

УДК 551.732:550.4:552.578.3

БИОСТРАТИГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ПОРОД НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КЮЛЕНКЕ (первые результаты исследования керна скважин)

И.В. Коровников^{1,2}, И.В. Варакина¹, А.Э. Конторович¹, Т.М. Парфенова^{1,2}

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

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

Выполнено комплексное биостратиграфическое, литологическое и геохимическое изучение пород керна скважин, пробуренных в бассейне реки Кюленке. Исследование найденных ископаемых остатков, состава пород, анализ распределения трилобитов и изменения литолого-геохимических характеристик отложений позволили выявить особенности строения маркирующих горизонтов, провести корреляцию разрезов скважин и обнажений, сопоставить отдельные интервалы кембрийских отложений с региональными зонами Юдомо-Оленекского фациального региона Сибирской платформы. Установлено, что породы куонамской свиты обогащены ураном (U), наблюдается прямая связь между содержанием U и органическим углеродом (C_{org}) пород, характерная для черносланцевых отложений нижнего и среднего кембрия из обнажений востока Сибирской платформы. Впервые выявлена связь радиоактивности пород по гамма-каротажу с содержанием U и C_{org} в породах кембрия.

Трилобиты, биостратиграфия, нефтематеринские породы, углерод, уран, радиоактивность, нижний и средний кембрий, куонамская свита, Сибирская платформа

BIOSTRATIGRAPHY, LITHOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE LOWER AND MIDDLE CAMBRIAN ROCKS IN THE KYULENKE RIVER BASIN: FIRST RESULTS OF BOREHOLE CORE STUDY

I.V. Korovnikov, I.V. Varakina, A.E. Kontorovich, T.M. Parfenova

We have studied biostratigraphy, lithology and geochemistry of drill cores from the Kyulenke River basin. The study of fossil remains and rock compositions, the analysis of trilobite distributions and changes in the lithological and geochemical characteristics of the sediments made it possible to identify structural features of the marker horizons, to correlate borehole sections and outcrops, to compare individual Cambrian intervals and the regional zones of the Yudoma–Olenek facies region of the Siberian Platform. The study has shown rocks of the Kuonamka Formation to be enriched in uranium (U) and revealed a direct relationship between the contents of U and organic carbon (C_{org}) in the analyzed rocks, typical for the lower and middle Cambrian black shale deposits sampled from the outcrops in the eastern parts of the Siberian Platform. For the first time, a relationship of rock radioactivity by gamma-ray logging with the contents of U and C_{org} in Cambrian rocks was established.

Trilobites, biostratigraphy, source rocks, carbon, uranium, radioactivity, lower and middle Cambrian, Kuonamka Formation, Siberian Platform

ВВЕДЕНИЕ

Куонамская свита, обогащенная органическим веществом (ОВ), широко распространена в восточной части Сибирской платформы [Конторович, Савицкий, 1970; Савицкий и др., 1972; Бахтуров и др., 1988; Старосельцев, Шишкин, 2014] и приурочена к стратиграфическому интервалу от низов ботомского яруса нижнего кембрия до низов майского яруса среднего кембрия. Большое количество разнообразных остатков кембрийской биоты (трилобиты, брахиоподы, мелкорачковинная фауна и др.) делают куонамскую свиту уникальным объектом для палеонтологических и стратиграфических исследований. Аномально высокие концентрации в породах ОВ аквагенного типа, ванадия, молибдена, урана, фосфора и других элементов [Савицкий и др., 1972; Гавшин и др., 1984; Гулари и др., 1984; Бахтуров и др., 1988] позволяют рассматривать ее в качестве нефтепроизводящей [Геология..., 1981], а также как ресурс углеводородного и минерального сырья, что привлекает внимание к изучению литологического состава, геохимии пород и ОВ куонамской свиты.

Известно, что многие разрезы куонамских отложений выходят на дневную поверхность в береговых обнажениях рек, а также вскрыты скважинами. Однако детальное изучение трилобитов и биостра-

тиграфического расчленения было проведено только в нескольких разрезах. Так, были изучены естественные выходы кембрия на реках Некекит и Бороулах [Савицкий и др., 1972], на реках Молодо [Шабанов и др., 2008; Коровников, Шабанов, 2008], Оленек в среднем течении [Коровников, Шабанов, 2016], Кюленке [Коровников, Парфенова, 2021].

Изучение содержания ОВ в породах кембрия Восточной Сибири химическими методами началось в 1930-х годах. Вероятно, первые определения количества органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в породах, как писал В.М. Сенюков (1938), выполнены для коллекций Г.Э. Фришфельда и И.П. Атласова, собранных на обнажениях северного склона Алданской антеклизы. Были исследованы типичные образцы известняков и горючих сланцев рек Синяя, Лена и Юдй (в настоящее время Уэдей). Систематическое исследование литологии, вещественного состава пород, обогащенных ОВ, отложений нижнего и среднего кембрия началось в 1950-х годах. На северном склоне Алданской антеклизы комплексные работы проводились сотрудниками Геологического института АН СССР под руководством К.К. Зеленова (1957), Н.А. Архангельской (1960), Н.М. Страхова (1960—1962), ВНИГРИ под руководством С.Г. Неручева (1959), на восточном и южном склонах Анабарской антеклизы — исследователями НИИГА под руководством И.С. Грамберга (1958), К.К. Демюкидова (1952). Были определены содержания $C_{\text{орг}}$ в породах синской, иниканской и куонамской свит [Савицкий и др., 1972 и ссылки в ней]. Детально литологию и геохимию пород куонамского комплекса на севере и востоке Сибирской платформы изучали в 1960-х, начале 1970-х гг. в СНИИГГиМСе. В.М. Евтушенко, А.Э. Конторович и В.Е. Савицкий исследовали материалы из опорных разрезов рек Амыдай, Некекит, Бороулах, Торкукуй, Оленек, Юдома, Иникан, Мая и Лена. Авторы показали, что содержание ОВ в породах достигает 15—20 %, увеличивается с ростом количества глинистого вещества и уменьшается по мере увеличения содержания кремневого и карбонатного материала [Савицкий и др., 1972]. Обобщение литолого-геохимических характеристик пород куонамского комплекса и возрастных аналогов этих отложений впервые позволили геологам СНИИГГиМСа и ВНИГРИ выявить закономерности накопления и распространения ОВ кембрия на Сибирской платформе [Баженова и др., 1972, 1981; Геология..., 1981; Конторович и др., 1981].

Первые оценки содержания урана (U), его распределения в породах куонамского комплекса в разрезах бассейнов рек Анабар, Оленек, Лена и Алдан были представлены в 1980-х годах [Гавшин и др., 1984; Гурари и др., 1984]. Показано, что углеродистые («битуминозные» как их называли авторы) аргиллиты и горючие сланцы аномально обогащены U до 0.004—0.006 %. Следует отметить, что положительные корреляционные связи урана и органического углерода были установлены только по материалам из коллекций, отобранных в разрезах на реках Оленек (ручей Чемордоах), Арга-Сала и Юдома. Содержание $C_{\text{орг}}$ в породах из наиболее представительных коллекций обнажений на реках Большая Куонамка, Малая Куонамка и Оленек не определяли и сопоставлений с концентрациями урана не делали [Гурари и др., 1984].

Огромная площадь распространения свиты на востоке Сибирской платформы скрыта под более молодыми породами. Одним из таких участков является междуречье рек Муна и Кюленке (левые притоки р. Лены). Для того чтобы дополнить знания и информацию о биостратиграфии кембрийских черносланцевых отложений, об их литологическом составе и геохимии, выполнить сопоставление содержаний U, $C_{\text{орг}}$ и радиоактивности пород по гамма-каротажу авторами были изучены материалы скважин из этого района.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал был предоставлен ИНГГ СО РАН Амакинской геолого-разведочной экспедицией. Керн собран сотрудниками и привезен в институт в 2007 г. Коллекции проб для палеонтологических, литологических и геохимических исследований формировались в 2007—2018 гг. В настоящее время оставшийся керновый материал хранится в Центре геологических коллекций ИНГГ СО РАН (г. Новосибирск).

Изучаемый район расположен между нижними течениями рек Муна и Кюленке, левыми притоками р. Лена (рис. 1). На этом участке кембрийские отложения с размывом перекрываются мезозойскими, а иногда четвертичными отложениями. Глубина размыва кембрийских пород различна, от самых низов кембрия до майского яруса среднего кембрия.

Куонамская свита вскрыта серией скважин, расположенных на VI и VII параллельных профилях. Для исследования был взят материал из четырех скважин, которые максимально представлены керном, хотя и не в полном объеме, и фаунистическими находками. Это скважины Ск-5/VII, Ск-6/VII и Ск-10/VII (профиль VII) и Ск-10/VI (профиль VI) (рис. 2, 3).

В бассейне р. Кюленке куонамская свита в основном имеет выдержанное строение и мощность (около 32 м). Скважина Ск-6/VII вскрыла только верхнюю половину свиты, а в скв. Ск-5/VII отсутствуют нижние 1.0—1.5 м куонамской свиты. Полный разрез свиты вскрыт скважинами Ск-10/VI и Ск-10/VII. Изучение керна и материалов геофизического исследования последних двух скважин показало, что куо-

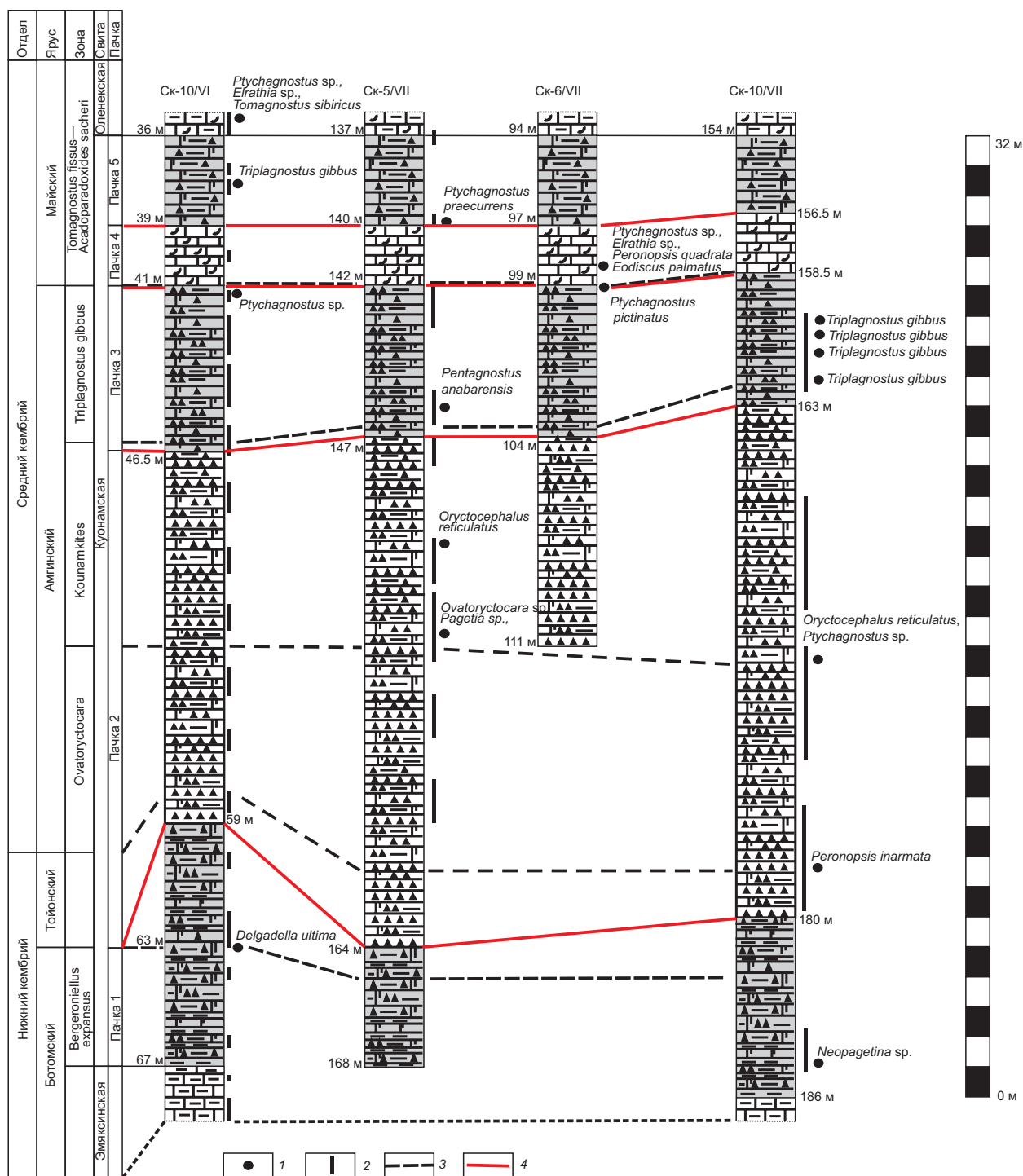


Рис. 2. Схема корреляции изученных скважин.

1 — уровни находок трилобитов; 2 — интервалы отбора керна; 3 — линии корреляции трилобитовых зон; 4 — линии корреляции литологических подразделений (пачек). Усл. обозн. к литологической колонке см. на рис. 3.

Породы смешанного состава (микститы) тонкоплитчатые (0.5—2.5 см), с тонкой (от 0.1 до 1—2 мм) линзовидно-горизонтальной слоистостью, обусловленной неравномерным распределением карбонатного, глинистого и органического вещества. Основную роль играет кремнезем, содержание которого варьирует от 40 до 50 %, присутствующий в виде тонкозернистого агрегата и перекристаллизованных остатков спикул губок. Немаловажное значение имеет глинистый материал преимущественно гидрослюдистого состава, количество которого около 20—25 %. В карбонатной части, которая не превышает 15 % от объема пород, содержание кальцита немного выше доломита. Органическое вещество темно-

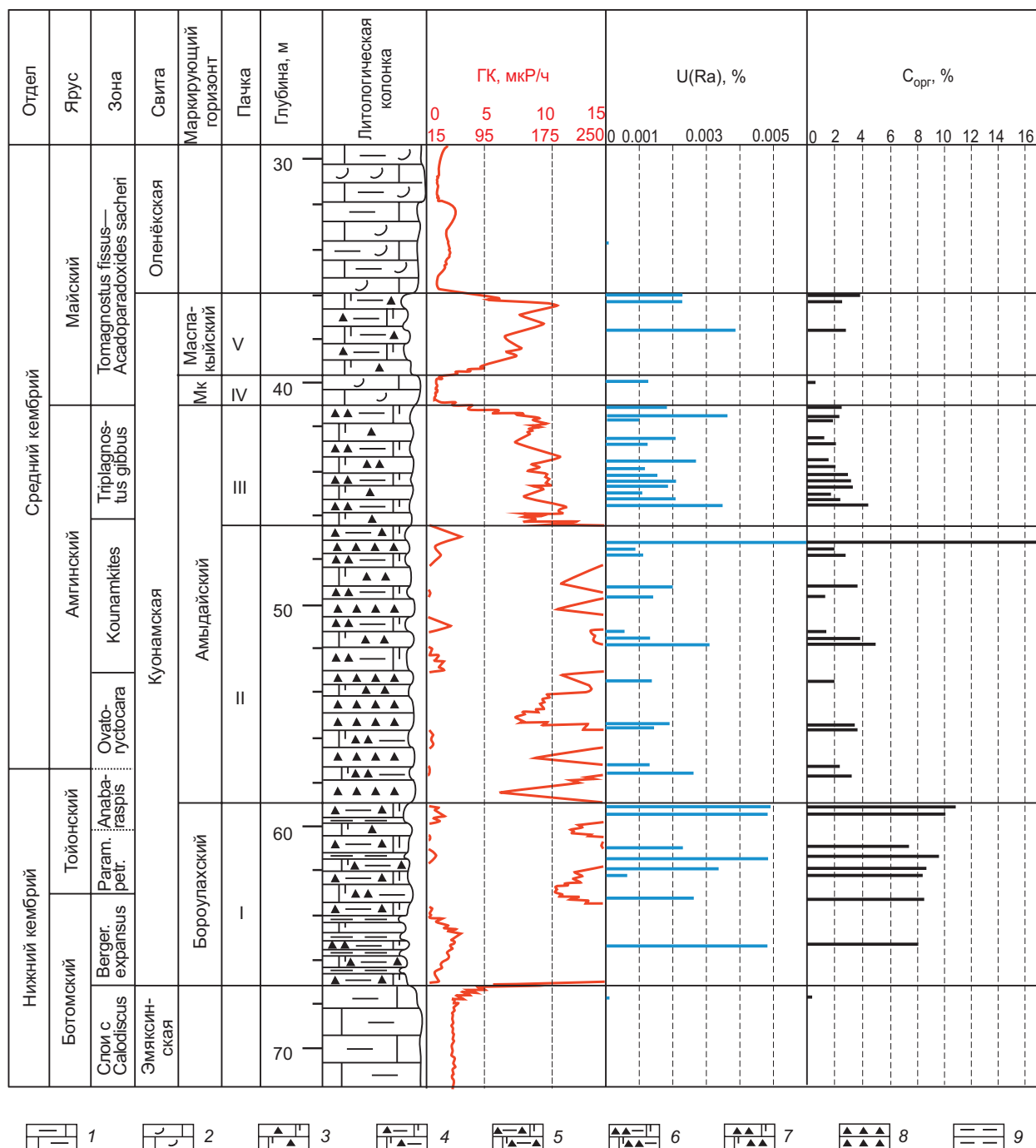


Рис. 3. Литолого-стратиграфическая колонка, распределение содержаний U и C_{орг} в породах кембрия (скв. Ск-10/VI).

1, 2 — известняки: 1 — глинистые, 2 — с фаунистическим детритом; 3—5 — смешанные породы: 3 — кремнисто-карбонатные, 4 — глинисто-кремнисто-карбонатные, 5 — карбонатно-глинисто-кремнистые; 6—8 — силициты: 6 — глинисто-карбонатные, 7 — карбонатные, 8 — силициты; 9 — аргиллиты.

бурое до черного в тонкодисперсном виде пигментирует кремнезем, концентрируется в прерывистых линзочках и стилолитоподобных трещинках. Кроме того, наблюдается присутствие удлиненных остатков углефицированной и гелефицированной органики, по-видимому, бактериально-водорослевого генезиса, расположенных послойно.

Содержание ОВ вверх по разрезу повышается от 8 до 10 % (см. рис. 3). В породах присутствует довольно существенная примесь (около 5 %) обломков алевроитовой размерности кварца, полевых шпа-

тов и реже мусковита. Достаточно широко развита пиритизация (4—5 %). Пирит развивается по породам неравномерно в виде мелких зерен и стяжений (от долей до 2—3 мм), иногда минерализует органическое вещество. В скважине Ск-10/VI на глубине 63.0 м встречены трилобиты *Delgadella ultima*. В скважине Ск-10/VII в пачке 1 встречены неопределимые обломки трилобитов.

Обычно мощность бороулахского горизонта составляет 2—3 м, но в некоторых разрезах наблюдается ее увеличение. Так, на северо-востоке Сибирской платформы в разрезах на реках Некейт, Бороулах, Оленек и Молодо мощность горизонта достигает 4 и 7 м соответственно [Савицкий и др., 1972; Гулари и др., 1984; Парфенова и др., 2004].

Пачка 2 соответствует нижней части амыдайского маркирующего горизонта. Полностью вскрыта тремя скважинами (Ск-5/VII, Ск-10/VII и Ск-10/VI) и в скв. Ск-6/VII присутствует верхняя часть пачки (6.5—7.0 м). Пачка мощностью от 12.5 до 17.0 м сложена силицитами темно-серыми до черных слабоуглеродистыми с прослоями (0.1—0.5 м) известняков черных углеродисто-кремнистых, в разной степени доломитистых и аргиллитов. Глинистые прослои керном не представлены, но отчетливо фиксируются на диаграммах радиоактивного каротажа. Силициты среднеплитчатые (3—5 см), с раковистым изломом, с тонкими (0.1—2.0 мм) разнонаправленными трещинками, залеченными кальцитом. Фиксируются многочисленные срезы перекристаллизованных спикул губок, неравномерно распределенных в кварцево-халцедоновом агрегате. Наблюдаются стяжения пирита размером до 2—3 мм округлой формы. Содержание карбонатного материала в силицитах варьирует от 1 до 8 % при значительном преобладании кальцита. Глинистая компонента (2—4 %) присутствует в виде тонкодисперсной (пелитовой) примеси в кремнистом матриксе и органическом веществе. Количество органического вещества в силицитах 1—2 %, редко до 3—4 %. В скважине Ск-5/VII в некоторых прослоях ОВ достигает 14 %. Известняки более тонкоплитчатые (0.5—1.5 см) с примесью доломита (15—30 %) и кремнезема (8—11 %). Микроскопически породы горизонтально-тонкослоистые за счет неравномерного распределения кремнистого и органического вещества, содержание которого чуть более высокое (4—5 %), чем в силицитах. В скважине Ск-10/VI радиоактивность пород пачки 2 изменяется от 7—10 до 40—50 мкР/ч. Содержание U(Ra) определено на уровне 0.001—0.002 % для пород с $C_{\text{орг}}$, равным 2.0—4.0 %, радиоактивность которых не превышает 10—15 мкР/ч (см. рис. 3).

В пачке встречены трилобиты *Oryctocephalus reticulatus*, *Ptychagnostus* sp., брахиоподы Acrotretidae (Ск-10/VII, гл. 170.9 м), *Peronopsis inarmata* (скв. Ск-10/VII, гл. 178.2 м); трилобиты *Oryctocephalus reticulatus* (Ск-5/VII, гл. 151.0 м), *Ovatoryctocara* sp., *Pagetia* sp. (Ск-5/VII гл. 153.5 м).

Пачка 3 соответствует верхней части амыдайского маркирующего горизонта, полностью вскрыта всеми скважинами, мощность 4.5—5.0 м. Представлена смешанными глинисто-карбонатно-кремнистыми породами, кремнистыми известняками и карбонатными силицитами. Породы черные, тонкоплитчатые (1—3 см), горизонтально-тонкослоистые, с раковистым изломом, с запахом битума. В скважине Ск-10/VI в карбонатной части пород нижней половины пачки в основном доминирует кальцит, а в верхней — доломит. Тонкая (от первых миллиметров до 1—2 см) слоистость обусловлена чередованием более кремнистых или более известковых прослоев. Отмечаются тонкие (1—2 мм) трещины, залеченные кальцитом. В скважине Ск-10/VI наиболее высокое содержание ОВ (17 %) фиксируется в микстилах нижней части пачки, которые содержат 0.014 % U(Ra) и определяют максимальную до 60 мкР/ч радиоактивность по каротажу (см. рис. 3). В известково-глинисто-кремнистых доломитах и глинисто-карбонатных силицитах верхней части количество органического вещества 3—5 %, а в кровле снижается до 2 %. Кроме того, присутствуют многочисленные удлиненные фрагменты черных углефицированных и буровато-желтых гелефицированных органических остатков, по-видимому, водорослевого генезиса, расположенных послойно, по которым иногда развивается пирит (1—3 %). Пирит встречается в виде тонкой сыпи, глобулей и стяжений (до 0.65 мм). Вверх по разрезу наблюдается увеличение содержания глинистого материала, присутствующего в виде пелитовой примеси в тонкозернистой карбонатно-кремнистой массе и органическом веществе, от 2—4, до 6—13 %. В скважине Ск-10/VI в верхней части пачки радиоактивность фиксируется на уровне 8—12 мкР/ч, содержание U(Ra) изменяется в интервале 0.001—0.002 %, редко превышает 0.003 %.

В пачке в скв. Ск-5/VII на глубине 146.0 м встречены трилобиты *Pentagnostus anabarensis*, в скв. Ск-6/VII на глубине 99.0 м — трилобиты *Ptychagnostus pictinatus*, в скв. Ск-10/VII встречены трилобиты *Triplagnostus gibbus* на глубинах 159.0, 159.6, 160.5 и 161.5 м, в скв. Ск-10/VI трилобиты *Ptychagnostus* sp. на глубине 41.5 м.

Пачка 4 (малокуонамский маркирующий горизонт) вскрыта всеми скважинами. Небольшим количеством керна она представлена только в скв. Ск-10/VI. Сложена известняками серыми микрокристаллическими, окремненными, массивными (раздроблены на фрагменты по 4—5 см), с редкими обломками раковинной фауны. Содержание НО и $C_{\text{орг}}$ в породах этой пачки равно 37.4 и 0.5 % соответственно, U(Ra) 0.001 % (см. рис. 3). Радиоактивность пород малокуонамского горизонта ниже 2 мкР/ч. Определенные остатки трилобитов обнаружены в скв. Ск-6/VII на глубине 98.8 м: *Ptychagnostus* sp., *Elrathia* sp.,

Peronopsis quadrata, *Eodiscus palmatus*. Мощность пачки, по каротажным данным, около 2 м во всех скважинах.

Пачка 5 (маспакыйский маркирующий горизонт) вскрыта всеми скважинами, керном представлена в скважинах Ск-10/VI и Ск-5/VII и сложена глинисто-кремнисто-карбонатными слабоуглеродистыми породами, темно-серыми до черных, среднетонкоплитчатыми (плитки 0.6—6.0 см) с запахом битума, горизонтально-тонкослоистыми. Слоистость обусловлена чередованием слоев (от 0.5 до 10 мм), обогащенных кремнистым или карбонатным веществом. Содержание кальцита, доломита и кремнезема варьирует в пределах 20—35 %, а глинистого материала от 7 до 19 %. Органическое вещество занимает 2—3 %, редко до 4 %. Содержание U(Ra) достигает 0.004 %. Радиоактивность обычно не превышает 10 мкР/ч (см. рис. 3). Пирит (4 %) развит по породе неравномерно в виде рассеянных зерен и мелких скоплений (0.1—0.5 мм), иногда минерализует ОБ. В пачке встречены трилобиты *Triplagnostus gibbus* (скв. Ск-10/VI, гл. 37.5 м) *Ptychagnostus praecurrens* (Ск-5/VII, гл. 140.0 м). Мощность пачки 2.5 м в скв. Ск-10/VII, в других скважинах около 3 м.

Оленекская свита перекрывает куонамскую свиту. Нижнюю часть свиты в интервале 31.0—36.0 м составляют известняки мелкокристаллические серые с многочисленными волнисто-линзовидными слоями (толщиной от 1 до 7 мм) зеленовато-серых известковых аргиллитов. На некоторых интервалах текстура линзовидно-пятнистая за счет линз и пятен светлого карбонатного материала на темно-зеленом фоне глинистого вещества (седиментационный будинаж). Наблюдается переслаивание интервалов с преобладанием карбонатов и с примерно равным содержанием глинистого и карбонатного материала. Содержание НО в породах 22.0 и 31.8 %, $C_{\text{орг}}$ — 0.4 и 0.1 %, U(Ra) — 0.0003 и 0.0001 % соответственно. Радиоактивность не превышает 2 мкР/ч (см. рис. 3). В известняках фиксируются мелкие фаунистические обломки. Породы часто тонкосреднеплитчатые. Отмечаются мелкая сыпь и стяжения пирита размером от 1—2 до 5—6 мм. В низах свиты в скв. Ск-10/VI встречены трилобиты *Ptychagnostus* sp., *Elrathia* sp., *Tomagnostus sibiricus* (гл. 35.1 м), а также обломки брахиопод.

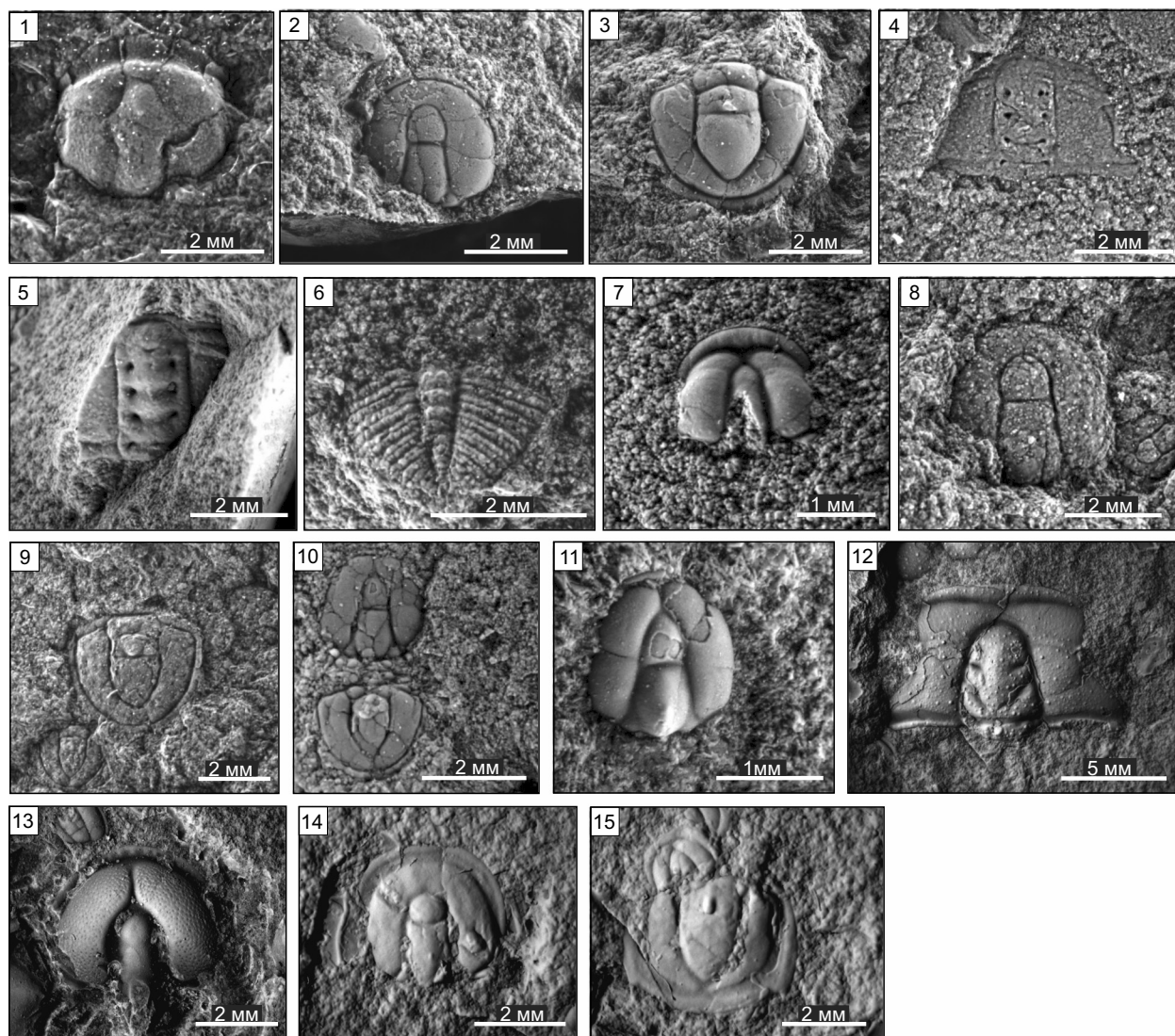
Трилобиты и биостратиграфия. Несмотря на то, что охарактеризованность скважин керном не очень большая, на разных уровнях разреза были обнаружены остатки трилобитов (фототаблица). Часть находок удалось определить до вида, что позволило сопоставить отдельные интервалы разреза с Общей стратиграфической шкалой (ОСШ) и с региональной шкалой Юдомо-Оленекского фациального региона Сибирской платформы.

Самые древние трилобиты встречены в **пачке 1**. Это *Delgadella ultima* и *Neopagetina* sp. Представители рода *Neopagetina* широко распространены в разрезах второй половины нижнего кембрия на Сибирской платформе. *Delgadella ultima* встречается на Сибирской платформе в бороулахском маркирующем горизонте куонамской свиты во многих разрезах [Демокидов, Лазаренко, 1964; Савицкий и др., 1972; Коровников, Шабанов, 2016]. Его находки характерны для зоны *Bergeroniellus expansus* ботомского яруса. Единичные экземпляры встречены в скв. Ск-10/VI на глубине 63.0 м. Соответственно, в изучаемом разрезе мощность зоны *Bergeroniellus expansus* составляет не менее 4 м.

В **пачке 2** трилобиты встречены на нескольких уровнях. В скважине Ск-10/VII (гл. 178.2 м) в низах пачки найден *Peronopsis inarmata*. Уровень находок составляет около 8 м от основания разреза свиты. Вид встречается на Сибирской платформе в низах амгинского яруса среднего кембрия (зоны *Ovatoryctocara* и *Kounamkites*). Это низкий уровень появления в разрезе *Peronopsis inarmata*. Что касается тойонского яруса нижнего кембрия, который не охарактеризован находками фауны, то для него в разрезе остается не более 6 м мощности куонамской свиты.

Остальная часть пачки 2 охарактеризована трилобитами, которые позволяют сопоставлять эту часть разреза с зонами *Ovatoryctocara* и *Kounamkites* амгинского яруса среднего кембрия. Границу между этими зонами провести затруднительно из-за редких находок трилобитов. Можно предположить, что граница проходит в средней части пачки 2, здесь в скв. Ск-10/VII на глубине 170.9 м (около 9 м от подошвы пачки 2) найдены трилобиты *Oryctocephalus reticulatus*, *Ptychagnostus* sp. *Oryctocephalus reticulatus* характерен для зоны *Kounamkites* амгинского яруса. Изредка вид встречается в самых низах выше лежащей зоны *Triplagnostus gibbus*. В скважине Ск-5/VII также в средней части пачки 2 найдены *Ovatoryctocara* sp., *Pagetia* sp. (инт. 153—154 м, около 10 м от подошвы пачки 2) и *Oryctocephalus reticulatus* (гл. 151 м). Находки трилобитов *Ovatoryctocara* sp. могут указывать как на уровень зоны *Ovatoryctocara*, так и на низы зоны *Kounamkites*. Таким образом, граница между зонами *Ovatoryctocara* и *Kounamkites* находится на уровне 9—10 м от подошвы пачки 2. Мощность зоны *Ovatoryctocara* в разрезе может составлять 9—10 м, а зоны *Kounamkites* — 7—8 м.

В **пачке 3** остатки трилобитов встречены во всех четырех скважинах. В скважине Ск-10/VI в самых верхах пачки найдены трилобиты *Ptychagnostus* sp. (гл. 41.5 м), в скв. Ск-5/VII в нижней части пачки встречены *Pentagnostus anabarensis* (гл. 146 м), в скв. Ск-6/VII в кровле пачки найден *Ptychagnostus pictinatus* (гл. 99 м), в скв. Ск-10/VII на нескольких уровнях встречены трилобиты *Triplagnostus gibbus* (гл. 159.0, 159.6, 160.5 и 161.5 м). Присутствие этих трилобитов позволяет соотнести практически всю



Фототаблица.

Фиг. 1. *Delgadella ultima* (Lazarenko, 1962): кранидий; куонамская свита, пачка 1, скв. Ск-10/VI, гл. 63 м; нижний кембрий, ботомский ярус, зона Bergeroniellus expansus.

Фиг. 2, 3. *Peronopsis inarmata* Hutchinson, 1962. 2 — цефалон; куонамская свита, пачка 2, скв. Ск-10/VII, гл. 178.2 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Ovatoryctocara; 3 — пигидий; там же.

Фиг. 4, 5. *Oryctocephalus reticulatus* (Lermontova, 1940): 4 — кранидий; куонамская свита, пачка 2, скв. Ск-5/VII, гл. 151.0 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kouamkites; 5 — кранидий; куонамская свита, пачка 2, скв. Ск-10/VII, гл. 170.9 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kouamkites.

Фиг. 6. *Ovatoryctocara* sp., пигидий; куонамская свита, пачка 2, скв. Ск-5/VII, интервал 153.0 — 154.0 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kouamkites (низы).

Фиг. 7. *Pagetia* sp., кранидий; куонамская свита, пачка 2, скв. Ск-5/VII, интервал 153.0 — 154.0 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Kouamkites (низы).

Фиг. 8, 9. *Pentagnostus anabarensis* (Lermontova, 1940): 8 — цефалон; куонамская свита, пачка 3, скв. Ск-5/VII, гл. 146.0 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Triplagnostus gibbus (низы); 9 — пигидий; там же.

Фиг. 10, 11. *Triplagnostus gibbus* (Linnarsson, 1869): 10 — целый панцирь; куонамская свита, пачка 3, скв. Ск-10/VII, гл. 161.5 м; средний кембрий, амгинский ярус, зона Triplagnostus gibbus; 11 — цефалон; там же, гл. 159.0 м.

Фиг. 12. *Elrathia* sp. Кранидий; куонамская свита, пачка 4, скв. Ск-6/VII, гл. 98.2 м; средний кембрий, майский ярус, зона Acadoparadoxides sacheri — Tomagnostus fissus.

Фиг. 13. *Eodiscus palmatus* N.Tchernysheva, 1953: цефалон; куонамская свита, пачка 4, скв. Ск-6/VII, гл. 98.2 м; средний кембрий, майский ярус, зона Acadoparadoxides sacheri — Tomagnostus fissus.

Фиг. 14, 15. *Peronopsis quadrata* (Tullberg, 1880): 14 — цефалон; куонамская свита, пачка 4, скв. Ск-6/VII, гл. 98.2 м; средний кембрий, майский ярус, зона Acadoparadoxides sacheri — Tomagnostus fissus; 15 — пигидий; там же.

пачку 3 с зоной *Triplagnostus gibbus* амгинского яруса. *Pentagnostus anabarensis* из низов пачки в скв. СК-5/VII также характерен для этой зоны. Встреченный в кровле пачки в скв. Ск-6/VII *Ptychagnostus pictinatus* известен из зоны *Acadoparadoxides sacheri*—*Tomagnostus fissus* майского яруса [Егорова и др., 1976]. Нижняя граница этой зоны в других разрезах куонамской свиты проводится по подошве малокуонамского маркирующего горизонта [Коровников, Шабанов, 2016; и др.]. Поэтому находка данного вида на границе пачки 3 и пачки 4 (малокуонамский маркирующий горизонт) вполне объяснима и мощность зоны *Triplagnostus gibbus* в разрезе составляет 4.5—5.0 м.

В пачке 4 (малокуонамский маркирующий горизонт, см. рис. 3, Мк) трилобиты найдены только в скв. Ск-6/VII (гл. 98.2 м). Это *Ptychagnostus* sp., *Elrathia* sp., *Peronopsis quadrata*, *Eodiscus palmatus*. Трилобиты *Peronopsis quadrata*, *Eodiscus palmatus* указывают на их локализацию в зоне *Acadoparadoxides sacheri*—*Tomagnostus fissus* майского яруса среднего кембрия. Встреченные здесь *Elrathia* sp. являются не типичными для этого уровня. Для куонамской свиты типичными являются трилобиты *Elrathia alexandrovi*, которые присутствуют в зоне *Kounamkites* амгинского яруса. Найденные в скв. Ск-6/VII трилобиты отличаются от *Elrathia alexandrovi* наличием вогнутой назад передней краевой каймы, более четкими глабелярными бороздами и более крупной грануляцией поверхности кранидия.

Выше по разрезу в пачке 5 (маспакыйский маркирующий горизонт) трилобиты встречены в двух скважинах. В скважине Ск-10/VI на глубине 37.5 м найдены трилобиты *Triplagnostus gibbus*, а в скв. Ск-5/VII на глубине 140.0 м в подошве пачки — *Ptychagnostus praecurrens*. Трилобиты *Triplagnostus gibbus* являются проходящими из зоны *Triplagnostus gibbus*. *Ptychagnostus praecurrens* характерен для зоны *Acadoparadoxides sacheri*—*Tomagnostus fissus* майского яруса среднего кембрия.

В низах вышележащей оленекской свиты в скв. Ск-10/VI найдены трилобиты *Ptychagnostus* sp., *Elrathia* sp., *Tomagnostus sibiricus*. Все они являются проходящими из нижележащих зон амгинского яруса. Таким образом, две верхние пачки (4 и 5) куонамской свиты соответствуют нижней части зоны *Acadoparadoxides sacheri* — *Tomagnostus fissus* майского яруса среднего кембрия. Мощность этой части разреза 4.5—5.0 м. Верхняя часть зоны, как и в других разрезах куонамской свиты, охватывает низы вышележащей свиты.

Распределение органического углерода и урана в породах. Анализ кернового материала показал, что известняки эмяксинской (2 обр.) и оленекской (2 обр.) свит с НО, равным 11—32 %, обеднены органическим углеродом, содержания $C_{орг}$ в породах изменяются от 0.1 до 0.5 %. Содержание U(Ra) в породах этих свит из керна трех скважин составляет от 0.00006 до 0.0004 %.

Породы куонамской свиты (73 обр.) в бороулахском, амыдайском и маспакыйском литологических горизонтах содержат $C_{орг}$ от 2.2 до 16.7 % (табл. 1). Новое исследование и анализ опубликованных данных по более чем 15 разрезам северо-востока Сибирской платформы, изученным в обнажениях бассейнов рек Анабар, Оленек, Лена (нижнее течение) [Савицкий и др., 1972; Гурари и др., 1984; Бахтуров и др., 1988; Парфенова и др., 2004; Коровников, Парфенова, 2021], подтвердило, что аномально высокие содержания $C_{орг}$ в породах характеризуют бороулахский и амыдайский горизонты.

Таблица 1. Характеристика пород куонамской свиты по материалам керна скважин

Параметр		Ск-10/VI	Ск-5/VII	Ск-10/VII
Содержание на породе, %		(38)	(21)	(14)
НО	минимум	16.7	24.0	33.3
	максимум	98.0	93.0	94.0
	среднее	69.7	63.7	61.0
$C_{орг}$	минимум	0.5	2.2	2.2
	максимум	16.7	13.6	8.7
	среднее	4.2	5.3	4.9
U (Ra)	минимум	0.0006	0.0012	0.001
	максимум	0.014	0.0077	0.0037
	среднее	0.0025	0.0026	0.0021
Уравнение регрессии		$U = 0.0005 \cdot C_{орг} + 0.0003$	$U = 0.0003 \cdot C_{орг} + 0.0007$	$U = 0.0005 \cdot C_{орг} + 0.00004$
Коэффициент корреляции (R)		0.80	0.95	0.69
Общее уравнение регрессии		$U = 0.0005 \cdot C_{орг} + 0.0002$		
Коэффициент корреляции (R)		0.80		

Примечание. Здесь и в табл. 2: в скобках — количество проб.

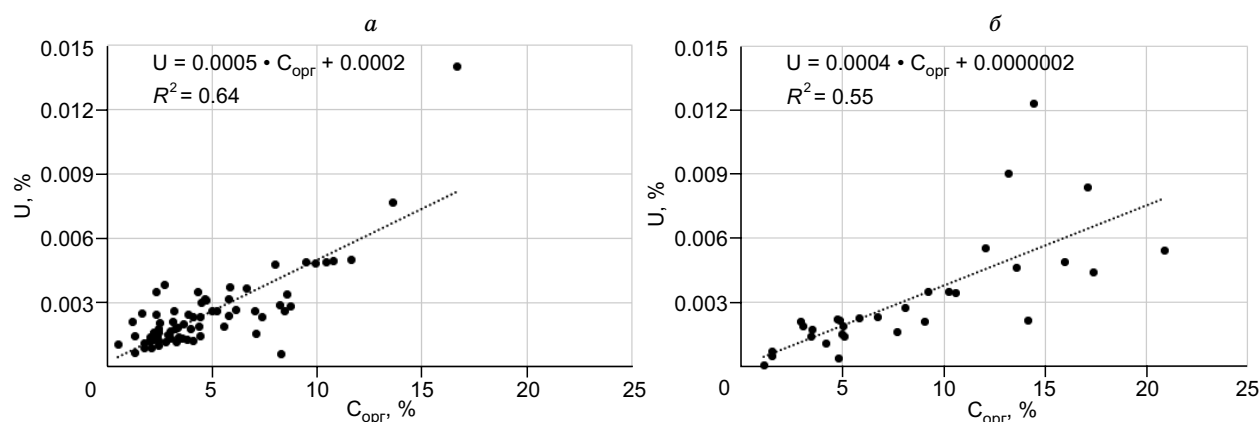


Рис. 4. Диаграммы зависимости содержания U(Ra) от $C_{орг}$ в породах куонамской свиты

по материалам скважин Ск-10/VI, Ск-5/VII, Ск-10/VII (а), обнажения р. Молодо (б).

В малокуонамском горизонте скв. Ск-10/VI значение $C_{орг}$ в породе равно 0.5 %. Исследование разрезов рек Молодо, Кюленке и Лена (вблизи пос. Чекуровка) показало, что содержание $C_{орг}$ в породах этого маркирующего горизонта лежит в интервале 0.3—1.1 % [Парфенова и др., 2014, 2016; Коровников, Парфенова, 2021].

Содержание урана (по радию) в известняках, кремнях, аргиллитах и породах смешанного состава куонамской свиты из керна трех скважин изменяется от 0.0006 до 0.005 %, реже до 0.008 и 0.014 % (см. табл. 1; рис. 4, а). Для пород куонамской свиты характерна ассоциация урана с органическим углеродом, что подтверждают прямые корреляционные связи как для керна каждой скважины, так и для всей коллекции (см. табл. 1; рис. 4, а).

Изучены материалы ИНГГ СО РАН разреза реки Молодо. Установлено, что концентрации урана, полученные методом нейтронно-активационного анализа, изменяются от 0.00004 % в малокуонамском горизонте до 0.0084—0.0123 % в амыдайском, среднее равно 0.0031 %; содержание $C_{орг}$ в породах варьирует в интервале 1.1—20.9 %, среднее равно 8.3 % [Парфенова и др., 2004]. С ростом значений $C_{орг}$ увеличивается содержание урана (см. рис. 4, б), для проб с повышенными значениями $C_{орг}$ больше 12 % количество урана изменяется в широком интервале 0.0021—0.0123 %.

Анализ статистических оценок распределения урана и $C_{орг}$ в углеродистых аргиллитах куонамского комплекса, выполненный ранее для 154 проб из разрезов рек Большая Куонамка, Малая Куонамка, Оленек, Арга-Сала, Кюленке, Белая, Керби, Синяя, Юдома [Гурари и др., 1984], позволил выявить, что минимальные содержания U(Ra) 0.0011 % характеризуют коллекцию проб из бассейна рек Белая и Керби, в которых содержание $C_{орг}$ изменяется от 2.6 до 4.4 % (табл. 2). Пониженное количество урана, в среднем равное 0.0014 %, отмечено для пород синской свиты р. Синяя со средним содержанием $C_{орг}$,

Таблица 2. Оценки распределения органического углерода и урана в породах куонамского комплекса [Гурари и др., 1984]

Параметр		Бассейн			По реке Оленек, руч. Чемордоах и р. Арга-Сала	Бассейн р. Кюлен- ке	Бассейн р. Кюленке	
		рек Белая и Керби	р. Синяя*	р. Юдома				
		углеродистые аргиллиты					известняки	силициты
Содержание на породе, %		(19)	(5)	(15)	(13)	(8)	(5)	(5)
C _{орг}	минимум	2.6	8.0	2.8	10.5	7.1	1.4	1.1
	максимум	4.4	18.1	5.2	17.5	12.1	5.2	3.2
	среднее	3.5	13.1	4.0	14.0	9.6	3.3	2.1
U(Ra)	минимум	0.0010	0.0002	0.0019	0.0027	—	—	0.0011
	максимум	0.0018	0.0015	0.0058	0.0041	—	—	0.0017
	среднее	0.0014	0.0009	0.0038	0.0034	—	0.0027	0.0014
Коэффициент корреляции (R)		—	—	0.83	0.58		—	

* Содержание в породах НО (%): минимальное — 26.1, максимальное — 50.5, среднее — 38.3.

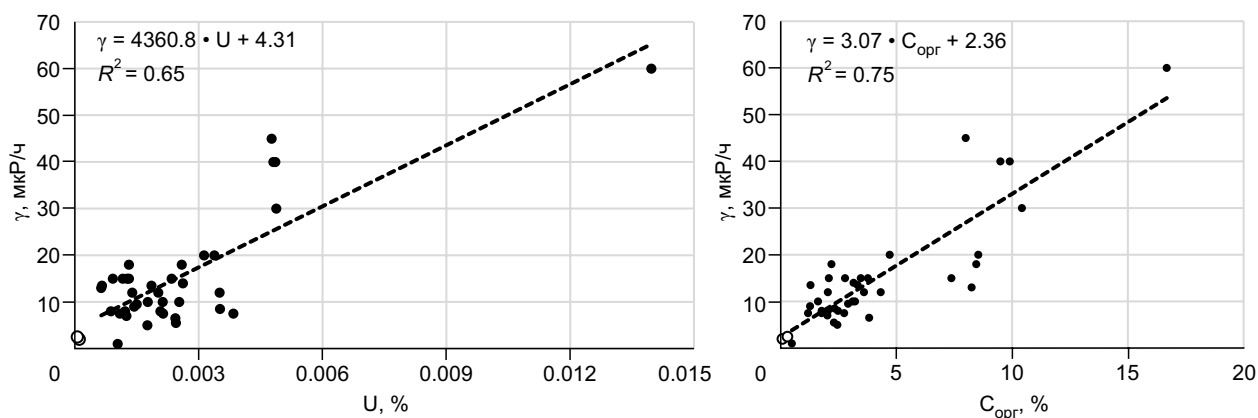


Рис. 5. Диаграммы зависимости радиоактивности (γ) от содержания U(Ra) и $C_{\text{орг}}$ (б) в породах куонамской свиты

по материалам скв. Ск-10/VI. Белые круги — пробы эмьяксинской и оленекской свит.

равным 13.1 %. Максимальные концентрации урана до 0.0045 и 0.0058 % встречены в пробах из обнажений рек Малая Куонамка, Оленек, Арга-Сала и Юдома, причем в породах разрезов р. Оленек (ручей Чемордоах) и Арга-Сала содержание $C_{\text{орг}}$ изменяется от 10.5 до 17.5 %, а разреза р. Юдома — от 2.8 до 5.2 %. Корреляционные связи урана и органического углерода на уровне значимости 0.05 установлены для коллекций пород р. Юдома ($R = 0.83$), рек Оленек и Арга-Сала ($R = 0.58$) [Гурари и др., 1984].

Определение факторов, контролирующих широкий разброс содержаний урана в породах при отсутствии значимого изменения количества $C_{\text{орг}}$, не входило в задачу настоящего исследования.

Оценка радиоактивности и зависимости керн—ГИС отложений нижнего и среднего кембрия. Изменение содержаний $C_{\text{орг}}$ и урана в породах кембрия снизу вверх представлено выше для сводного разреза. Наиболее полная литолого-геохимическая характеристика всех пачек куонамской свиты получена по материалам скв. Ск-10/VI (см. рис. 3). Из-за недостаточной сохранности керна равномерного отбора проб через 0.3—0.5 м выполнить не удалось. С учетом этого в первом приближении рассмотрим зависимость керн—ГИС. Изучая показания гамма-каротажа, можно видеть, что минимальные значения радиоактивности (γ) до 1.0 мкР/ч характерны для известняков малокуонамского горизонта, максимальные до 50—60 мкР/ч свойственны породам бороулахского и амыдайского горизонтов. Радиоактивность подстилающих и перекрывающих куонамскую свиту отложений резко падает до 2.0—2.5 мкР/ч. Сопоставление значений радиоактивности с содержанием U(Ra) и $C_{\text{орг}}$ как для проб пород куонамской свиты, так и с дополнением выборки единичными образцами эмьяксинской и оленекской свит показало, что наблюдаются положительные корреляционные связи между этими показателями (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дана биостратиграфическая, литолого-геохимическая характеристика пород куонамской свиты нижнего и среднего кембрия, погруженной на глубины 94.0—156.0 м, неравномерно перекрытой кембрийскими или юрскими отложениями. Палеонтологические исследования ископаемых остатков в керне скважин показали, что встреченные трилобиты являются типичными для куонамской свиты. Находки трилобитов позволили сопоставить отдельные интервалы разреза с региональными зонами Юдомо-Оленекского фациального региона Сибирской платформы. Выявлено, что по составу и строению разрезы, вскрытые скважинами и изученные в естественных выходах по берегам рек, на склонах Анабарской антеклизы, близки.

Интервал зоны *Bergeroniellus expansus*, характеризующий верхнюю часть ботомского яруса, составляет не менее 4 м и охватывает нижнюю половину пачки 1. На это указывают находки трилобитов *Delgadella ultima*. Это типично для ранее изученных разрезов куонамской свиты, в которых зона *Bergeroniellus expansus* соответствует только нижней половине бороулахского маркирующего горизонта, а в верхней половине присутствуют трилобиты тойонского яруса, которые в изучаемом разрезе не встречены. Поэтому точно определить интервал тойонского возраста не удалось. Но наличие трилобитов из нижележащего ботомского и вышележащего амгинского яруса позволяет предположительно указать интервал, соответствующий тойонскому ярусу, который в изучаемом разрезе может составлять не более 6 м. Мощность тойонского яруса 3—4 м наблюдается в разрезах на реках Муна и Кюленке соответственно, расположенных вблизи изучаемой территории [Бахтуров и др., 1988].

Таким образом, установлено, что нижнекембрийская часть разреза составляет около 8 м, среднекембрийская часть разреза — около 24 м. Это несколько больше, чем в соседних разрезах, на реках Муна и Кюленке она около 18 м [Бахтуров и др., 1988; Коровников, Парфенова, 2021].

Впервые для пород куонамской свиты из керна скважин получены прямые связи содержаний урана и органического углерода. Показано, что с увеличением концентраций урана и $C_{орг}$ в породах растут значения радиоактивности по гамма-каротажу. Использование уравнения зависимости (см. рис. 5) для расчета содержания $C_{орг}$ в породах куонамской свиты в разрезах скважин северо-востока Сибирской платформы с низким выносом керна или без него следует с большой аккуратностью, так как интервалы с аномально высокой и пониженной радиоактивностью опробированы слабо.

Работа выполнена по проектам № FWZZ-2022-0003, FWZZ-2022-0008, FWZZ-2022-0011 государственной программы фундаментальных научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Баженова Т.К., Дробот Д.И., Евтушенко В.М., Кашенко С.А., Конторович А.Э., Макаров К.К., Савицкий В.Е., Самсонов В.В., Шабанов Ю.Я., Шишкин Б.Б. Рассеянное органическое вещество в отложениях кембрия Сибирской платформы // Геохимия нефтегазоносных толщ кембрия Сибирской платформы. Новосибирск, 1972, с. 4—18. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 139).

Баженова Т.К., Белецкая С.Н., Беляева Л.С., Биккенина Д.А., Гурко Н.Н., Ивановская А.В., Ипатов Ю.И., Кичуева У.О., Макаров К.К., Неручев С.Г., Парпарова Г.М., Рогозина Е.А., Рудавская В.А., Соловьева И.Л., Файзуллина Е.М., Шапиро А.И., Шиманский В.К., Шуменкова Ю.М., Арефьев О.А., Гуляева Н.Д., Кулибакина И.Б., Работнов В.Т., Прохоров В.С., Шадский И.П. Органическая геохимия палеозоя и допалеозоя Сибирской платформы и прогноз нефтегазоносности. Л., Недра, 1981, 211 с.

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).

Гавшин В.М., Гулари Ф.Г., Матвиенко Н.И., Переладов В.С., Шестель С.Т. Металлоносность горючих сланцев Оленекского бассейна // Рудная специализация осадочных формаций Сибири. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1984, с. 91—97.

Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука. М., Недра, 1981, 552 с.

Гулари Ф.Г., Гавшин В.М., Матвиенко Н.И., Переладов В.С., Бобров В.А., Смертина Л.Н., Шестель С.Т. Геохимия микроэлементов в морских планктоногенных отложениях нижнего—среднего кембрия Сибирской платформы // Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири. Новосибирск, 1984, с. 41—69.

Демокидов К. К., Лазаренко Н. П. Стратиграфия верхнего докембрия и кембрия и нижнекембрийские трилобиты северной части средней Сибири и островов Советской Арктики. М., Недра, 1964, 288 с. (Тр. НИИГА, т. 137).

Егорова Л.И., Шабанов Ю.Я., Розанов А.Ю., Савицкий В.Е., Чернышева Н.Е., Шишкин Б.Б. Еланский и куонамский faciостратотипы нижней границы среднего кембрия. М., Недра, 1976, 145 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 211).

Конторович А.Э., Савицкий В.Е. К палеогеографии Сибирской платформы в раннюю и среднюю кембрийские эпохи // Вопросы литологии и палеогеографии Сибири. Новосибирск, 1970, с. 95—108. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 106).

Конторович А.Э., Евтушенко В.М., Ивлев Н.Ф., Ларичев А.И. Закономерности накопления органического вещества на территории Сибирской платформы в докембрии и кембрии // Литология и геохимия нефтегазоносных толщ Сибирской платформы. М., Наука, 1981, с. 19—42.

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 севера Сибирской платформы (р. Оленек) // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (4), с. 715—728, doi: 10.15372/GiG20160405.

Коровников И.В., Парфенова Т.М. Трилобиты, биостратиграфия и геохимия куонамской свиты среднего кембрия (северо-восток Сибирской платформы, р. Кюленке) // Геология и геофизика, 2021, т. 62 (11), с. 1531—1545, doi: 10.15372/GiG2020163.

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., 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.

Парфенова Т.М., Меленевский В.Н., Коровников И.В. Геохимия органического вещества углеродистых пород сэктэнской свиты нижнего и среднего кембрия (Чекуровская антиклиналь, северо-восток Сибирской платформы) // Геология нефти и газа, 2016, № 6, с. 97—106.

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.

Шабанов Ю.Я. К стратиграфии нижнего и среднего кембрия Восточного и Юго-Восточного Прианбарья // Труды СНИИГГиМС, 1970, вып. 110, с. 31—38.

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.