

**ТРИЛОБИТЫ, БИОСТРАТИГРАФИЯ И ГЕОХИМИЯ  
КУОНАМСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ  
(северо-восток Сибирской платформы, р. Кюленке)**

**И.В. Коровников<sup>1,2</sup>, Т.М. Парфенова<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

Изучена среднекембрийская часть разреза куонамской свиты на р. Кюленке (Сибирская платформа). Проведено биостратиграфическое расчленение разреза по трилобитам. В разрезе выявлены интервалы, соответствующие региональным зонам амгинского яруса среднего кембрия. Выявлены шесть уровней, к которым приурочены массовые скопления остатков фауны. Два уровня расположены в пределах зоны *Ovatoryctocara*, третий располагается в пограничном интервале зон *Ovatoryctocara* и *Kouanamkites*; четвертый — около кровли зоны *Triplagnostus gibbus*; пятый и шестой — в пределах зоны *Tomagnostus fissus* — *Paradoxides sacheri*.

Исследованы состав пород и битумоидов органического вещества (ОВ) пород. Рассмотрены особенности геохимии минеральных компонентов пород (железо, сера, CO<sub>2</sub>), насыщенных углеводородов битумоидов, изотопов некарбонатного углерода ОВ пород. Установлено, что седиментация ОВ происходила в условиях нормальной аэрации вод морского бассейна, без сероводородного заражения придонных вод. Интенсивность химических и биохимических трансформаций минеральных и органических компонентов в диагенезе контролировалась содержанием органического углерода, сульфат-иона, активностью анаэробного сообщества прокариот, скоростью минерализации осадков.

Выявлены связи между содержанием органического углерода в потенциально нефтематеринских породах и содержанием оксида железа, серы общей, серы сульфидной и сульфатной, соотношениями насыщенных углеводородов. Предполагается, что чередование высокоуглеродистых черных сланцев и углеродистых пород связано с изменением состава биологических сообществ микроорганизмов (источников углеводородов-биомаркеров) и интенсивности преобразования ОВ в диагенезе. Высказана гипотеза, что в диагенезе в неуплотненном морском осадке, обогащенном ОВ, при участии бактерий происходили сульфатредукция и деалкилирование высокомолекулярных стероидов. Интенсивность их зависела от массы исходного ОВ, количества сульфат-иона и как следствие pH и Eh среды.

*Средний кембрий, куонамская свита, трилобиты, биостратиграфия, нефтематеринские породы, углерод, битумоид, углеводороды-биомаркеры, седиментация, диагенез, Сибирская платформа*

**TRILOBITES, BIOSTRATIGRAPHY, AND GEOCHEMISTRY  
OF THE MIDDLE CAMBRIAN KUONAMKA FORMATION  
(northeastern Siberian Platform, Kyulenke River)**

**I.V. Korovnikov, T.M. Parfenova**

We studied the middle Cambrian unit of the Kuonamka Formation section on the Kyulenke River (Siberian Platform) and performed its biostratigraphic subdivision based on trilobites. The middle Cambrian section has intervals corresponding to the regional zones of the Amginian Stage. Six levels with mass accumulation of fauna remains have been revealed: Two levels are located within the *Ovatoryctocara* Zone; the third level is at the boundary between the *Ovatoryctocara* and *Kouanamkites* zones; the fourth layer is confined to the roof of the *Triplagnostus gibbus* Zone; and the fifth and sixth levels are located within the *Tomagnostus fissus*–*Paradoxides sacheri* Zone.

The composition of rocks and bitumens of their organic matter (OM) has been studied, including the geochemical specifics of the mineral components of rocks (iron, sulfur, and CO<sub>2</sub>) and of saturated hydrocarbons of bitumens as well as noncarbonate carbon isotopes in the OM. It has been established that the OM sedimentation took place under normal aeration of the sea basin waters, without hydrogen sulfide contamination of the bottom waters. The intensity of chemical and biochemical transformations of mineral and organic components during diagenesis was controlled by the contents of organic carbon and sulfate ion, the activity of the anaerobic prokaryote community, and the rate of sediment mineralization.

We have also established relationships between the content of organic carbon in potentially oil source rocks and the contents of iron oxide, total sulfur, and sulfide and sulfate sulfur as well as the ratios of saturated hydrocarbons. The alternation of highly carbonaceous black shales and carbonaceous rocks is apparently due to

a change in the composition of biologic communities of microorganisms (sources of hydrocarbon biomarkers) and in the intensity of OM transformation during diagenesis. We assume that the OM transformation included sulfate reduction and dealkylation of high-molecular steroids in the unconsolidated OM-enriched marine sediments with the participation of bacteria. The intensity of these processes depended on the mass of the primary OM, the amount of sulfate ion, and, hence, the pH and Eh of the medium.

*Middle Cambrian, Kuonamka Formation, trilobites, biostratigraphy, oil source rocks, carbon, bitumen, hydrocarbon biomarkers, sedimentation, diagenesis, Siberian Platform*

## ВВЕДЕНИЕ

Куонамская свита, охарактеризованная породами с повышенным содержанием органического вещества (ОВ), имеет широкое распространение на территории восточной части Сибирской платформы [Савицкий и др., 1972; Бахтуров и др., 1988; Старосельцев, Шишкин, 2014; и др.]. Стратиграфический интервал свиты распространяется от низов ботомского яруса нижнего кембрия до верхов амгинского яруса среднего кембрия. Они содержат огромное количество разнообразных остатков кембрийской биоты (трилобиты, брахиоподы, мелкорачковинная фауна и др.) и являются уникальным объектом как для палеонтологических исследований, так и для изучения геохимии органического и минерального вещества.

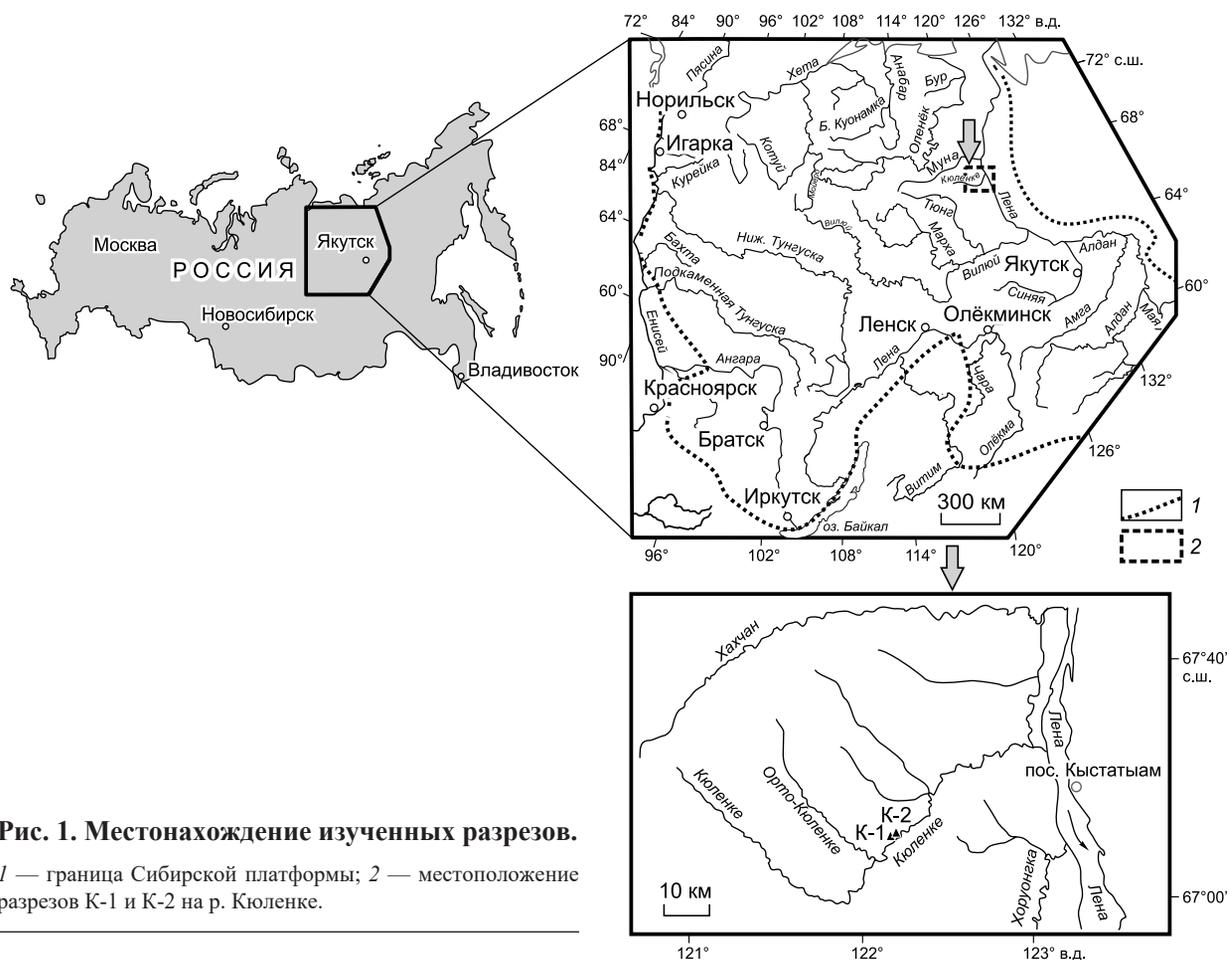
На обширной территории восточной части Сибирской платформы имеется большое количество разрезов куонамской свиты, которые выходят на дневную поверхность в береговых обнажениях рек, а также вскрыты скважинами. Однако детальное изучение трилобитов и биостратиграфического расчленения куонамской свиты было проведено только в нескольких разрезах. Так, были изучены разрезы на реках Некекит и Бороулах [Савицкий и др., 1972], на р. Молодо [Шабанов и др., 2008; Коровников, Шабанов, 2008], на р. Оленек в среднем течении [Коровников, Шабанов, 2016].

Для того чтобы дополнить знания и информацию о биостратиграфии кембрийских черносланцевых отложений на северо-востоке Сибирской платформы, авторами был изучен разрез куонамской свиты, расположенный в среднем течении р. Кюленке (левый приток Лены). Ранее описание этого разреза было представлено в монографии [Бахтуров и др., 1988]. Биостратиграфическое расчленение разреза и изучение остатков ископаемой фауны в этой работе не приводились. Было лишь указано, что в нижней части разреза куонамской свиты встречаются массовые представители родов *Bergeroniellus* Lermontova, 1940 и *Delgadella* Walcott, 1912 в верхней — редкие находки трилобитов семейства *Oryctocephalidae*.

Первые сведения о геохимии ОВ потенциально нефтематеринских пород и битумов куонамской свиты из разреза на р. Кюленке обсуждались в публикациях [Бахтуров и др., 1988; Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2011, 2014]. По пиролитическим и биомаркерным параметрам выполнена оценка катагенеза ОВ. Сделан вывод, что ОВ пород куонамской свиты соответствует ОВ стадии мезокатагенеза, породы из обнажений на территории Мунского свода погружались в главную зону нефтеобразования и генерировали нефти. Актуальными остаются вопросы, связанные с исследованием накопления и преобразования углеродистых осадков на Сибирской платформе [Старосельцев, Шишкин, 2014; Parfenova, 2017, 2018]. Выявленные закономерности распределения ОВ, индивидуальных УВ, неорганического материала в породах могут служить основой для реконструкции палеогеографии куонамской свиты, оценки ресурсов и качества горючих сланцев, распространенных в отложениях нижнего и среднего кембрия, прогноза состава нефтей на Сибирской платформе. Для этого необходимо дополнительное изучение геохимии минеральных и органических компонентов пород из разрезов кембрия, в том числе и из разреза на р. Кюленке. Поэтому настоящая работа, кроме детального биостратиграфического расчленения куонамской свиты, была направлена на поиск факторов, контролирующей сохранность следов палеонтологических и химических остатков биоты в породах, условий формирования обогащенных ОВ осадков. Авторами ставилась задача проанализировать геохимические особенности пород и ОВ в обогащенных и обедненных остатками ископаемой фауны интервалах разреза на р. Кюленке, которые соответствуют установленным биостратиграфическим подразделениям по трилобитам.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе экспедиционных работ летом 2005 г. были изучены два береговых обнажения (К-1, К-2) на р. Кюленке (рис. 1, 2), в которых представлена верхняя часть куонамской свиты (25 м). Ранее в этом разрезе были выделены семь пачек [Бахтуров и др., 1988, с. 15—18], которые имеют суммарную мощность около 33 м. В изученной нами части разреза отсутствуют две нижние пачки суммарной мощностью примерно 6.5 м. Изученный разрез включает в основном среднекембрийскую часть куонамской свиты. При изучении разреза проводилось послойное описание разреза, послойный сбор остатков трилобитов, дальнейшая механическая препарировка найденных остатков. При определении возраста применялся метод биостратиграфического анализа находок трилобитов.

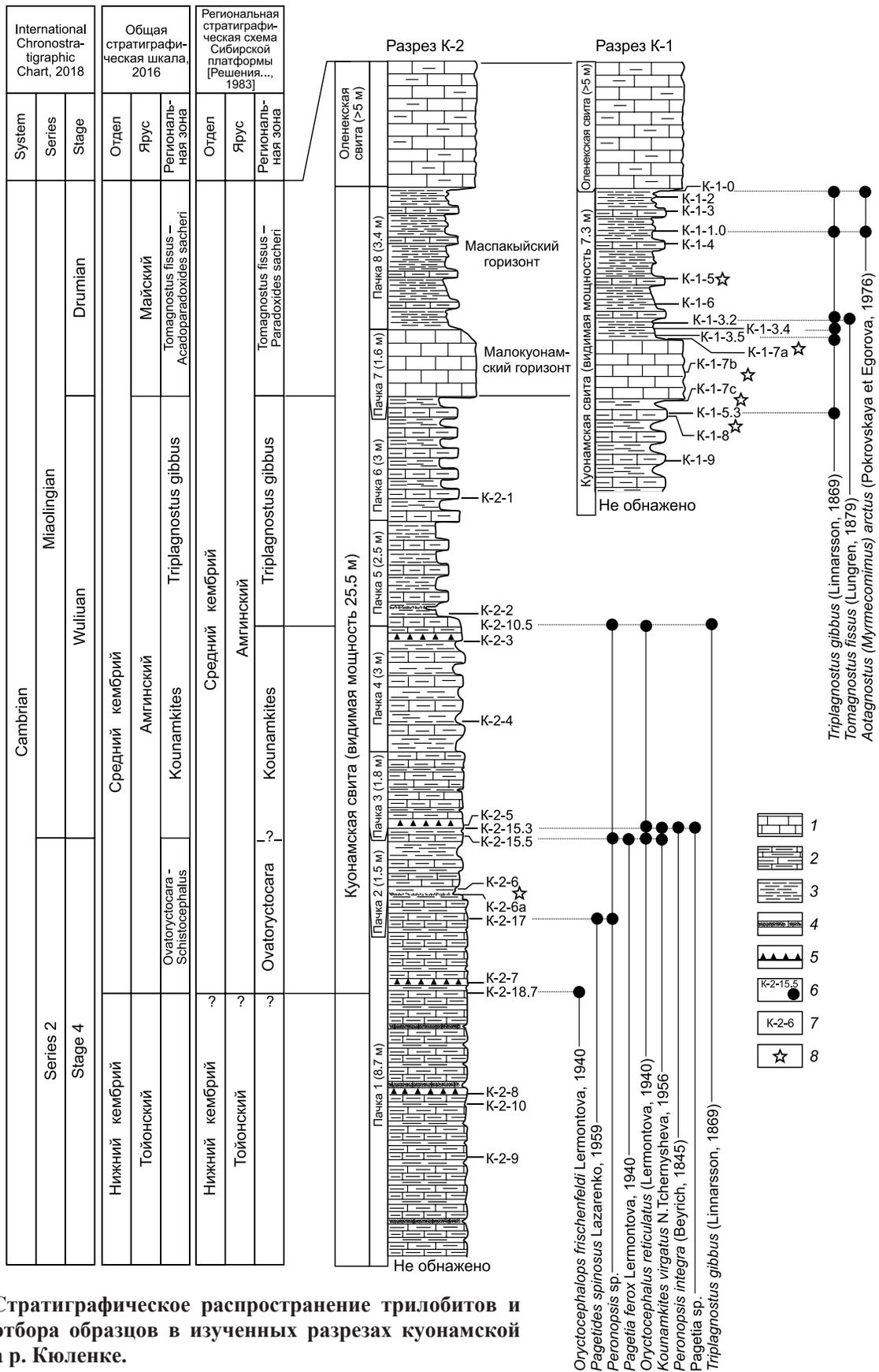


**Рис. 1. Местонахождение изученных разрезов.**

1 — граница Сибирской платформы; 2 — местоположение разрезов К-1 и К-2 на р. Кюленке.

Для установления особенностей условий осадконакопления и для поиска факторов, контролирующих сохранность следов палеонтологических и химических остатков биоты в породах, обогащенных ОВ, проводились геохимические исследования. Для этого отобранные образцы породы дробили до 0.25 мм. Обрабатывали 10 %-й соляной кислотой для получения нерастворимого остатка (НО). На экспресс-анализаторе АН-7529 методом сжигания в кислороде проб НО определяли содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) в породах (19 образцов). Общее содержание железа, серы ( $S_{общ}$ ), форм серы (сера сульфидная ( $S_{сульфид}$ ), сера сульфатная ( $S_{сульфат}$ )), вклад  $CO_2$  определяли химическим методом (19 образцов). Битумоид экстрагировали из 50 граммовых навесок дробленых пород (15 образцов) хлороформом при комнатной температуре с применением центрифуги. После очистки экстракта ртутью от элементарной серы петролейным эфиром из битумоида выделяли асфальтены. Далее мальтены делили на фракции насыщенных углеводородов (УВ), ароматических соединений и смол (15 образцов). Алканы метанонафтеновой фракции (15 образцов) анализировали на хроматографе «5890 series II Gas Chromatograph» с использованием капиллярной колонки с фазой HP-5 при начальной температуре 40 °C и конечной — 290 °C. Насыщенные полициклические УВ изучали на хромато-масс-спектрометрической системе Agilent 5973N (газовый хроматограф 6890 с высокоэффективным масс-селективным детектором и компьютерной системой регистрации) при температуре 100—320 °C. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0.25 мм с импрегнированной фазой HP-5MS. Скорость потока газа-носителя гелия 1 мл/мин. Идентификация соединений осуществлялась по времени удерживания и путем сравнения спектров индивидуальных молекул сканированных образцов со спектрами электронной библиотеки, а также опубликованными данными. Измерения изотопного состава углерода бескарбонатного вещества 10 проб НО выполняли на масс-спектрометре МИ 1201В относительным методом, который заключается в попеременном измерении ионных токов двух масс 44-й, 45-й образцов и стандарта, представляющих собой газ ( $CO_2$ ).

Высокие значения битумоидного коэффициента и индекса продуктивности по пиролизу, а также наличие молекулярных признаков бактериального окисления насыщенных УВ позволили кроме макрокопических (К-1-7а, К-1-7с, см. рис. 2) диагностировать рассеянные битумопроявления (К-1-5, К-1-7б,



**Рис. 2. Стратиграфическое распространение трилобитов и уровни отбора образцов в изученных разрезах куонамской свиты на р. Кюленке.**

1 — органогенные известняки; 2 — глинистые известняки; 3 — черные сланцы; 4 — прослой песчанистого известняка; 5 — прослой силицитов; 6 — номера и точки отбора образцов с трилобитами; 7 — номера образцов для геохимических исследований; 8 — проявление битума.

К-1-8, К-2-6а) в породах куонамской свиты [Парфенова и др., 2011, 2014]. Эти образцы помечены звездочкой (см. рис. 2). Геохимия их УВ в статье не обсуждается.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Разрез куонамской свиты.** Куонамская свита согласно залегает на еркекетской свите (глинистые известняки). Сложена черными битуминозными известняками, сланцами и кремнистыми породами. Согласно перекрывается оленекской свитой (глинистые, зеленовато-серые известняки). Нижние около 8 м куонамской свиты не были изучены. По опубликованным данным [Бахтуров и др., 1988], нижняя часть свиты (2.45 м) представлена в основном черными битуминозными аргиллитами. В основании прослой рыхлой глинистой породы зеленовато-желтого цвета, содержащий обломки черных биодетритовых известняков (0.15—0.20 м). В средней части прослой темно-серых известняков, образующих линзовидные тела. Примерно в 1 м от подошвы встречены трилобиты родов *Bergeroniellus* Lermontova, 1940 и *Delgadella* Walcott, 1912 [Бахтуров и др., 1988]. Выше залегают ритмично переслаивающиеся черные битуминозные породы: кремни тонко- и среднеплитчатые, часто известковые, аргиллиты (4 м). Встречаются линзовидные тела черных мелкокристаллических известняков, которые облекаются аргиллитами и кремнями. В 2.1 м от основания этого интервала встречаются остатки трилобитов *Lermontovia* Suvorova, 1956 и *Neopagetina* Pokrovskaya, 1960 [Бахтуров и др., 1988].

Вышележащая часть разреза была изучена авторами в ходе полевых работ. Выделено несколько пачек.

**Пачка 1.** Представляет собой чередование черных кремнистых известняков, силицитов и черных сланцев. Преобладают известняки. Мощность пропластков известняков 8—10 см, мощность пропластков сланцев 2—3 см. На нескольких уровнях встречены маломощные прослой (5 см) рыхлого песчанистого известняка. В 4 м от основания пачки — прослой менее кремнистого известняка. В 3 м от подошвы встречены спикулы губок. В 6.3 м от подошвы пачки — трилобиты *Oryctocephalus frischfeldi* Lermontova, 1940 (см. рис. 2, К-2-18.7; фототабл. 1, фиг. 1—3). В 8 м от подошвы — трилобиты *Peronopsis* sp., *Pagetides spinosus* Lazarenko, 1959 (см. рис. 2, К-2-17; фототабл. 1, фиг. 4, 5), многочисленные остатки брахиопод семейства Acrotretidae. Видимая мощность пачки — 8.7 м.

**Пачка 2.** Чередование тонких прослоев черных кремнистых известняков (мощность пропластков 3—5 см), силицитов и черных аргиллитов (мощность пропластков 3—4 см). Около кровли встречены трилобиты (см. рис. 2, К-2-15.5) *Peronopsis integra* (Beurich, 1845) (см. фототабл. 1, фиг. 14), *Pagetia ferox* Lermontova, 1940 (фиг. 7), *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940) (фиг. 8), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956 (фиг. 6), неопределимые трилобиты семейства Anomocaridae, также встречены многочисленные остатки брахиопод семейства Acrotretidae. Мощность пачки 1.5 м.

**Пачка 3.** Чередование прослоев черных кремнистых известняков, силицитов и черных аргиллитов, аналогичное пачки 2, но мощность прослоев известняков больше (10—15 см), мощность прослоев аргиллитов меньше (0.5—1.0 см). В подошве пачки (см. рис. 2, К-2-15.3) встречены трилобиты *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940) (см. фототабл. 1, фиг. 10), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956 (фиг. 6), *Pagetia ferox* Lermontova, 1940 (фиг. 9), *Peronopsis integra* (Beurich, 1845) (фиг. 11, 13). Мощность пачки 1.8 м.

**Пачка 4.** Чередование прослоев черных кремнистых известняков, силицитов и тонких прослоев черных аргиллитов. Мощность — 3 м.

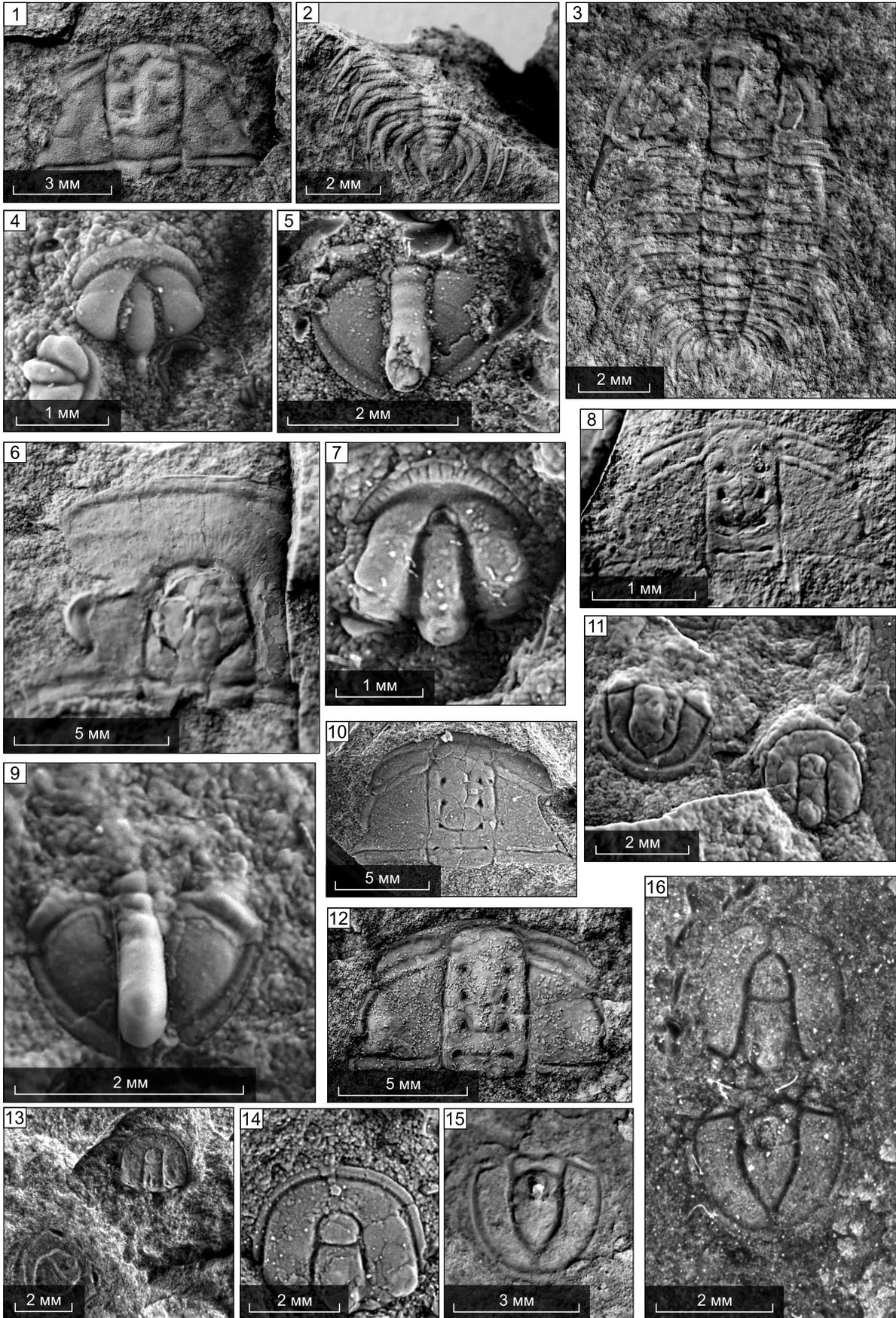
**Пачка 5.** Чередование тонких прослоев черных кремнистых известняков и прослоев черных аргиллитов. Преобладают аргиллиты. В 0.5 м от подошвы пачки наблюдается рыхлый глинистый прослой (5 см) желтого цвета. В подошве встречены трилобиты *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940) (см. фототабл. 1, фиг. 12), *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869), *Peronopsis* sp. (см. рис. 2, К-2-10.5) и акротретидные брахиоподы. Мощность — 2.5 м.

**Пачка 6.** Чередование прослоев черных кремнистых известняков и прослоев черных аргиллитов, аналогичное пачке 5, но мощность прослоев меньше (5—8 см — известняки; 3—4 см — аргиллиты). В разрезе К-1 около кровли пачки найдены брахиоподы *Eoobolus* sp. и трилобиты *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) (см. рис. 2, К-1-5.3; фототабл. 1, фиг. 15, 16, фототабл. 2, фиг. 1), в 1.8 м от кровли — спикулы губок. Мощность — 3.0 м.

**Пачка 7.** Малокуонамский маркирующий горизонт. Известняки серые, темно-серые, комковатые, волнисто-слоистые. В обнажении К-2 в подошве пачки — брахиоподы. В обнажении К-1 в кровле пачки встречены неопределимые обломки раковин брахиопод.

Мощность — 1.4 м в разрезе К-1 и 1.6 м в разрезе К-2.

**Пачка 8.** Маспакыйский маркирующий горизонт. Чередование черных окремненных битуминозных известняков и черных сланцев. Во всей пачке встречаются агностидные трилобиты: *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) найдены в 3.5 и 3.4 м от кровли (см. рис. 2, К-1-3.5, К-1-3.4; фототабл. 2,



## Фототаблица 1.

**Фиг. 1—3.** *Oryctocephalops frischenfeldi* Lermontova, 1940: 1 — кранидий; пачка 1, обр. К-2-18.7а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Ovatoryctocara; 2 — пигидий, там же, обр. К-2-18.7б; 3 — целый панцирь, там же, К-2-18.7б.

**Фиг. 4, 5.** *Pagetides spinosus* Lazarenko, 1959: 4 — кранидии; пачка 1, обр. К-2-17.0а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Ovatoryctocara; 5 — пигидий; там же, обр. К-2-17.0б.

**Фиг. 6.** *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956: кранидии; пачка 2, обр. К-2-15.5а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites.

**Фиг. 7, 9.** *Pagetia ferox* Lermontova, 1940: 7 — кранидий; пачка 2, обр. К-2-15.5б; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites; 9 — пигидий; пачка 3, обр. К-2-15.3а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites.

**Фиг. 8, 10, 12.** *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940): 8 — кранидий; пачка 2, обр. К-2-15.5б; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites; 10 — кранидий; пачка 3, обр. К-2-15.3б; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites; 12 — кранидий; пачка 5, обр. К-2-10.5а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Triplagnostus gibbus.

**Фиг. 11, 13, 14.** *Peronopsis integra* (Beurich, 1845): 11 — цефалон и пигидий; пачка 3, обр. К-2-15.3б; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites; 13 — цефалон и противоотпечаток пигидия; там же, обр. К-2-15.3д; 14 — цефалон; пачка 2, обр. К-2-15.5д; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kounamkites.

**Фиг. 15, 16.** *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869): 15 — пигидий; пачка 6, обр. К-1-5.3а; средний кембрий, амгинский ярус, зона Triplagnostus gibbus; 16 — целый панцирь; там же, обр. К-1-5.3б.

фиг. 2—5), *Tomagnostus fissus* (Lungren, 1879) (см. рис. 2, К-1-3.2; фототабл. 2, фиг. 6, 7), *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) (см. фототабл. 2, фиг. 9) встречаются в 3.2 м от кровли (см. рис. 2, К-1-3.2), в 2 м от кровли встречены неопределимые обломки агностидных трилобитов, в 1 м от кровли и в самой кровле найдены *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) (см. фототабл. 1, фиг. 8), *Aotagnostus* (*Myrmecomimus*) *arctus* (Pokrovskaya et Egorova, 1976) (см. рис. 2, К-1-1.0 и К-1-0; фототабл. 2, фиг. 10—14). Мощность — 3.4 м в разрезе К-2, 2.0—3.6 м в разрезе К-1.

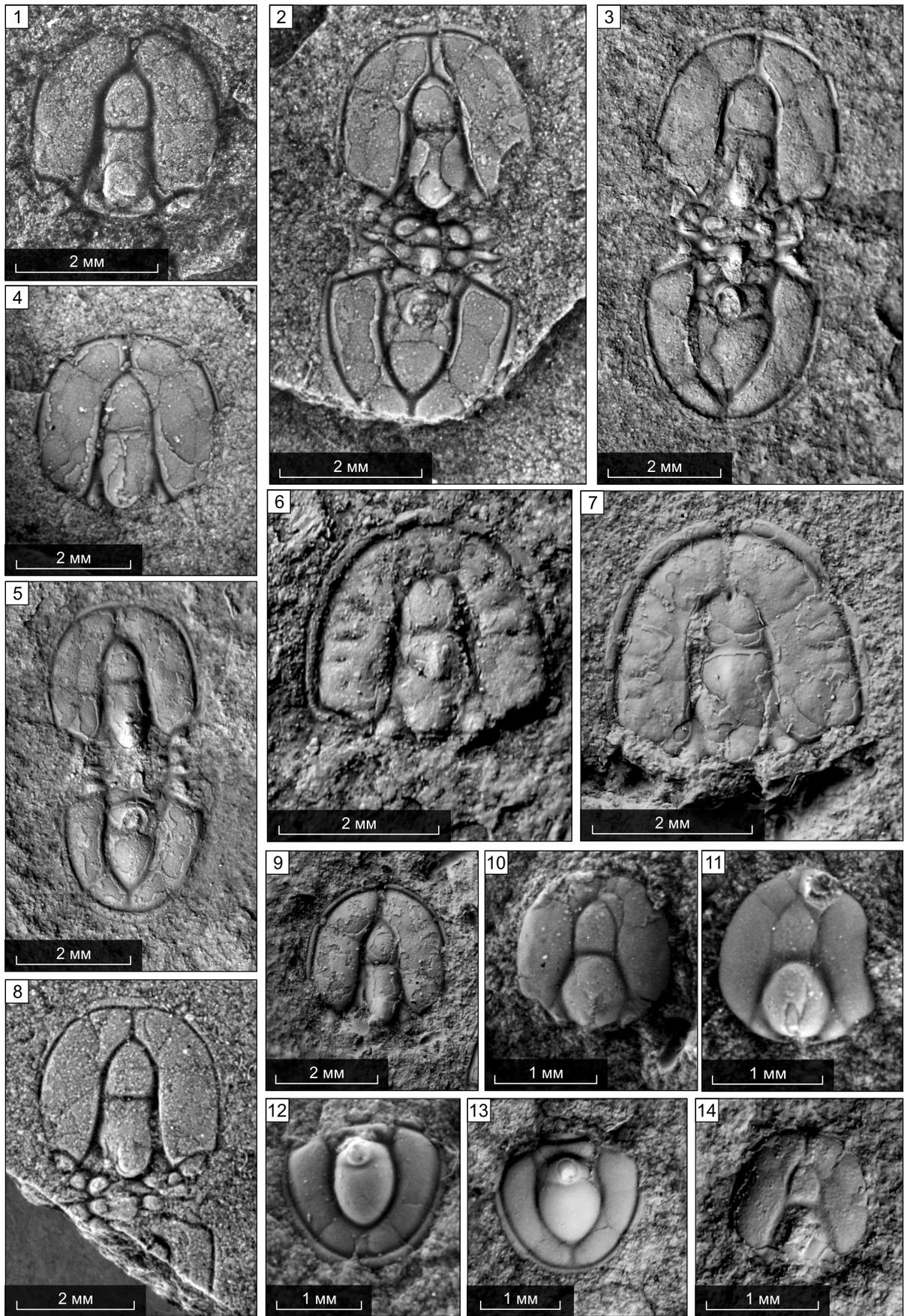
Видимая мощность куонамской свиты — 25.3—25.7 м.

Свита согласно перекрывается оленекской свитой, которая представлена зеленовато-серыми, желтоватыми волнисто-слоистыми глинистыми известняками.

**Биостратиграфия среднекембрийской части куонамской свиты.** Как показано выше, изученная верхняя часть куонамской свиты составила 25.3—25.7 м. По данным [Бахтуров и др., 1988], полная мощность свиты в этом разрезе составляет 31.6—33.2 м. Таким образом, нами осталась неизученной нижняя часть свиты мощностью около 8 м. Первые трилобиты, характерные для низов среднего кембрия, встречены в 6.3 м от начала видимой части куонамской свиты в разрезе К-2 (см. рис. 2). Получается, что первые находки среднекембрийских трилобитов появляются на уровне около 14 м от подошвы свиты. В детально изученном разрезе куонамской свиты на р. Молодо [Коровников, Шабанов, 2008] нижняя граница среднего кембрия устанавливается в 13.4 м от подошвы свиты. В разрезе на р. Некекит первые среднекембрийские трилобиты появляются в разрезе на уровне 15.15 м от подошвы свиты [Савицкий и др., 1972]. Однако стоит отметить, эти разрезы имеют большую мощность (более 50 м). Сопоставимую мощность куонамской свиты с изучаемым разрезом имеет разрез на р. Оленек в среднем течении [Коровников, Шабанов, 2016]. Там мощность куонамской свиты 27 м, а нижняя граница среднего кембрия устанавливается в 11.05 м от ее подошвы. Учитывая эти данные, с большой долей уверенности по первым находкам трилобитов *Oryctocephalops frischenfeldi* Lermontova, 1940 в 6.3 м от подошвы пачки 1 можно установить нижнюю границу среднего кембрия в изучаемом разрезе. Встреченные несколько выше (в 8 м от подошвы) трилобиты *Peronopsis* sp., *Pagetides spinosus* Lazarenko, 1959 (К-2-17) также характерны для низов среднего кембрия. Эти виды в других разрезах куонамской свиты встречаются в пределах первых двух региональных зон амгинского яруса Ovatoryctocara и Kounamkites.

В самых верхах пачки 2 (см. рис. 2) найдены трилобиты *Peronopsis* sp., *Pagetia ferox* Lermontova, 1940, *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956 (К-2-15.5). Два последних вида указывают на принадлежность этого уровня к региональной зоне Kounamkites (вторая зона амгинского яруса). Трилобиты этой же зоны встречены и в подошве пачки 3: *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956, *Pagetia* sp., *Peronopsis integra* (Beurich, 1845) (К-2-15.3).

Выше по разрезу, около подошвы пачки 5, встречены трилобиты *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940), *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869), *Peronopsis* sp. и акротретидные брахиоподы (К-2-10.5). Присутствие в комплексе трилобитов *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) позволяет сопоставить этот уровень с региональной зоной *Triplagnostus gibbus*. Таким образом, интервал куонамской свиты от 6.3 м от начала разреза (пачка 1) до подошвы пачки 5 мощностью 8.7 м можно сопоставить с интервалом двух первых региональных зон Ovatoryctocara и Kounamkites амгинского яруса. Условно границу между этими зонами можно провести по появлению в разрезе трилобитов *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956 в верхах пачки 2. Но следует заметить, что трилобиты *Oryctocephalops frischenfeldi*



## Фототаблица 2.

**Фиг. 1—5, 8, 9.** *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869): 1 — цефалон, пачка 6, обр. К-1-5.3б; средний кембрий, амгинский ярус, зона *Triplagnostus gibbus*; 2, 3 — целые панцири; пачка 8, обр. К-1-3.4а, б; средний кембрий, амгинский ярус, зона *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*; 4 — цефалон, там же, обр. К-1-3.4б; 5 — целый панцирь; там же, обр. К-1-3.2а; 8 — цефалон и сегменты торакса; пачка 8, обр. К-1-0а; средний кембрий, амгинский ярус, зона *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*; 9 — цефалон; там же; обр. К-1-3.2.

**Фиг. 6, 7.** *Tomagnostus fissus* (Lungren, 1879): цефалоны; пачка 8, обр. К-1-3.2б, в; средний кембрий, амгинский ярус, зона *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*.

**Фиг. 10—14.** *Aotagnostus (Myrmecomimus) arctus* (Pokrovskaya et Egorova, 1976): цефалоны и пигидии; пачка 8, образцы К-1-0 (б, с, d, e, f); средний кембрий, амгинский ярус, зона *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*.

Lermontova, 1940, *Pagetides spinosus* Lazarenko, 1959, встреченные ниже, могут присутствовать в пределах двух первых зон амгинского яруса.

Как уже упоминалось выше, первые трилобиты *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) найдены около подошвы пачки 5 (см. рис. 2). Они же встречаются выше по разрезу в кровле шестой пачки (К-1-5,3) и в низах пачки 8 (К-1-3.5).

Седьмая пачка — это малокуонамский маркирующий горизонт, в котором в других разрезах куонамской свиты, начиная с его подошвы, встречаются трилобиты, характеризующие зону *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri* амгинского яруса. В разрезе на р. Кюленке трилобиты этой зоны были встречены только в пачке 8. Вероятно, к региональной зоне *Triplagnostus gibbus* можно отнести интервал разреза мощностью 5.5 м (пачки 5 и 6).

К вышележащей региональной зоне *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*, вероятно, относится пачка 7 (малокуонамский маркирующий горизонт), по аналогии с другими разрезами, и пачка 8 (маспакыйский маркирующий горизонт), в которой практически с подошвы встречаются многочисленные трилобиты *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869), *Tomagnostus fissus* (Lungren, 1879), *Aotagnostus (Myrmecomimus) arctus* (Pokrovskaya et Egorova, 1976), типичные для этой зоны. Верхние 5.0 м куонамской свиты соответствуют низам региональной зоны *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*. По данным из других разрезов, комплекс, характерный для этой зоны, продолжает встречаться в низах вышележащей оленекской свиты.

Таким образом, в изученной части куонамской свиты, основываясь на находках трилобитов, устанавливается та же последовательность комплексов трилобитов, что и в других, более детально изученных разрезах, характерная для региональных зон амгинского яруса среднего кембрия.

Так, интервал разреза от 6.3 до 15.0 м (мощностью 8.7 м) сопоставляется с региональными зонами *Ovatorystocara* и *Kouanamkites*. Условно границу между этими зонами можно установить на уровне 10.3 м от начала разреза К-2 по появлению трилобитов *Kouanamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956.

Интервал разреза К-2 от 15.0 до 20.5 м сопоставляется с региональной зоной *Triplagnostus gibbus*. Подошва устанавливается по появлению в разрезе вида-индекса *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869), кровля — по подошве пачки 7 (малокуонамский маркирующий горизонт), поскольку в других разрезах куонамской свиты именно там начинают встречаться трилобиты, типичные для следующей региональной зоны.

С низами региональной зоны *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri* сопоставляется верхняя часть куонамской свиты в изученных разрезах (пачки 7 и 8, малокуонамский и маспакыйский маркирующие горизонты), поскольку в пределах маспакыйского горизонта (пачка 8) встречены типичные представители этой зоны.

**Особенности комплексов трилобитов.** Комплексы трилобитов в изученном разрезе являются типичными для среднекембрийской части куонамской свиты. В других разрезах они присутствуют в этой же части свиты [Савицкий и др., 1972; Шабанов и др., 2008; Коровников, Шабанов, 2016; и др.]. Однако комплексы трилобитов имеют некоторые особенности. Так, наблюдается существенное уменьшение как численности, так и таксономического разнообразия комплексов трилобитов по сравнению с разрезами, расположенными в северо-восточной части Сибирской платформы (реки Молодо, Некекит, Бороулах и др.). В разрезе на р. Кюленке обнаружено 9 видов трилобитов. В аналогичном среднекембрийском интервале разреза куонамской свиты на р. Молодо встречено более 40 видов трилобитов [Шабанов и др., 2008].

Кроме этого, обращает на себя внимание тот факт, что находки трилобитов, встречающихся в изобилии, приурочены к нескольким уровням. Между этими уровнями обнаружены редкие неопределимые обломки трилобитов.

Первый такой уровень отмечается в 6.3 м от подошвы пачки 1. Там в большом количестве встречены остатки *Oryctocephalops frischenfeldi* Lermontova, 1940. Следующий уровень с массовыми остатками трилобитов *Perononsis* sp., *Pagetides spinosus* Lazarenko, 1959 отмечен в 8 м от подошвы пачки 1.

Здесь же найдены многочисленные остатки брахиопод семейства Acrotretidae. Третий уровень массовых находок трилобитов в разрезе приходится на пограничный интервал между второй и третьей пачками. В кровле второй пачки и в подошве третьей пачки встречены многочисленные остатки трилобитов *Peronopsis* sp., *Pagetia ferox* Lermontova, 1940, *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956, многочисленные остатки брахиопод семейства Acrotretidae и трилобиты *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940), *Kounamkites virgatus* N.Tchernysheva, 1956, *Pagetia* sp., *Peronopsis integra* (Beyrich, 1845).

Следующий уровень массовых находок трилобитов приурочен к верхам пачки б. Здесь встречены многочисленные остатки трилобитов *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) и брахиоподы *Eoobolus* sp. Выше по разрезу в низах пачки 8 в разрезе наблюдается интервал разреза мощностью 0.5 м, в пределах которого остатки трилобитов *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869) найдены в большом количестве. Здесь же в несколько меньшем количестве найдены трилобиты *Tomagnostus fissus* (Lungren, 1879).

В самой кровле куонамской свиты встречены многочисленные остатки трилобитов *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869), *Aotagnostus (Myrmecomimus) arctus* (Pokrovskaya et Egorova, 1976).

Таким образом, в среднекембрийской части разреза куонамской свиты наблюдаются шесть уровней с массовыми остатками трилобитов и брахиопод. Два уровня расположены в пределах зоны Ovatoryctocara; третий — в пограничном интервале зон Ovatoryctocara и Kounamkites; четвертый — около кровли зоны *Triplagnostus gibbus*; пятый и шестой — в пределах зоны *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri*.

**Геохимия пород и углеводородов.** Состав пород куонамской свиты обнажения р. Кюленке представлен в табл. 1. Выделена группа высокоуглеродистых черных сланцев глинисто-кремнистого состава с содержанием  $C_{орг}$  на уровне 10 % и больше. Содержание  $HO$  и  $CO_2$  в породах указывают, что они редко обогащены карбонатным материалом. Черные сланцы, как правило, имеют повышенные значения общего содержания  $Fe_2O_3$  и  $S$ . В породах преобладает  $S_{сульфид}$ . Содержание  $S_{сульфат}$  изменяется от 0.11 до 0.39 %. Образование сульфатов связано с окислением сульфидов минеральных и органических компонентов пород куонамской свиты в зоне гипергенеза. Установлено, что отношение пиритного железа к  $C_{орг}$  лежит в интервале 0.13—0.28 (см. табл. 1). Этот тип пород встречен в нижней и средней частях разреза.

Таблица 1. Состав пород куонамской свиты (р. Кюленке)

№ образца	Содержание в % на породу							$Fe_{пирит}/C_{орг}$
	$HO$	$C_{орг}$	$Fe_2O_{3общ}$	$CO_2$	$S_{общ}$	$S_{сульфат}$	$S_{сульфид}$	
<b>Высокоуглеродистые черные сланцы</b>								
К-2-2	66.0	14.6	3.33	11.78	2.56	0.32	2.24	0.13
К-2-4	57.5	10.4	6.35	7.55	3.72	0.11	3.53	0.28
К-2-6	78.0	9.9	4.27	5.81	2.80	0.35	2.45	0.21
К-2-10	90.0	13.4	4.06	0.82	2.65	0.39	2.26	0.14
<b>Породы карбонатного и смешанного состава</b>								
К-1-2	55.6	3.5	2.81	17.27	1.15	0.05	1.10	0.26
К-1-3	55.2	3.7	3.54	14.28	1.81	0.05	1.76	0.40
К-1-4	64.4	4.1	2.60	13.28	1.17	0.07	1.10	0.23
К-1-5	50.8	0.9	0.83	19.01	0.39	0.05	0.34	0.31
К-1-6	43.2	2.8	1.35	19.51	0.73	0.05	0.68	0.20
К-1-7в	37.6	0.3	0.52	15.24	0.30	0.02	0.28	0.92
К-1-8	53.4	2.5	1.46	18.01	0.71	0.04	0.67	0.22
К-1-9	48.4	1.2	1.14	20.26	0.75	0.10	0.65	0.46
К-2-1	55.5	3.4	3.54	14.53	1.93	0.12	1.81	0.45
К-2-6а	16.0	0.7	1.56	28.48	0.62	0.04	0.58	0.70
К-2-9	27.0	4.2	0.94	29.97	0.73	0.05	0.68	0.14
<b>Черные силициты</b>								
К-2-3	94.5	1.9	0.73	0.82	0.27	0.12	0.15	0.07
К-2-5	91.5	3.8	1.04	3.06	0.50	0.03	0.47	0.10
К-2-7	93.0	5.2	1.04	1.82	0.60	0.07	0.53	0.09
К-2-8	95.5	3.7	0.83	0.57	0.56	—	0.56	0.13

Таблица 2. Характеристика ОБ пород куонамской свиты (углеводороды, изотопный состав углерода)

№ образца	Pr/ <i>n</i> -C <sub>17</sub>	Ph/ <i>n</i> -C <sub>18</sub>	Стераны						Терпаны						Трицикланы/ (гопаны + + гомогопаны)	(стераны + + прегнаны)/ (терпаны)	δ <sup>13</sup> C, %
			в % от суммы				C <sub>29</sub> / C <sub>27</sub>	стераны/ прегнаны	в % на сумму								
			C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>	C <sub>30</sub>			гопаны	гомогопаны	моретаны	трицикланы	тетрацикланы	гаммацеллан			
<b>Высокоуглеродистые черные сланцы</b>																	
К-2-2	0.3	0.4	40.3	20.6	37.1	2.0	0.9	1.1	18.4	7.0	1.2	69.8	3.6	0.05	2.7	0.5	-32.3
К-2-4	0.3	0.5	43.8	18.0	35.9	2.4	0.8	1.2	18.9	8.9	1.5	67.7	2.9	0.08	2.4	0.4	-31.6
К-2-6	0.5	0.8	36.0	13.5	48.0	2.5	1.3	1.8	23.8	12.7	1.7	58.6	3.2	0.10	1.6	0.4	-32.0
К-2-10	0.8	1.1	36.8	17.8	43.2	2.2	1.2	1.4	19.5	8.3	1.4	67.1	3.7	0.12	2.4	0.5	-30.3
<b>Породы карбонатного и смешанного состава</b>																	
К-1-2	0.8	0.8	32.2	12.4	53.0	2.4	1.6	2.6	24.9	14.3	1.6	56.7	2.5	0.65	1.4	0.4	—
К-1-3	0.7	0.7	30.9	13.0	53.5	2.6	1.7	2.8	25.9	15.3	1.8	54.6	2.3	0.66	1.3	0.5	—
К-1-4	0.5	0.8	32.6	13.2	51.8	2.4	1.6	2.3	26.5	13.7	1.8	55.5	2.5	0.58	1.4	0.5	-30.3
К-1-6	0.7	0.8	31.3	12.5	54.0	2.2	1.7	3.0	27.7	16.4	1.5	51.8	2.5	0.77	1.2	0.4	—
К-1-9	0.5	0.5	33.4	13.2	50.7	2.8	1.5	3.2	23.6	13.0	1.4	59.7	2.4	0.76	1.6	0.5	-30.1
К-2-1	0.4	0.6	38.3	17.0	41.2	3.6	1.1	3.3	33.2	16.6	2.3	45.2	2.7	1.61	0.9	0.5	-31.9
К-2-9	0.8	1.2	32.6	13.4	52.3	1.8	1.6	3.1	28.1	16.0	2.0	50.9	3.1	0.22	1.2	0.3	—
<b>Черные силициты</b>																	
К-2-3	0.3	0.5	31.9	12.9	52.9	2.3	1.7	3.8	29.4	16.7	1.9	49.2	2.8	0.02	1.1	0.3	—
К-2-5	0.3	0.4	32.9	12.5	52.9	1.6	1.6	3.8	29.2	17.6	1.8	48.5	2.8	0.10	1.0	0.3	-31.4
К-2-7	0.3	0.4	31.4	13.3	53.0	2.3	1.7	3.6	29.5	17.2	2.1	48.5	2.7	0.12	1.0	0.3	-30.6
К-2-8	0.4	0.5	31.5	13.6	52.2	2.7	1.7	4.1	28.6	17.3	1.9	49.3	2.9	0.11	1.1	0.3	-32.6

В изученном материале также выявлены углеводородистые породы с содержанием C<sub>орг</sub> меньше 10 %. Среди них в основном присутствуют породы смешанного состава (глинисто-кремнистые известняки, глинисто-карбонатно-кремневые породы), встречаются черные силициты (см. табл. 1). Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>общ, S<sub>общ</sub>, S<sub>сульфид</sub> и S<sub>сульфат</sub> понижено. Отношение Fe<sub>пирит</sub>/C<sub>орг</sub> изменяется от 0.07 до 0.92, минимальные значения характеризуют силициты.

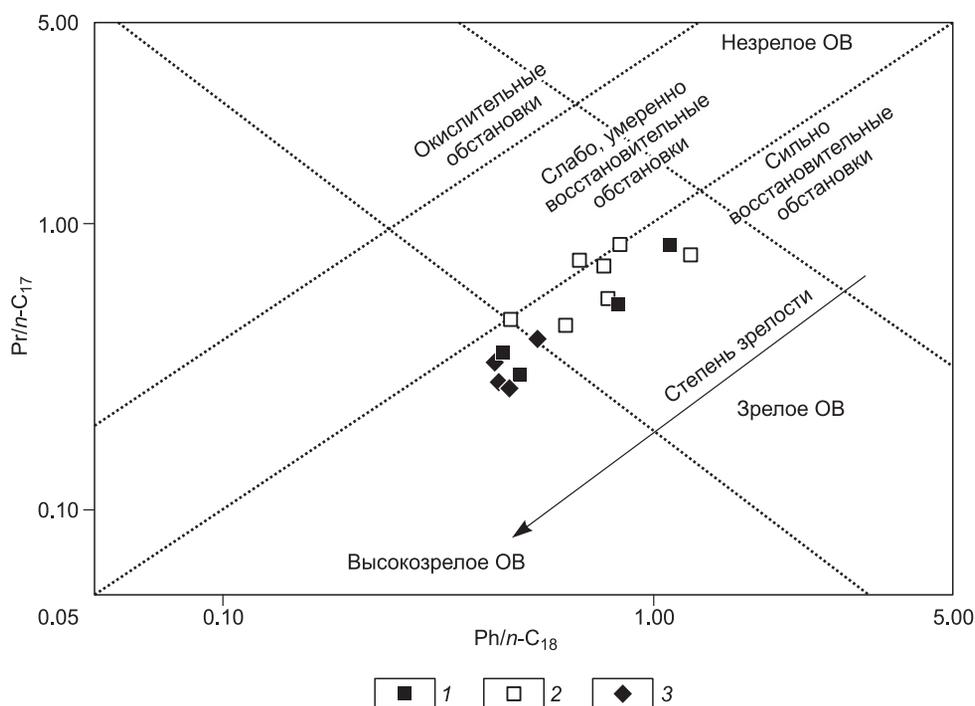
Установлены типичные для обогащенных ОБ пород прямые зависимости между содержанием C<sub>орг</sub> и количеством в породах Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>общ, S<sub>общ</sub>, S<sub>сульфид</sub>. Выявлена связь между C<sub>орг</sub> и S<sub>сульфат</sub>. Ранее она была показана для пород куонамской свиты из разреза р. Молодо [Парфенова и др., 2010].

Выход битумоида в черных сланцах изменяется от 0.04 до 0.09 %. В его составе содержание насыщенных УВ равно 7.6—16.1 %, ароматических соединений — 34.8—55.5 %, смол — 27.6—54.8 %, асфальтеновых компонентов — 0.9—3.5 %. В углеводородистых породах смешанного состава и силицитах выход битумоида больше, он варьирует от 0.03 до 0.21 %. Битумоиды углеводородистых пород содержат 9.8—21.4 % насыщенных УВ, 20.7—39.9 % ароматических соединений, 36.1—48.3 % смол, 3.6—33.4 % асфальтеновых компонентов. Аномально высокие концентрации асфальтенов (больше 15 %) установлены в силицитах.

Детально результаты изучения сингенетических битумоидов рассеянного ОБ, битумов и их насыщенных УВ потенциально нефтематеринских пород из разрезов р. Кюленке представлены в публикациях [Каширцев, 2003; Парфенова и др., 2011]. В настоящей работе обратим внимание на соотношение некоторых индивидуальных УВ, состав стеранов и терпанов (табл. 2) для решения поставленных задач.

Отношения алканов в битумоидах пород имеют близкие значения (см. табл. 2). Соотношение пристана (Pr) к фитану (Ph) изменяется от 0.7 до 1.5, отношение Pr/*n*-C<sub>17</sub> — от 0.3 до 0.8, Ph/*n*-C<sub>18</sub> — от 0.4 до 1.2 (см. табл. 2; рис. 3).

На масс-хроматограммах по *m/z* 217 идентифицированы стераны C<sub>27-30</sub> и прегнаны C<sub>21-22</sub>. Известно, что источником стеранов являются эукариоты [Peters et al., 2005]. Распределение стеранов в высокоуглеродистых черных сланцах и углеводородистых породах отличается. В последних обычно преобладают этилхолестаны. Их содержание достигает 53.5% на сумму гомологов. Отношение стеранов C<sub>29</sub>/C<sub>27</sub>, как правило, больше двух (см. табл. 2). Среди насыщенных УВ битумоидов высокоуглеродистых черных сланцев содержание холестанов (C<sub>27</sub>) изменяется от 36 до 44 %, метилхолестанов (C<sub>28</sub>) — от 13 до 21 %, этилхолестанов (C<sub>29</sub>) — от 36 до 48 %. Концентрации пропилхолестанов (C<sub>30</sub>) сохраняются на уровне



**Рис. 3.** Диаграмма отношений пристана к  $n$ - $C_{17}$ , фитана к  $n$ - $C_{18}$  [Connan, Cassou, 1980] для битумоидов из пород куонамской свиты.

1 — высокоуглеродистые черные сланцы, 2 — углеродистые глинисто-кремнистые известняки, глинисто-карбонатно-кремневые породы, 3 — черные силициты.

2 %. Как в битумоидах куонамской и иниканской свит из разрезов, изученных ранее, относительное содержание прегнанов возрастает с увеличением содержания в породах  $C_{орг}$  и  $S_{общ}$ ,  $S_{сульфид}$  [Парфенова и др., 2004; Parfenova, Ivanova, 2007; Parfenova, 2017]. В высокоуглеродистых сланцах отношение стераны/прегнаны изменяется от 1.1 до 1.8, в углеродистых породах — от 2.6 до 4.1 (см. табл. 2).

Терпаны насыщенных фракций идентифицированы на масс-хроматограммах по  $m/z$  191. Установлено, что в составе терпанов преобладают трицикланы (см. табл. 2). Происхождение этих УВ связывают с развитием в биологическом сообществе *Tasmanites* (празиофиты) и *Leiosphaeridia* (вымершие водоросли или акритархи) [Greenwood et al., 2000; Dutta et al., 2006]. В насыщенных УВ битумоидов высокоуглеродистых черных сланцев трицикланов больше, чем в породах смешанного состава и силицитах. Гопанов, источником которых признаны бактерии [Peters et al., 2005], больше в УВ углеродистых пород. Соответственно, для черных сланцев наблюдаются повышенные значения отношения трицикланы/(гопаны + гомогопаны) до 2.7 (см. табл. 2). Среди гомогопанов с ростом молекулярной массы содержание гомологов уменьшается. Отношение гомогопанов  $C_{35}$  к  $C_{34}$  изменяется от 0.5 до 0.7. Тетрацикланы и моретаны имеют минимальные содержания среди терпанов. Следует обратить внимание на изменение соотношения суммы стеранов и прегнанов к сумме терпанов. Минимальные значения на уровне 0.3 характеризуют УВ черных силицитов. Зависимость этого параметра от содержания  $C_{орг}$  в породах отсутствует. Обнаружено, что значения отношения (стераны + прегнаны)/терпаны увеличиваются с ростом содержаний  $S_{общ}$  и  $S_{сульфид}$ . На масс-хроматограммах по  $m/z$  191 во всех образцах идентифицирован гаммацеран. Его содержание на сумму терпанов изменяется, как правило, от 0.02 до 0.77 %, в одном образце достигает 1.61 %. Впервые установлено, что с увеличением содержания гаммацерана растет значение отношения  $Fe_{пирит}/C_{орг}$ .

Для некарбонатного углерода пород значения  $\delta^{13}C$  близки. Они изменяются от  $-32.6$  до  $-30.3$  ‰ и не зависят от состава пород и содержания в них  $C_{орг}$ .

**Условия формирования куонамских осадков.** Распределение ОБ в разрезе, чередование высокоуглеродистых черных сланцев, углеродистых пород смешанного состава и силицитов, охарактеризованных разным соотношением стерановых и терпановых УВ, указывают, что в куонамском морском бассейне происходила смена микробиоценозов. В состав биологических сообществ, кроме макроформ, входили археи, водоросли и бактерии. Вероятно, периоды развития в бассейне водорослевого планктона приводили к накоплению аномального количества ОБ в осадке и формированию впоследствии высоко-

углеродистых черных сланцев. На фоне затухания этого процесса возрастал вклад бактериальных организмов в ОВ, накапливались осадки, обогащенные ОВ в меньшей степени.

Выше было показано, что скопления остатков трилобитов приурочены к узким интервалам разреза. Поскольку в изученном разрезе придонная фауна, в том числе и трилобитовая, присутствует только в нескольких узких интервалах и представлена несколькими видами, адаптированными к существующим условиям, можно рассматривать следующие гипотезы. Во-первых, предположить, что осадконакопление проходило преимущественно в аноксических обстановках. Во-вторых, связать интервалы разреза, охарактеризованные находками трилобитов, с периодами кратковременного исчезновения аноксии в результате попадания в палеобассейн вод, обогащенных кислородом. Такая ситуация известна для палеобассейнов с аноксическими обстановками. При исследовании кембрийских пород, обогащенных органическим веществом (формация Alum Shale, Скандинавия), было установлено, что остатки фауны приурочены к прослоям пород, которые накапливались при кратковременном повышенном содержании кислорода [Dahl et al., 2019]. Однако геохимическими исследованиями установлено, что седиментация ОВ происходила в условиях нормальной аэрации вод морского бассейна. Поэтому причины имеющегося распределения макробиоты в разрезе, вероятно, надо искать в другом.

Рассмотрим геохимические параметры, которые являются индикаторами условий накопления и преобразования минерального и органического вещества пород на этапах седиментации и диагенеза.

Распределение гомоганов, гомогановый индекс  $C_{35}/C_{34}$  меньше единицы, содержание гаммацераана менее 1 % [Santos Neto et al., 1998; Каширцев, 2003; Peters et al., 2005] указывают, что во время седиментогенеза не было стратификации и аноксии придонных вод. Сильно восстановительные условия были ниже границы воды с осадком. Об этом свидетельствует положение образцов на диаграмме УВ (см. рис. 3) [Connan, Cassou, 1980]. Значения  $Fe_{\text{пирит}}/C_{\text{орг}}$  [Страхов, Залманзон, 1955] подтверждают это. Известно, что в пресноводных субокислительных обстановках соотношение пиритного железа к органическому углероду меньше 0.03—0.06, в морских восстановительных больше 0.1—0.2 [Страхов, Залманзон, 1955]. Вариации  $Fe_{\text{пирит}}/C_{\text{орг}}$  свидетельствуют, что преобразование высокоуглеродистых черносланцевых осадков шло в более восстановительных условиях, чем углеродистых карбонатных и кремневых илов. Это отразилось на содержании в УВ осадков гаммацераана, который является индикатором аноксии и солености [Peters et al., 2005]. Серия представленных выше связей показывает, что интенсивность сульфатредукции контролировалась количеством ОВ и содержанием сульфатов. Она была выше при формировании высокоуглеродистых осадков по сравнению с обедненными ОВ илами. Закономерное повышение содержания низкомолекулярных стеранов (прегнанов) в породах указывает на рост активности алкилотрофных анаэробных бактерий с увеличением содержания ОВ, поступающего в осадок. Биодеградация (деалкилирование) высокомолекулярных стерановых УВ черносланцевых осадков была выше, чем углеродистых илов. Вероятно, скорость минерализации преимущественно карбонатных и кремневых осадков была больше, что дополнительно приводило к обеднению известняков и силицитов органическим веществом по сравнению с высокоуглеродистыми сланцами. Повышенная скорость минерализации карбонатных и кремневых илов подавляла деятельность анаэробных прокариот, прекращались сульфатредукция и деалкилирование стеранов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В изученной части куонамской свиты, основываясь на находках трилобитов, устанавливается та же последовательность комплексов трилобитов, что и в других более детально изученных разрезах, характерная для региональных зон амгинского яруса среднего кембрия. Установлены интервалы разреза, соответствующие региональным зонам *Ovatoryctocara* и *Kounamkites*, зоне *Triplagnostus gibbus* и нижней части зоны *Tomagnostus fissus*—*Paradoxides sacheri* амгинского яруса среднего кембрия.

Комплексы трилобитов в изученном разрезе являются типичными для среднекембрийской части куонамской свиты. Однако комплексы имеют некоторые особенности, которые выражены в существенном уменьшении численности и таксономического разнообразия по сравнению с другими разрезами (разрезы на реках Молодо, Некекит, Бороулах и др.).

В изученном разрезе в среднекембрийской части куонамской свиты наблюдаются шесть уровней с массовыми остатками трилобитов и брахиопод. Три уровня приурочены к низам среднего кембрия и к первой зоне амгинского яруса среднего кембрия *Ovatoryctocara*. Три других уровня наблюдаются в верхах куонамской свиты, в верхних пяти метрах.

Анализ распространения фаунистических остатков в разрезе показал, что массовые скопления остатков трилобитов приурочены к породам смешанного состава. В черных силицитах и известняках трилобиты встречены не были. Сохранность насыщенных УВ биомаркеров и изотопов некарбонатного углерода, характеризующих рассеянное зрелое ОВ, не зависит от литологии пород.

Сравнительный анализ содержания минеральных компонентов и углеводородов битумоидов пород интервалов разреза вблизи находок трилобитов показал, что следы макрофауны нельзя связать с

фациальными геохимическими особенностями. Возможно, отсутствие связи палеонтологических находок и геохимических параметров пород вызвано грубым отбором образцов. Исследование следует продолжить на более детальном уровне, отбирая образцы для палеонтологического и геохимического изучения из тонких слоев (сантиметры, миллиметры).

Установлено, что седиментация ОВ происходила в условиях нормальной аэрации вод морского бассейна. Интенсивность химических и биохимических трансформаций минеральных и органических компонентов в диагенезе контролировалась содержанием органического углерода, сульфат-иона, активностью анаэробного сообщества прокариот, скоростью минерализации осадков.

Работа выполнена в рамках проектов ФНИ 0331-2019-0003 «Палеонтологическое и экостратиграфическое обоснование зональных стратиграфических схем палеозоя Сибири, палеогеографическое и биофациальное районирование осадочных бассейнов» и 0331-2019-0022 «Органическая геохимия и история геологического развития доминантных нефтегазовых систем верхнего протерозоя и фанерозоя Сибири».

## ЛИТЕРАТУРА

**Бахтуров С.Ф., Евтушенко В.М., Переладов В.С.** Куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация. Новосибирск, Наука, 1988, 160 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 671).

**Каширцев В.А.** Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. Якутск, ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003, 159 с.

**Коровников И.В., Шабанов Ю.Я.** Трилобиты пограничных отложений нижнего и среднего кембрия стратотипического разреза на р. Молодо (восток Сибирской платформы) // Разрезы кембрия Сибирской платформы — кандидаты в стратотипы подразделений Международной стратиграфической шкалы (стратиграфия и палеонтология). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008, с. 71—104.

**Коровников И.В., Шабанов Ю.Я.** Трилобиты и биостратиграфия куонамской свиты (р. Оленек) // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (4), с. 715—728.

**Парфенова Т.М., Бахтуров С.Ф., Шабанов Ю.Я.** Органическая геохимия нефтепроизводящих пород куонамской свиты кембрия (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 911—923.

**Парфенова Т.М., Конторович А.Э., Борисова Л.С., Меленевский В.Н.** Кероген куонамской свиты кембрия (северо-восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (3), с. 357—367, <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.02.004>.

**Парфенова Т.М., Коровников И.В., Иванова Е.Н., Меленевский В.Н.** Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород среднего кембрия (северо-восток Сибирской платформы) // Геология нефти и газа, 2011, № 5, с. 64—72.

**Парфенова Т.М., Каширцев В.А., Коровников И.В.** Новые находки нафтидопроявлений в породах среднего кембрия на северо-востоке Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика: электрон. науч. журнал, 2014, т. 9, № 2, с. 1—22. [http://www.ngtp.ru/rub/1/25\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/25_2014.pdf).

**Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. 4.1. Верхний протерозой и нижний палеозой. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1983, 215 с.

**Савицкий В.Е., Евтушенко В.М., Егорова Л.И., Конторович А.Э., Шабанов Ю.Я.** Кембрий Сибирской платформы. М., Недра, 1972, 200 с.

**Старосельцев В.С., Шишкин Б.Б.** Обстановки накопления углеродистых пород кембрия Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (5—6), с. 787—796.

**Страхов Н.М., Залманзон Э.С.** Распределение аутигенно-минералогических форм железа в осадочных породах и его значение для литологии // Изв. АН СССР, серия геологическая, 1955, № 1, с. 34—51.

**Шабанов Ю.Я., Коровников И.В., Переладов В.С., Пак К.Л., Фефелов А.Ф.** Разрез куонамской свиты на р. Молодо — кандидат глобального стратотипа нижней границы среднего кембрия (восток Сибирской платформы) // Разрезы кембрия Сибирской платформы — кандидаты в стратотипы подразделений Международной стратиграфической шкалы (стратиграфия и палеонтология). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008, с. 59—70.

**Connan J., Cassou A.M.** Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, v. 44, p. 1—22.

**Dahl T.W., Siggaard-Andersen M., Niels H., Schovsbo N.H., Persson D.O., Søren Husted S., Hougård I.W., Dickson A.J., Kjaer K., Nielsen A.T.** Brief oxygenation events in locally anoxic oceans during the Cambrian solves the animal breathing paradox // *Sci. Rep.*, 2019, № 9, p. 1—9.

**Dutta S., Greenwood P.F., Brocke R., Schaefer R.G., Mann U.I.** New insights into the relationship between Tasmanites and tricyclic terpenoids // *Org. Geochem.*, 2006, v. 37, p. 117—127.

**Greenwood P.F., Arouri K.R., George S.C.** Tricyclic terpenoid composition of Tasmanites kerogen as determined by pyrolysis GC-MS // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2000, v. 64, p. 1249—1263.

**Parfenova T.M.** Geochemistry of sulfur and sulfur compounds of the Cambrian Kuonamka complex (eastern Siberian platform) // *Georesursy*, 2017, v. 19 (1), p. 45—51, doi: <http://doi.org/10.18599/grs.19.1.8>.

**Parfenova T.M.** New geochemical data on the organic matter in rocks of the Lower and Middle Cambrian Kuonamka complex, the Lena–Amga Interfluvial Area, southeastern Siberian Platform // *Geochem. Int.*, 2018, v. 56 (5), p. 438—449, doi: 10.1134/S0016702918050051.

**Parfenova T.M., Ivanova Y.N.** Saturated and triaromatic steroids of aquagene organic matter of the Cambrian Kuonamka formation (eastern Siberian platform) // *The 23rd International Meeting on Organic Geochemistry*, Torquay, England, 9—14 September 2007. Book of abstracts / Ed. P. Farrimond. 2007, p. 491—492.

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

**Santos Neto E.V., Hayes J.M., Takaki T.** Isotopic biogeochemistry of the Neocomian lacustrine and Upper Aptian marine-evaporitic sediments of the Potiguar Basin, northeastern Brazil // *Org. Geochem.*, 1998, v. 28, № 6, p. 361—381.

*Поступила в редакцию 22 апреля 2020 г.,  
принята в печать 3 июля 2020 г.*