов и циатейных/диптерисовых папоротников. В общем составе палинологических образцов из валанжина регрессивные события отражаются в увеличении количества плотных непрозрачных частиц детрита, в разной степени углефицированных, которые, вероятно, представлены микроскопическими обломками древесины (см. рис. 4). Считается, что мезозойские циатейные/диптерисовые папоротники, как и хвойные, могли быть представлены древесными формами [Жизнь..., 1978; Van Konijnenburg-Van Cittert, 2002; и др.]. Незначительное количество ретена и перилена в исследованных пробах позволяет предположить, что хвойные не являлись доминантами в древесной растительности на территории суши Оленекского района в конце бореального барриаса и валанжине, что также подтверждается и палинологическими данными. Небольшое увеличение количества этих соединений по сравнению с обогащенными органическим веществом волжскими пробами, по-видимому, связано не с возрастанием роли хвойных в растительных сообществах, а, скорее, отражает регрессивный тренд и более обильное поступление обломков наземной растительности с континента.

Следует отметить, что ранее в эталонном разрезе верхней юры и нижнего мела Анабарского залива по геохимическим признакам (существенному преобладанию однотипных углеводов-биомаркеров) были выделены три геохимических горизонта (снизу вверх): терпановый (верхи оксфорда—кимеридж), диастереновый (верхи средневожского подъяруса—основание валанжина) и гановый (нижний валанжин) [Каширцев и др., 2018]. В исследованных синхронных разрезах бассейна р. Оленек, как показано выше, два верхних горизонта (диастереновый и гановый) хорошо опознаются по специфичным биометкам, а нижний (терпановый) отсутствует из-за перерыва в осадконакоплении (от верхов бата до нижевожского подъяруса).

Стратиграфический анализ положения этих геохимических уровней в разных частях (и батиметрических зонах) Анабаро-Ленского бассейна показывает диахронность их формирования (рис. 7). Стратиграфический объем диастеренового горизонта в разрезе р. Оленек соответствует волжскому ярусу и нижней части бореального берриаса, тогда как в более глубоководном разрезе Анабарского залива он отвечает верхам средневожского подъяруса—основанию валанжина. Гановый горизонт в разрезе р. Оленек выделяется в объеме верхней части бореального берриаса—валанжина, а в разрезе Анабарского залива — нижнему валанжину. Диахронность формирования этих геохимических уровней может быть связана с латеральной и возрастной миграцией стагнационных обстановок, создающих аноксидные и дизаэробные условия в осадках и придонных водах, что также наблюдается в Западно-Сибирском бассейне [Конторович и др., 2019].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов геохимических исследований ископаемого органического вещества из разреза верхней юры и нижнего мела в низовьях р. Оленек с учетом седиментологических, фаунистических и палинологических характеристик этого разреза позволил сформулировать следующие выводы.

В волжское время для Анабаро-Ленского моря были характерны достаточно интенсивные трансгрессивные события. Обогащение существенно глинистой буолкалахской свиты в ее нижней части (волжский ярус—низы бореального берриаса) рассеянным органическим веществом (в отдельных прослоях до 9 %) и специфичным комплексом углеводов-биомаркеров, по-видимому, обязано своим происхождением главным образом хлорофиллсодержащему фитопланктону (празиофиты, диноцисты). Его высокая продуктивность связана с возможностью накопления питательных веществ в неритовых водах Анабаро-Ленского палеобассейна, который в Оленекском районе, вероятно, формировал небольшой залив со спокойной гидродинамикой, что препятствовало быстрому поступлению биогенных элементов в открытую акваторию и их дальнейшему рассеиванию. Бактериальная переработка обильного органического вещества, накапливавшегося в осадках, периодически создавала дизаэробные обстанов-

ки в придонных слоях, что способствовало сохранению в составе органического вещества высоких концентраций изопреноидов, диастеренов, метанотрофных гопенов и хроманов.

Со второй половины бореального берриаса начинается регрессия морского бассейна, которая сопровождалась сменой литологического состава осадков, фаунистических и палинологических ассоциаций и, соответственно, типовых наборов углеводородов-биомаркеров. На этом уровне из состава биометок исчезают диастереины, гопены и хроманы. Среди регулярных стеранов начинает преобладать этилхолестан, что, по-видимому, связано с увеличением роли детрита и палиноморф континентального генезиса в общем балансе ископаемого органического вещества.

Анализ данных органической геохимии позволил обособить в изученном разрезе два геохимических горизонта: диастереновый (волжский ярус—низы бореального берриаса) и гопановый (бореальный берриас—валанжин). Ранее в синхронных разрезах Анабарского залива (побережье моря Лаптевых) по геохимическим критериям были выделены три биомаркерных горизонта: терпановый (верхи оксфорда—кимеридж), диастереновый (верхи средневожского подъяруса—основание валанжина) и гопановый (нижний валанжин), по преимущественному распространению наборов углеводородов-биомаркеров, характерных для этих уровней. В разрезе р. Оленек два верхних горизонта хорошо опознаются по специфичным биометкам, а нижний (терпановый) отсутствует вследствие стратиграфического перерыва от верхов бата до нижневожского подъяруса. Таким образом, анализ стратиграфического положения диастеренового и гопанового горизонтов в разных частях Анабаро-Ленского бассейна показывает диахронность их формирования. Таким образом, стратиграфический и латеральный анализы вариаций однотипных углеводородов-биомаркеров и выделение на их основе геохимических горизонтов могут служить определенным коррелятивом для реконструкций геохимических обстановок формирования осадков и их последующих преобразований.

По геологическим и геохимическим критериям волжский ярус и низы бореального берриаса Анабаро-Ленского бассейна обладают хорошим нефтематеринским потенциалом и лишь незначительность погружения и, соответственно, мягкие термобарические условия на окраине Сибирской платформы за все время геодинамического развития этой территории не позволили достичь главной зоны нефтеобразования (oil window). Вместе с тем в приосевой зоне прогиба (Нижнеленская впадина) и тем более на шельфе моря Лаптевых на период развития пассивной континентальной окраины существовали вполне благоприятные условия для генерации и аккумуляции углеводородных скоплений, генетически связанных с верхнеюрскими и нижнемеловыми высокоуглеродистыми породами.

Авторы искренне признательны В.П. Девятову и Е.А. Костыревой за конструктивные и полезные комментарии, рекомендации, способствовавшие улучшению рукописи.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ (проекты 18-17-00038, 19-17-00091) и РФФИ (проект 18-05-70035).

ЛИТЕРАТУРА

Геологическая карта республики Саха (Якутия). М-б 1 : 1 500 000 / Ред. Л.Н. Ковалев. СПб., ВСЕГЕИ, 2006.

Дзюба О.С. Белемниты и биостратиграфия пограничных юрско-меловых отложений севера Восточной Сибири (новые данные по п-ову Нордвик) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2012, т. 20, № 1, с. 62.

Жизнь растений / Под ред. И.В. Грушвицкого, С.Г. Жилина. Т. 4. М., Просвещение, 1978, 656 с.

Захаров В.А., Богомолов Ю.И., Ильина В.И., Константинов А.Г., Курушин Н.И., Лебедева Н.К., Меледина С.В., Никитенко Б.Л., Соболев Е.С., Шурыгин Б.Н. Бореальный зональный стандарт и биостратиграфия мезозоя Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (5), с. 927—956.

Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевицкая Е.Б., Фурсенко Е.А. Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (4), с. 1027—1039.

Конторович А.Э. Очерки теории нефтидогенеза. Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004, 545 с.

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Никитенко Б.Л., Рыжкова С.В., Борисов Е.В., Ершов С.В., Костырева Е.А., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Пономарева Е.В., Фомин М.А., Ян П.А. Маргинальный фильтр волжско-берриасского Западно-Сибирского морского бассейна и его влияние на распределение осадков // Литология и полезные ископаемые, 2019, № 3, с. 199—210

Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. М., Наука, 1987, 144 с.

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

Никитенко Б.Л., Князев В.Г., Лебедева Н.К., Пещевицкая Е.Б., Кутыгин Р.В. Проблемы стратиграфии оксфорда и кимериджа на севере Средней Сибири (разрез полуострова Нордвик) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (9), с. 1222—1241.

Никитенко Б.Л., Шурыгин В.Н., Князев В.Г., Меледина С.В., Дзюба О.С., Лебедева Н.К., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Горячева А.А., Хафаева С.Н. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт // *Геология и геофизика*, 2013, т. 54 (8), с. 1047—1082.

Никитенко Б.Л., Князев В.Г., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Кутыгин Р.В., Алифиров А.С. Высокорастворяющая стратиграфия верхней юры побережья моря Лаптевых // *Геология и геофизика*, 2015а, т. 56 (4), с. 845—872.

Никитенко Б.Л., Князев В.Г., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А. Верхняя юра побережья моря Лаптевых: межрегиональные корреляции и палеообстановки // *Геология и геофизика*, 2015б, т. 56 (8), с. 1496—1519.

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

Стратиграфия юрской системы севера СССР / А.Л. Бейзель, А.А. Герке, А.А. Дагис, А.С. Дагис, В.А. Захаров, В.И. Ильина, Е.Д. Калачева, М.Е. Каплан, Г.Н. Карцева, Т.И. Кирина, А.И. Киричкова, В.Г. Князев, Г.Э. Козлова, В.С. Кравец, Н.Г. Крымгольц, О.Э. Лев, С.В. Меледина, М.С. Месежников, Т.И. Нальняева, И.В. Полуботко, Ю.С. Репин, З.З. Ронкина, Н.П. Рулева, В.Н. Сакс, В.Я. Санин, И.И. Сей, Л.Я. Трушкова, Н.В. Шаровская, Н.И. Шульгина, Б.Н. Шурыгин, С.П. Яковлева. М., Наука, 1976, 437 с.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., Маик «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М., Мир, 1981, 501 с.

Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Граница юры и мела на севере Сибири и бореально-тетическая корреляция приграничных толщ // *Геология и геофизика*, 2015, т. 56 (4), с. 830—844.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Ильина В.И., Меледина С.В., Гайдебурова Е.А., Дзюба О.С., Казаков А.М., Могучева Н.К. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000, 480 с.

Brassell S.C., Eglinton G., Fu J.M. Biological marker compounds as indicators of the depositional history of the Maoming oil shale // *Org. Geochem.*, 1985, v. 10, p. 927—941.

Bujak J.P., Mudge D.Ch. A high-resolution North Sea Eocene dinocyst zonation // *J. Geol. Soc.*, 1994, v. 151, № 3, p. 449—462.

Dutta S., Bhattacharya S., Raju S.V. Biomarker signatures from Neoproterozoic—Early Cambrian oil, western India // *Org. Geochem.*, 2013, v. 56, p. 68—80.

Ellis L., Langworthy T.A., Winans R. Occurrence of phenylalkanes in some Australian crude oils and sediments // *Org. Geochem.*, 1996, v. 24, p. 57—69.

Goncharov I.V., Samoilenko V., Oblasov N., Volkov V. Pr/Ph ratio in the Bazhenov formation rock samples (Western Siberia) // 25th International Meeting on Organic Geochemistry. Book of abstracts, 2011, p. 406.

Guy-Ohlson D. Green and blue-green algae // *Prasinophyceanalga/palynology: Principles and applications*, AASP Foundation, Salt Lake City / Eds. J. Jansonius, D.C. McGregor. 1996, p. 181—189.

Ilyina V.I., Nikitenko B.L., Glinskikh L.A. Foraminifera and dinoflagellate cyst zonation and stratigraphy of the Callovian to Volgian reference section in the Tyumenskaya superdeep well (West Siberia, Russia) // *Recent developments in applied biostratigraphy / Eds. A.J. Powell, J.B. Riding. The Micropalaeontological Society, Spec. Issue, 2005, p. 109—144.*

Jarvis I., Carson G.A., Cooper M.K.E., Hart M.B., Leary P.N., Tocher B.A., Horne D., Rosenfeld A. Microfossil assemblages and the Cenomanian-Turonian (Late Cretaceous) oceanic anoxic event // *Cretaceous Res.*, 1988, v. 9, p. 3—103.

Leereveld H. Dinoflagellate cysts from the Lower Cretaceous Rio Argos succession (SE Spain) // *LPP Contribution Series*, 1995, № 2, p. 1—175.

Leith T.L., Weiss H.V., Mork A., Arhus N., Elvebakk G., Embry A.F., Brooks P.W., Stewart K.R., Pchelina T.M., Bro E.G., Verba M.L., Danyushevskaya A., Borisov A.V. Mesozoic hydrocarbon source-rocks of the Arctic region // *Arctic geology and petroleum potential. Proceedings of the Norwegian Petroleum Society Conference, 15—17 August 1990, Tromso, Norway, Norwegian Petroleum Society, Special Publication. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier, 1992, v. 2, p. 1—25.*

Li M., Larter S.R., Taylor P., Jones D.M., Bowler B Bjouray M. Biomarkers or not biomarkers? A new hypothesis for the origin of pristane involving derivation from methyltrimethyltridecylchromans (MTTCs) formed during diagenesis from chlorophyll and alkylphenols // *Org. Geochem.*, 1995, v. 23, p. 159—167.

Nikitenko B.L., Pestchevitskaya E.B., Lebedeva N.K., Ilyina V.I. Micropalaeontological and palynological analyses across the Jurassic-Cretaceous boundary on Nordvik Peninsular, Northeast Siberia // *Newslett. Stratigr.*, 2008, v. 42, № 3, p. 181—222.

Nikitenko B.L., Pestchevitskaya E.B., Khafaeva S.N. High-resolution stratigraphy and palaeoenvironments of the Volgian—Valanginian in the Olenek section (Anabar—Lena region, Arctic Eastern Siberia) // *Rev. Micropalaeontol.*, 2018, v. 61, p. 271—312.

Otto A., Simoneit D.R.T. Chemosystematics and diagenesis of terpenoids in fossil conifer species and sediment from the Eocene Zeitz formation, Saxony, Germany // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2001, v. 65, p. 1715—1728.

Palynology: principles and application / Eds. J. Jansonius, D.C. McGregor. Salt Lake City, Publishers Press, 1996, v. 1, 452 p.

Peakman T.M., Maxwell J.R. Early pathway of steroid alkenes // *Adv. Org. Geochem.*, 1987, v. 13, p. 583—592.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. Second ed. Cambridge University Press, 2005, v. I, II, 1155 p.

Petrov A., Vorobieva N., Zemskova Z. Sterenes and triterpenes in brown coals // *Org. Geochem.*, 1985, v. 8, p. 269—273.

Rozanov A.Yu., Astafieva M.M. Prasinophyceae (green algae) from the Lower Proterozoic of the Kola Peninsula // *Paleontolog. J.*, 2008, v. 42, p. 425—430.

Sinninghe Damste J.S., Kock-van Dalen A.C., de Leeuw J.W., Schenck P.A., Guoying S., Brasell S.C. The identification of mono-, di- and trimethyl 2-methyl-2-(4,8,12-trimethyltridecyl) chromans and their occurrence in the geosphere // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1987, v. 51, p. 2393—2400.

Tyson R.V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. London, Chapman and Hall, 1995, 615 p.

Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A. Ecology of some Late Triassic to Early Cretaceous ferns in Eurasia // *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 2002, v. 119, p. 113—124.

Volkman J.K., Maxwell J.R. Acyclic isoprenoids as biological markers // *Biological markers in the sedimentary records* / Ed. R.B. Johns. New York, Elsevier, 1986, p. 1—42.

Volkman J.K., Zhang Z., Xie X., Qin J., Borjigin T. Biomarker evidence for *Botryococcus* and a methane cycle in Eocene Huadian oil shale, NE China. // *Org. Geochem.*, 2015, v. 78, p. 121—134.

Wilpshaar M., Leereveld H. Palaeoenvironmental change in the Early Cretaceous Vocontian Basin (SE France) reflected by dinoflagellate cysts // *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 1994, v. 84, p. 121—128.

Рекомендована к печати 28 февраля 2020 г.
Л.М. Буриштейном

Поступила в редакцию 16 января 2020 г.,
после доработки — 6 февраля 2020 г.