

УДК 565

КИМИЛЬТЕЙ – НОВЫЙ ПОЗДНЕКЕМБРИЙСКИЙ ЛАГЕРШТЕТТ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ С ФАУНОЙ ЧЛЕНИСТОНОГИХ (EUTHYCARCINOIDEA, SYNZIPHOSURINA И CHASMATASPIDIDA)

© 2023 г. Е. Б. Наймарк^{1,*}, А. В. Сизов², В. Б. Хубанов³

Представлено академиком РАН А. В. Лопатиным 30.05.2023 г.

Поступило 20.05.2023 г.

После доработки 05.06.2023 г.

Принято к публикации 06.06.2023 г.

Описывается новое местонахождение Кимильтей, Иркутская область, где в массе захоронились неминерализованные остатки членистоногих. Изотопное U–Pb-датирование детритовых цирконов из слоя с фосфилиями указывает на их кембрийский возраст 491 ± 6 млн лет. Членистоногие в Кимильтей представлены Chasmataspidida, Synziphosurina и Euthycarcinoidea. Две последние группы на Сибирской платформе известны не были, а первая известна лишь в девоне. Иркутские находки попадают в ряд древнейших представителей своих групп, а ареал каждой из них оказывается шире, чем предполагалось. Обращает на себя внимание совместное захоронение этих членистоногих; прежде их не находили вместе. С учетом того, что потомки всех трех групп дали начало наземным линиям хелицеровых и насекомых, то это целая фауна предков наземных членистоногих. Сожительство предков хелицеровых и насекомых указывает, что освоение суши стартовало у них из близких экологических ниш в приливной зоне.

Ключевые слова: Кембрий, Chasmataspidida, Synziphosurina, Euthycarcinoidea, Кимильтей, Иркутский амфитеатр, Восточная Сибирь

DOI: 10.31857/S2686739723601242, **EDN:** ZGSJSK

ВВЕДЕНИЕ

Средне-верхнекембрийские членистоногие (здесь мы имеем в виду членистоногих без учета трилобитов) были исключительно разнообразны и широко распространены по миру, однако из отложений этого возраста на Сибирской платформе известны лишь точечные находки. Трудно представить, что в противовес средне-позднекембрийскому расцвету членистоногих во всем мире, на колоссальной по площади палеоакватории Сибирской платформы их разнообразие и обилие были столь ничтожными. Логичнее предположить, что они просто не изучались и не описывались должным образом. В пользу последнего свидетельствует, в частности, информация об ископаемых членистоногих из кембрия Иркутской области юга Восточной Сибири. В этом регионе в

пяти местонахождениях среднего-позднего кембрия в ходе геологических исследований середины XX века отмечались находки членистоногих неясного таксономического положения [1, 2]. Эти данные никак не учитываются в мировых компендиумах по кембрийским фаунам. Иными словами, целых пять местонахождений, охватывающих внушительный географический регион с соответствующей фауной, полностью выпущены из обсуждения разнообразия и эволюционной истории данной группы. Между тем средний и верхний кембрий – это период становления и радиации членистоногих, поэтому всякая информация по их разнообразию весьма актуальна.

Отметим, что находки членистоногих в Иркутской области не учитываются специалистами в первую очередь из-за отсутствия сколько-нибудь содержательного их описания и ясных изображений [1, 2]. К сожалению, как показали наши изыскания, коллекции из местонахождений, указанных в отмеченных выше публикациях и приписанные к различным научным музеям, в настоящее время не доступны или утеряны. Поэтому их переизучение оказалось невозможным. Также из-за реорганизации научных геологических институтов не известно местонахождение полевых

¹Палеонтологический институт

Российской академии наук, Москва, Россия

²Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

³Геологический институт им. Н.Л.Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

*E-mail: naimark_E@mail.ru

дневников тех экспедиций (их список см. в [2]), во время которых были сделаны записи о находках необычных артропод средне-позднекембрийского возраста. Мы предприняли попытку найти одно из таких местонахождений по указаниям в публикации В.С. Воропинова [1], однако все отмеченные в публикации ориентиры больше не существуют, их также нет на старых топографических картах. Так что вероятность попасть на нужные точки старых экспедиций видится на текущий момент ничтожной. В этом смысле большой интерес представляют новые сибирские местонахождения с фоссилиями членистоногих данного возраста.

В настоящей статье мы описываем членистоногих из нового местонахождения, расположенного недалеко от поселка Кимильтей в Иркутской области. Это местонахождение было обнаружено в 2006 г. местным палеонтологом-любителем Александром Клепиковым. В 2019 г. он проводил туда специалистов ИЗК СО РАН и ПИН РАН, приняв также активное участие в сборе образцов.

Здесь мы приводим краткие описания находок, позволяющие причислить их к конкретным таксонам (классам и отрядам). Наши определения — а они оказались весьма неожиданными — показывают исключительную важность находок членистоногих в данном районе для понимания всей эволюции членистоногих. Так как известные виды идентифицированных групп — *Chasmataspidida*, *Synziphosurina* (ранние родичи хелицерных) и *Euthycarcinoidea* (предки насекомых) — обычны для ордовика-карбона, но не кембрия, то мы сочли необходимым подтвердить их стратиграфический возраст с помощью изотопного U–Pb-датирования зерен детритового циркона. Полученные оценки дали нам возможность оценить возраст осадков как верхнекембрийский в диапазоне от 485 до 497 млн лет. Таким образом, в палеоакватории Кимильтей уже в позднем кембрии существовал целый комплекс древнейших предков будущих покорителей суши. В противовес имеющимся данным, выяснилось, что они жили вместе и в близких местообитаниях мелководных лагун или литоральных луж, так что их потомки начали параллельно осваивать прибрежную зону из одной исходной географической и экологической позиции.

ОПИСАНИЕ РАЗРЕЗА И ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЛОЯ С ФОССИЛИЯМИ

Разрез Кимильтей расположен в полутора километрах на восток от пос. Кимильтей (54°9′49.99″ с.ш., 102°1′22.44″ в.д.) Иркутской области юга Восточной Сибири (рис. 1). Здесь в береговом обрыве обнажаются породы верхоленской серии, широко распространенной в пределах Иркутского амфитеатра Сибирской платформы [3].

Исторически верхоленская серия подразделялась на 6 последовательных свит (снизу—вверх): осинская, балаганская, усть-талькинская, михайловская, рютинская и кардинская [3, 4]. По современным представлениям, в Ангаро-Ленской области последние четыре объединяются в байтогскую свиту [2].

Верхоленская серия сложена преимущественно характерными по облику и составу красно-коричневыми и пестроцветными породами. Отложения серии представлены сульфатно-карбонатными терригенными породами и карбонатными породами, которые формировались в мелководных прибрежно-морских условиях. Данная серия охватывает значительный временной интервал от начала майского яруса среднего кембрия до конца верхнего кембрия [3–5].

В разрезе Кимильтей обнажаются породы байтогской свиты, представленные полимиктовыми средне- и мелкозернистыми алевропесчаниками и песчаниками с карбонатным цементом. Толстые пачки песчаников ритмично сменяются прослоями шоколадно-коричневых тонкоплитчатых алевролитов и аргиллитов (рис. 1 б, рис. 2 а). На разных уровнях разреза встречаются следы ряби и трещины усыхания.

Горизонт с фоссилиями расположен в верхней части разреза (рис. 2 а). Он представляет собой тонкий пласт тонкоплитчатых алевролитов и аргиллитов шоколадно-коричневого и местами бирюзового цвета, и протягивается по простиранию на 30–40 м, после чего выклинивается. Сверху на аргиллитах залегает слой алевропесчаников. На поверхности коричневых аргиллитов и алевропесчаников хорошо выражено заполнение трещин усыхания (рис. 2 б). На том же стратиграфическом уровне, что и линза с фоссилиями, в некоторых частях разреза, можно также встретить следы ряби (рис. 2 в).

Как показало изучение минералогии пород линзы, проведенное с помощью сопряженного калориметрического и термогравиметрического анализа, основу пласта алевропесчаников составляет кварц (массовая доля 45%) и кальцит (30%) с примесью каолинита (10%) и иллита (5%). Тонкодисперсный алевритовый слой состоит в основном из каолинита (35–40%), кварца (17–20%) и хлорита, хлорит-монтмориллонита (25–27%). Последнее характерно для терригенного сноса. Шоколадный оттенок глин обусловлен присутствием гетита и гематита (5%). Во всех слоях также регистрируется присутствие небольших количеств сидерита и пирита. На многих слепках членистоногих имеется тонкий налет рыжих оксидов железа.

Литолого-фациальные особенности пласта с фоссилиями указывают на то, что это была небольшая мелководная заводь, по всей видимости,

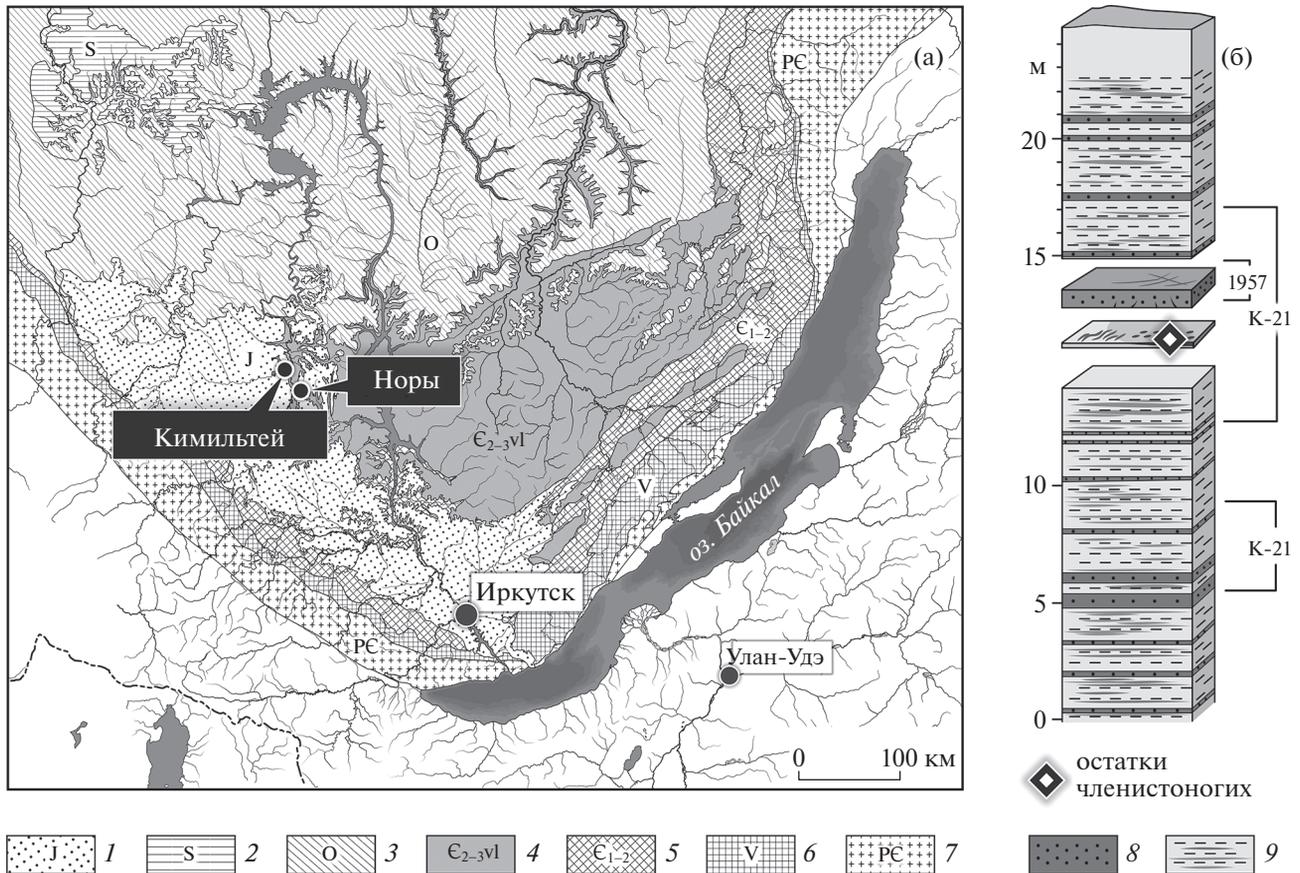


Рис. 1. Положение местонахождения Кимильтей и его строение. (а) Упрощенная геологическая карта, показывающая распространение пород различного возраста на юге Сибирской платформы. Отложения: 1 – юрские, 2 – силурийские, 3 – ордовикские, 4 – верхнекембрийские (верхоленская серия), 5 – ранне-среднекембрийские, 6 – вендские, 7 – архей-протерозойские. (б) Геологическое строение разреза Кимильтей с отметками мест отбора проб на анализ детритовых цирконов (1957, К-21). Отложения: 8 – алевропесчаники, 9 – алевропелиты (алевролиты, аргиллиты).

отрезанная от моря или большой лагуны береговым валом. Животные могли быть заброшены за береговой вал во время шторма или высокого прилива, затем водоем пересох, обнажив донный ил. Умершие так или иначе животные высохли вместе с глинистой коркой: на это указывает находка “шкурки” животного, разорванной трещиной усыхания на две подходящие друг другу части (рис. 4 а). После высыхания остатки их тел были вскоре погребены под слоем мелко- и среднезернистого алевритистого песка, который вдавил хитиновые шкурки в тонкодисперсную глинистую матрицу. В результате на глине сформировались детальные слепки прилегающей поверхности животных (в основном это брюшная сторона). Перекрывающий верхний слой мелкозернистого песка не препятствовал оксигенации осадка с остатками погребенных животных, так что их мягкие ткани относительно быстро разложились и исчезли, а железо в глинистом прослое окислилось, образовав коричневые оксиды. Разлагающаяся органика эффективно связывала железосодержащие продукты, в результате на поверхно-

сти слепков образовался тонкий рыжий налет окисленного железа. При этом некоторые тонкие трехмерные микродетали строения, в частности, хелицеры и шипы педипальп на одном из изученных экземпляров, вряд ли могли получиться за счет вдавливания в глинистую матрицу, так что вполне возможен и механизм более медленного замещения твердых хитиновых частей материалом окружающей породы. Когда в разрезе подошва слоя плотного алевропесчаника обнажилась, то с ее поверхности осыпался вниз слабо консолидированный аргиллитовый прослой, обнажив нижнюю сторону трехмерных слепков.

Отметим, что для позднекембрийских остатков мелководных членистоногих отмечался подобный тип фоссилизации – трехмерные слепки на глинистой матрице с сохранением тонких деталей строения [6]. Однако данных пока слишком мало, чтобы понять природу этого сходства: оно может указывать на специфику времени захоронения, особенности экологической обстановки и

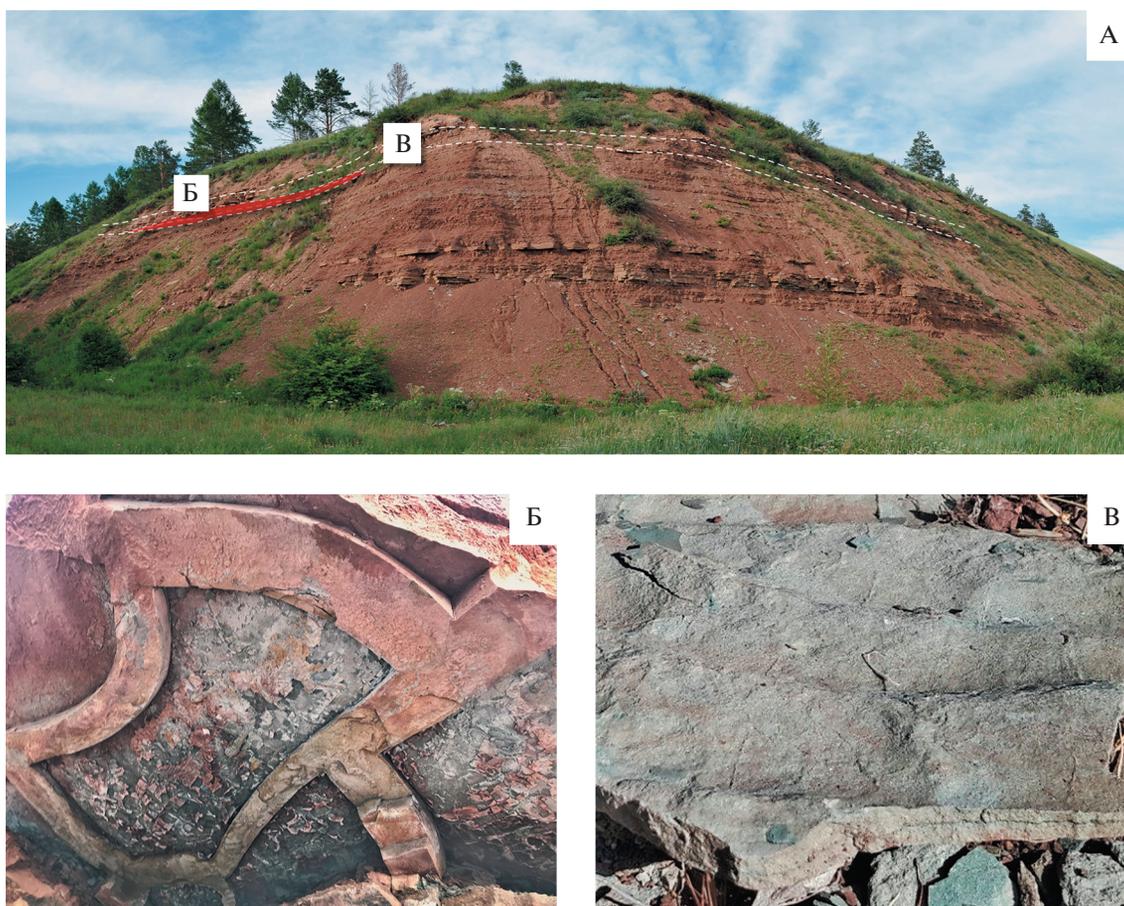


Рис. 2. Расположение и фациальные особенности линзы с фаунами. А. Общий вид разреза с указанием расположения линзы с фаунами (красный цвет) и образцов на панелях Б и В. Б. Трещины усыхания в алевропесчаниках. В. Знаки ящи в алевропесчанике.

тафономических условий, а также на специфику самих членистоногих той эпохи.

ВОЗРАСТ ФОССИЛИЙ В КИМИЛЬТЕЕ

Как указывалось выше, разрез Кимильтей является частью байтогской свиты верхоленской серии, возраст которой принято считать средне-верхнекембрийским. Эта свита перекрывается усть-кутской и илгинской свитами ранне-среднеордовикского возраста. Для верхоленской серии ранее были получены датировки 512 ± 10 и 502 ± 2 млн лет (см. обзор в [5]).

Для уточнения возраста данного местонахождения в 2020 г. из слоя алевропесчаников с отпечатками была отобрана проба № 1957 (рис. 1 б). В изученном образце были проанализированы 89 зерен детритового циркона. Все датировки с дискордантностью $|D| > 10\%$ исключены из рассмотрения. Оставшиеся 68 датировок использованы для построения гистограммы и кривой плотности вероятности (КПВ) изотопных U–Pb-датировок из этой пробы (рис. 3 а). На КПВ ярко выражен

пик (22 зерна), соответствующий возрасту 511 ± 6 млн лет [5]. Возраст самого молодого циркона этой пробы составил 492 ± 4 млн лет. В раннем ордовике в пределах Иркутского амфитеатра происходило активное горообразование, в результате которого в осадках накапливалось больше количество обломочного материала, в том числе из разрушенных вулканитов раннеордовикского возраста. Поэтому в этом регионе в ордовикских осадочных отложениях появляется пик цирконов, соответствующих раннеордовикскому возрасту. Сопоставление полученных возрастных наборов зерен детритового циркона из пробы № 1957 с аналогичными спектрами для пород как более низких, так и более высоких стратиграфических уровней юга Сибирской платформы показывает сходство с наборами, характерными для средне-верхнекембрийских отложений, но не раннеордовикских [5].

Так как найденные членистоногие имели ордовикско-девонский облик, мы сочли необходимым подтвердить полученные ранее кембрийские датировки дополнительными образцами,

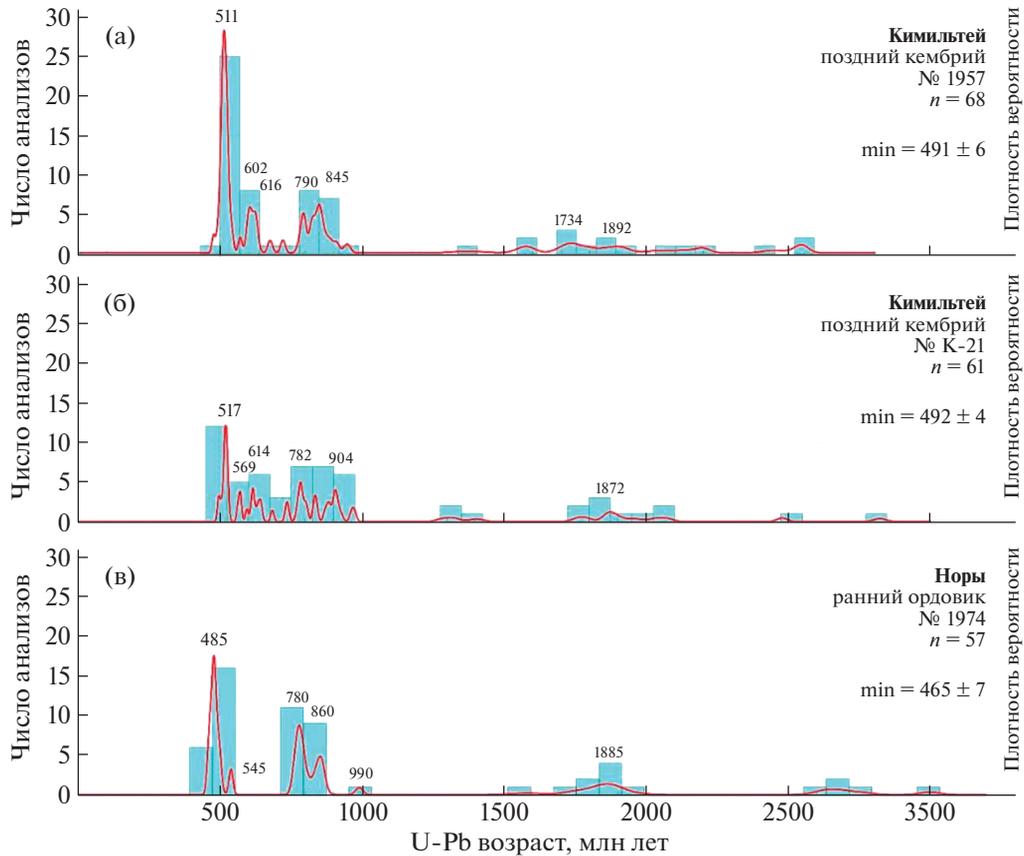


Рис. 3. Гистограммы и кривые плотности вероятности возрастов зерен детритового циркона из проб разреза Кимильтей № 1957 (а), № К21 (б) и разреза Норы № 1974 (в).

отобранными из разных стратиграфических уровней разреза Кимильтей, и объединили их в одну пробу № К-21 (рис. 1 б). Объединение позволило, расширив диапазон источников сноса, увеличить вероятность попадания более молодых, в данном случае ордовикских, зерен детритового циркона в пробу. Дополнительно анализировалась проба из разреза Норы, расположенного примерно в 20 км от Кимильтея [2]. Этот близкий разрез также относится к верхоленской серии (рис. 1 а).

Методика абсолютного датирования цирконов из разреза Кимильтей, проба К-21. Изотопный U–Pb-анализ цирконов, отобранных вручную из раздробленных проб алевропесчаника, проводился методом лазерной абляции на масс-спектрометре Element XR (“Thermo Fisher Scientific”) на базе центра “Геоспектр” в Геологическом институте СО РАН в Улан-Уде. Параметры измерения стандартные, вся процедура, использованное оборудование и статистические процедуры подробно описаны ранее [7].

Каждому цирконовому зерну соответствует одна точка на графике; ее значение вычислялось по двум измерениям, которые контролировались

принятыми процедурными стандартами (91500, Plešovice и GJ-1). Разница двух полученных измерений не должна была превышать 10%, а каждый пик на графике определялся не менее, чем тремя точками с близкими значениями возраста. Мас-

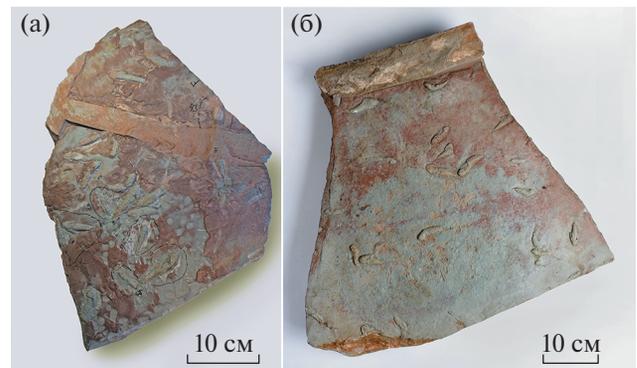


Рис. 4. Две из 9 плит с многочисленными следами членистоногих. (а) PIN 58915891; экземпляры 41 и 43 составляют, вероятно, целое тело, рассеченное надвое трещиной усыхания. (б) PIN 5891: трещина усыхания ограничивает верхний (здесь) край плиты.

сивы значений обрабатывались программами GLITTER, ISOPLOT, AgePick and K-S Test.

Анализ спектров возрастов из Кимильтей. Было проанализировано 91 зерно, из которых 30 оказались дискордантными. При этом ни одно зерно ордовикского возраста не было обнаружено, а возраст самого молодого циркона из пробы К-21 составил 492 ± 4 млн лет. Максимальный пик (10 зерен) соответствует 517 млн лет, что характерно для пород кембрийского возраста верхней серии на юге Сибирской платформы.

Пробы 1957 и К-21 демонстрируют высокое сходство возрастных спектров (рис. 3 а, б), что может свидетельствовать о том, что, вероятно, вся толща в Кимильтее накопилась относительно быстро, так что источники сноса в течение этого времени заметно не менялись.

Изменения в топографии сноса цирконов начали происходить в раннем ордовике. Это видно из анализа пробы из разреза Норы. Максимальный пик в пробе из Нор имеет раннеордовикский возраст и составляет 485 млн лет (рис. 3 в). Более поздние отложения в этом регионе, формировавшиеся со среднего ордовика до карбона, приобретают иной облик КПВ. Для них характерны пики 450 млн лет и 1830 млн лет, которые оказываются равновеликими за счет активизации магматизма и эрозии ранее погребенных протерозойских пород [5]. В пробах из Кимильтея нет ни раннеордовикского пика, выявленного в разрезе Норы, ни упомянутого выше ярко выраженного бимодального облика КПВ, свойственного ордовикско-каменноугольным отложениям юга Сибирской платформы.

Максимальные пики из проб 1957 и К-21 из разреза Кимильтей составляют 511 и 517 млн лет соответственно. Минимальный возраст цирконов из проб составил 491 ± 6 и 492 ± 4 млн лет. Таким образом, повторное датирование совокупной пробы К-21 из разреза Кимильтей подтвердило позднекембрийский возраст отложений. Ордовикский возраст фоссилий в этом разрезе с большой вероятностью исключается. Исходя из этого мы делаем предположение, что возраст пород в Кимильтее может составлять 485–497 млн лет. Нужно особо подчеркнуть, что для данного исследования надежное определение возраста очень важно, так как найденные ископаемые являются, по-видимому, наиболее древними предками сухопутных членистоногих, к тому же представленными целым фаунистическим комплексом.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЛЕНИСТОНОГИХ ИЗ РАЗРЕЗА КИМИЛЬТЕЙ

Материал. Ископаемые остатки членистоногих расположены на девяти массивных плитах серого плотного алевропесчаника. Эти плиты выла-

мывались, там, где это было возможно, из стенки разреза, из одного горизонтального пласта. Сами ископаемые находились на нижней (обратной) стороне пласта. Среди упавших сверху блоков алевропесчаника, лежащих в основании разреза, также встречаются обломки с фоссилиями подобного облика.

Фоссилии представляют собой трехмерные слепки на тонком слое аргиллитов, подстилающих массивный слой алевропесчаника (рис. 4 а, б). Все слепки имеют серый оттенок алевропесчаника, но некоторые экземпляры покрыты очень тонким рыжим налетом ржавчины. На спилах и сколах не заметно никаких остатков тела внутри консолидированного алевропесчаника. Также нигде не заметны отпечатки конечностей, хотя на одном экземпляре сохранились слепки двух передних пар конечностей (этот экземпляр здесь не обсуждается).

Всего на плитах 43 слепка разной сохранности. Из них 36 относятся, по-видимому, к одному виду (этот массовый вид будет подробно описан в нашей следующей статье). Вместе с ними обнаружены два слепка, резко отличных по морфологии от массового вида и друг от друга. Остальные пять экземпляров имеют плохую сохранность и неопределимы. Большинство слепков открывают брюшную сторону животных. Таким образом, в нашей коллекции имеется массовый вид, и по одному представителю двух других таксонов.

Коллекция хранится в ПИН РАН, номер коллекции PIN 5891.

Морфология и определения. Представители фаунистического комплекса Кимильтей показаны на рис. 5, 6. Согласно нашим определениям, они принадлежат к Synziphosurina (рис. 5 а), Euthycarcinoidea (рис. 5 б, в) и Chasmataspida (рис. 6). Для первых двух групп найдено лишь по одному экземпляру, тогда как хазматаспидиды в Кимильтее захоронены массово. Поэтому по имеющемуся материалу для двух единичных экземпляров можно понять лишь их высокую таксономическую категорию. Последние, хазматаспидиды, по всей видимости, должны быть описаны новым родом и видом, и мы посвятим их детальному описанию отдельную публикацию. В данной работе мы ограничимся краткими морфологическими характеристиками с упором на те признаки, по которым найденные формы можно отнести к соответствующим высшим таксонам.

Synziphosurina (рис. 5 а). В данном экземпляре, открытом с вентральной стороны, выявляются следующие морфологические признаки. Тело подразделяется на головной отдел и туловище, которое заканчивается длинным хвостовым шипом. Головной отдел – просома – широкий у основания, сужается треугольником к переднему краю. На данном экземпляре невозможно опре-

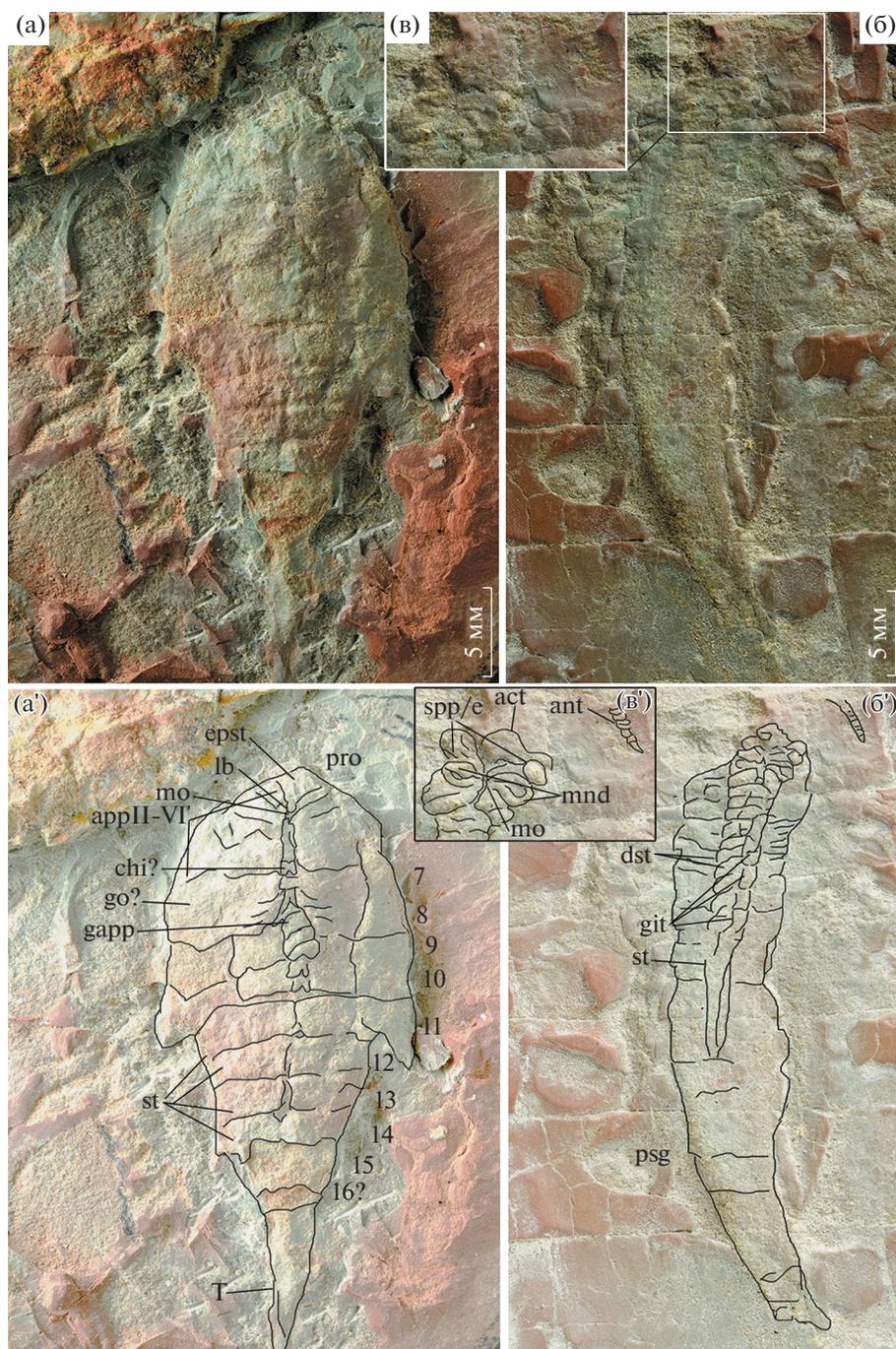


Рис. 5. Ископаемые из Кимильтей. (а) *Sinziphosurina*, экземпляр ПИН 5891 № 8. (б) *Euthycarinoidea*, экземпляр ПИН 5891 № 48. (в) увеличенный фрагмент головы с антенной. а', б' и в' соответствующие прорисовки, скомпонованные по фотографиям с разным углом освещения. Обозначения: act, передний головной тергит; appII-VI – бороздки, соответствующие конечностям сегментов III-VI; ant – антенна; bck – спинной щиток; справа видна его сегментированность; chi? – вероятные хилярии; dst – парные стерниты; epst – эпистома; gapp – половые отростки; go – половая крышка; gut – кишка; lb – губа (лабрум), mo – рот, mnd – мандибулы, pro – просома, psg – задние (без продольных бороздок) сегменты, spp/e – сферический отросток (глаза), st – стерниты, T – тельсон, хвостовая игла, 7-16? – сегменты опистомеры.

делить, есть ли на просоме краевой лимб или дублюра. На переднем ее конце бороздками выделен треугольный выступ – эпистом, на конце которого различим овальный лабрум. Под ним имеется

ямка; это, по-видимому, рот. Вниз от лабрума тянется продольная медиальная борозда. Справа и слева от нее видны изогнутые V-образно бороздки или рельефные структуры; их пять, и мы ин-

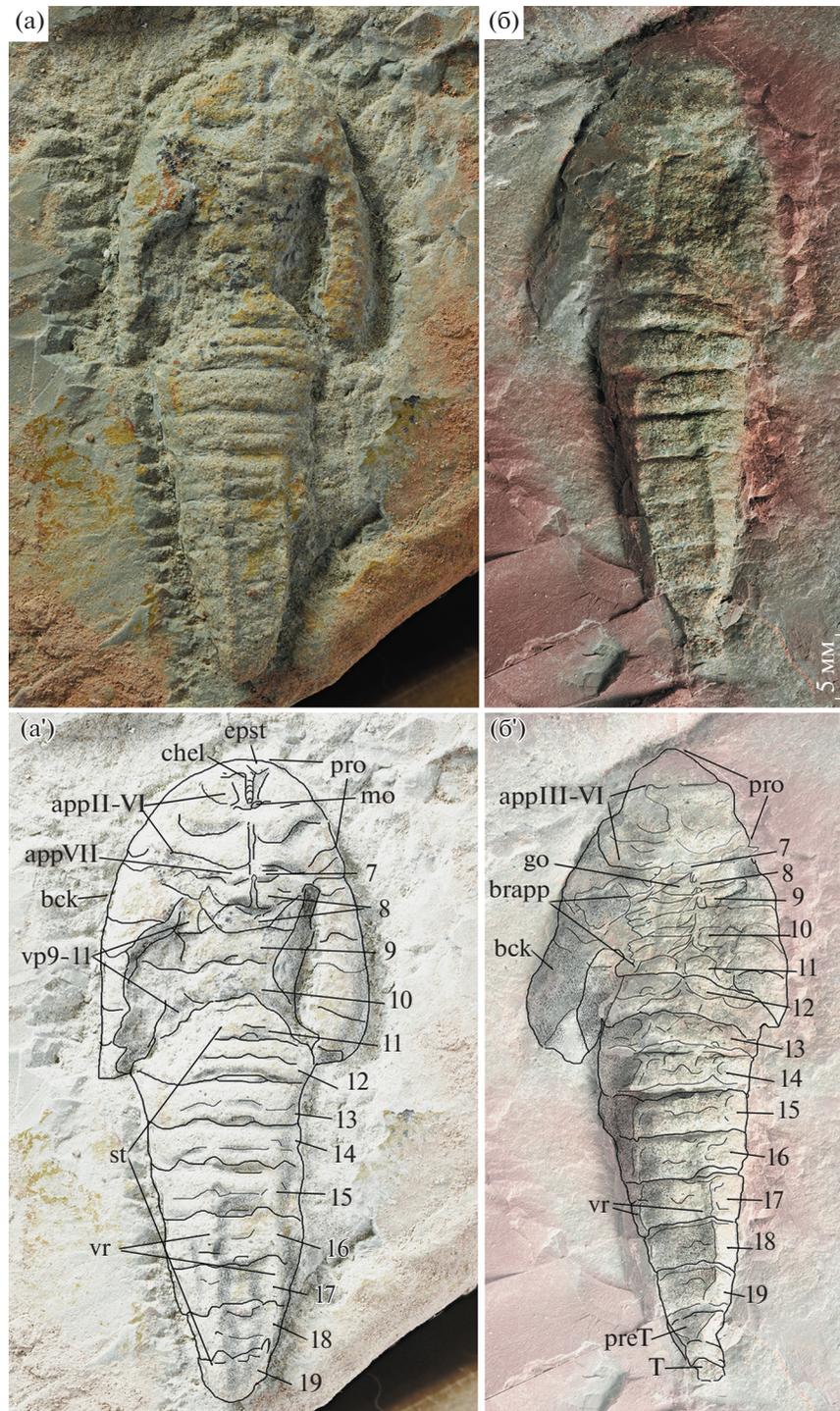


Рис. 6. Chasmataspidida. (а) экземпляр ПИН 5891 № 19; вентральные пластины присутствуют. (б) Chasmataspidida, экземпляр ПИН 5891 № 2; вентральные пластины не сохранились. Обозначения: appII-VI, appVI – бороздки, соответствующие конечностям сегментов II–VI; bck – спинной щиток; в некоторых местах видна его сегментированность; brapp – жаберные конечности, chel – хелицеры, epst – эпистома, go – половая крышка?, mo – рот; pro – просома; preT – претельсон, st – стерниты; T – тельсон; vp9-11 – вентральные пластины 9–11 сегментов, vr – вентральные кили, 7–19 – сегменты опистосомы.

терпретируем как остатки кокс просомальных конечностей II–VI. В конце этой борозды хорошо различим интересный элемент в виде двух сбли-

женных (или соединенных) небольших закругленных отдельных. Позади них расположена короткая горизонтальная полоска. Далее выделя-

ется крупный сегмент, 8-й, состоящий из двух симметричных частей. Их внутренние края полу-кругло расходятся к боковым углам. В образовавшемся треугольнике помещается медиальная структура. Ее поверхность неровная, с рельефными горизонтальными выпуклостями. Можно предположить, что это остатки членения этой структуры. Она относительно длинная, протягивается до заднего края следующего, 9-го, сегмента. 10-й сегмент также разделен по центру симметрии медиальной бороздкой; на внутреннем крае половин различимы два небольших вилочковидных элемента.

Несимметричные расширения по бокам 10-го и 11-го сегментов выглядят как боковые шипы, но в действительности они являются неудачным сколом весьма хрупкой на данном участке глинистой породы. Поэтому мы не можем сказать, какова была форма заднего края щитка у данного животного.

Следующие один за другим пять или шесть сегментов уменьшаются по ширине, формируя треугольный задний конец тела. Первые три из этих задних сегментов разделены медиальной бороздкой на симметричные половины, а два или три последних сегмента цельные. Часть сегмента перед длинным хвостовым шипом у этого экземпляра разрушена, так что мы не можем судить, был ли у него еще один узкий конечный шестой сегмент или тело заканчивалось относительно широким пятым сегментом.

Суммируя приведенное морфологическое описание, важно обратить внимание на тагмы этого животного. Головной отдел включал по меньшей мере пять пар различных бороздок, которые по своей форме могут быть интерпретированы как отпечатки конечностей. Заметим, что у ископаемых хелицероных чрезвычайно редко сохраняются первая пара конечностей, хелицеры, так что скорее всего, и здесь они не сохранились. Предположительно, у этого животного могло быть 6 пар головных конечностей. В передний отдел также включены следующие два сегмента, 7-й и 8-й. 7-й сегмент представлен короткой поперечной полоской без медиальной борозды; его можно соотнести с 7-м микросегментом цефалоторакса, характерным для некоторых базальных хелицероных. Если это так, то парный симметричный элемент на этом микросегменте можно соотнести с хилияриями *Xiphosura*. Логично, следовательно, предположить, что следующий 8-й сегмент несет крупные симметричные половые крышки. Опистосома у этого животного состоит из 7 или 8 сегментов, из которых последние два или три сегмента цельные с хвостовым шипом.

Подобная тагматизация тела соответствует *Xiphosura* и *Synziphosurina*. Цефалоторакс мечехвостов состоит из 8 сегментов, а следующий отдел —

торацетрон — объединяет 5 жаберных сегментов; два сросшихся задних сегмента заканчиваются хвостовой иглой. Также для них характерно наличие крупных симметричных половых крышек. При сравнении тагм *Xiphosura* с кимильтейским экземпляром следует, однако, обратить внимание на медиальную, вероятно, членистую, структуру между половыми крышками. Такой структуры ни у современных, ни у ископаемых *Xiphosura* нет. Также необычно для данной таксономической версии выглядит отсутствие каких бы то ни было следов дублюры.

У *Synziphosurina* головной отдел включает 6 сегментов, а седьмой сегмент может нести пару ходильных ног или хилиярии (последние известны у *Dibasterium*). Дублюра для представителей этой группы также не обязательна [8]. Половые конечности для них не известны. Средний (мезосомальный) отдел тела синзифозуринов объединяет 6 сегментов с жаберными конечностями, а в следующий — метасомальный — входят 4 сегмента без конечностей. Тельсон может быть выражен хвостовой иглой. В гипотезе “синзифозуринов” требуется объяснить меньшее (3, а не 4) число метасомальных сегментов. Вероятно, у данного экземпляра плохо сохранились или слабо выражены границы между сегментами. В принципе, и для других ранних хелицероных и их предков подсчет последних метасомальных сегментов затруднителен из-за нечеткости их границ. Эта проблема обсуждалась при переописании *Houia*, возможного родича хазматаспидид и ракоскорпионов.

К мечехвостам и синзифозуринам близки и ракоскорпионы. У них, однако, пять метасомальных (постабдоминальных) сегментов, т.е. их число еще больше, чем у кимильтейского образца. Поэтому, несмотря на наличие медиальной структуры между половинками 8-го сегмента — а это, как уже упоминалось выше, аналог половых конечностей — вряд ли следует связывать кимильтейскую форму с ракоскорпионами.

По совокупности признаков (характерные тагмы, отсутствие дублюры и лимба) кимильтейская форма ближе всего к синзифозуринам. Интересно отметить присутствие вероятных хилиярий и половых отростков 8-го сегмента. Пока не известны формы, у которых бы присутствовали вместе хилиярии и половые отростки. Однако, чтобы все-речь обсуждать этот феномен, нужны дополнительные экземпляры данного вида, его подтверждающие. Также из-за этого мы поостережемся обсуждать филогенетические связи кимильтейской формы с другими базальными видами *Eucherlicerata*.

Euthycarcinoidea (рис. 5 б, в). Вторая форма, также представленная единственным экземпляром, мы отнесли к эвтикарциноидам. Нужно под-

черкнуть, что этот экземпляр (его вентральная сторона) сохранился весьма плохо, поэтому на нем можно сколько-нибудь надежно различить лишь ограниченный набор морфологических признаков. Тем не менее они позволяют придерживаться именно “эвтикарциноидной” таксономической версии.

У этого членистоногого имелись небольшая голова (рис. 5 в) и длинное членистое тело. Справа от головы прослеживаются остатки мелкочленистой узкой изогнутой полоски; ее морфология и расположение соответствуют антенне. Задний конец тела разрушен, поэтому невозможно судить о наличии тельсона. В передней части головы видны остатки выступающего вперед тергита; он, по-видимому, прикрывал с дорзальной стороны передний конец головы. Два симметричных булавовидных отростка расставлены в стороны дальше боков переднего тергита. По своей форме и расположению они схожи с т.н. сферическими отростками эвтикарциноидов. Эти отростки интерпретируются как глаза. За ними четко видна двухлопастная симметричная структура, напоминающая по форме крылья бабочки. Их разделяет медиальная бороздка. Передние лопасти имеют внутренние полукруглые ямки, свидетельствующие о сложном устройстве данного элемента. Он аналогичен мандибулам известных эвтикарциноидов, например, *Apankura* [[9]], *Heterocrania* [[10]] и *Euthycarcinus* [11, 12]. В медиальной бороздке между этими элементами видно небольшое углубление; это, вероятно, рот. Задние лопасти данной структуры также симметричны и разделены бороздкой. Природа этого элемента не ясна. У некоторых видов он интерпретируется как щечный глоточный комплекс, участвующий в измельчении пищи, или же как пара конечностей цефалона, следующих за мандибулами [11].

За указанной двухлопастной структурой расположен треугольный элемент, направленный тупым углом к медиальной бороздке. На данном экземпляре невозможно определить, является ли данная структура сегментом тела или же частью головного отдела, так как на вентральной стороне головной отдел не отделяется четко от туловища. Здесь отметим для сравнения, что у *Euthycarcinus ibbenburensis* С. Шлютка [12, fig. 6] показал наличие подобного элемента, посчитав его аналогом лабрума, т.е. включил его в головной отдел. При этом у других эвтикарциноидов, например, *Sotyxerxes multiplex* и *Apankura machu* за мандибулами расположены две вентральные пластины, а лабрума нет. Их головной отдел составлен, таким образом, всего из двух сегментов [9, 13].

Туловище эвтикарциноидов подразделяется на сегменты. На данном экземпляре невозможно определить число сегментов, так как задний конец тела сглажен и границ сегментов не видно.

В передней части сегменты кажутся уже (сагитально), чем в задней части. Более внимательное изучение сегментации показывает, что и в передней части тела сегменты относительно широкие: границы широких сегментов хорошо видны по бокам, но при этом каждый сегмент в своей центральной части поделен горизонтальной бороздкой пополам. Вдоль тела проходит кишка, на которой в передней части также прослеживаются границы широких сегментов, таких, как по бокам тела.

На данном экземпляре различимы 6 передних сегментов тела, поделенных пополам по горизонтали. Такой паттерн сегментации можно интерпретировать как отпечатки крупных тергитов, выступающих по бокам и наложенных на неширокие (в горизонтальном направлении) стерниты; каждому тергиту соответствует два стернита. Именно так устроена сегментация эвтикарциноидов.

Таким образом, у данного животного удастся выявить сегментированную антенну, крупные глаза на отростках, мандибулы на относительно маленькой голове, покрытой по крайней мере одним крупным тергитом, а также сегментированное тело с крупными дорзальными тергитами и более узкими в передней части вентральными стернитами. По этим признакам данное животное можно отнести, и весьма уверенно, к эвтикарциноидам.

Chasmataspidida (рис. 6 а, б). У изученных экземпляров тело подразделяется на переднюю часть, закрытую щитком, и заднюю, четко сегментированную. Щиток прикрывает просому и преабдомен, они разделяются на дорзальной стороне узким микротергитом; на вентральной стороне микротергит не имеет ясного выражения. Просома с отходящим от апикального края треугольным эпистомом [14, 15], на конце которого расположен маленький овальный лабрум. Просома несет короткие загнутые книзу хелицеры и небольшие педипальпы с шипом на конечном сегменте; и те и другие направлены ко рту. Четыре следующих просомальных конечности, судя по рельефным бороздкам на просоме, относительно крупные; шестая пара – самая большая. Коксы этих четырех конечностей по оси симметрии формируют медиальную бороздку.

Преабдомен прикрыт щитком, который на вентральной стороне подгибается с двух сторон широкими складками, формируя полости для размещения преабдоминальных конечностей. Он, насколько можно судить по вентральным отпечаткам, состоит из пяти сегментов. Первый из которых соответствует узкому седьмому сегменту и микротергиту на дорзальной стороне. Сегмент 8 крупный, прикрыт крышкой, разделенной на симметричные половины. Вдоль внутреннего

края этих половин расположены длинные пологие отростки. 9–11-й сегменты прикрыты неразделенными по оси симметрии пластинами. Они, вероятнее всего, слиты, так как между ними нигде не отмечается подвижных сочленений. Подвижные сочленения сегментов присутствуют лишь начиная с границы между 11 и 12-м сегментами. На показанном в данной работе экземпляре пластины на преабдоминальных сегментах 9–11 отсутствуют, зато видны остатки конечностей преабдомена. Они морщинистые, со складками, т.е. не жесткие, поэтому логично предположить, что это жаберные конечности. Возможно, жабрами были снабжены и конечности 8-го сегмента.

Постабдоминальных сегментов 8 (это сегменты 12–19). Все они имеют подвижные сочленения. Вдоль стернитов 14–19 проходят симметричные вентральные кили, на дорзальной стороне на этих сегментах имеется один продольный киль. Короткий претельсон несет анус, а сам тельсон, по-видимому, короткий, ланцетовидный, хотя в полном объеме он не сохранился ни на одном экземпляре.

Характерной особенностью отряда *Chasmaspida* является деление тела на просому из 6 сегментов и опистосому из 13 сегментов, причем последняя состоит из четырехсегментного преабдомена и 9-сегментного постабдомена. Однако к хазматаспидам относят также форму, описанную из позднего кембрия Техаса (формального видового описания для нее пока нет). У нее, по-видимому, было семь или восемь постабдоминальных сегментов и 5 или 6 преабдоминальных [16]. Такие же тагмы мы видим у кимильтейского вида. У техасской формы дорзальный щиток прикрывал сегменты преабдомена тем же манером, что и у кимильтейского вида. Также отличительным признаком хазматаспидид является слитая вентральная пластина на 8–10-м сегментах тела, она присутствует на многих экземплярах иркутского вида, но дотягивается до середины 11 сегмента. На основе этого признака и тагматизации известных ранних хазматаспидид мы причисляем форму из Кимильтея к хазматаспидидам.

ОБСУЖДЕНИЕ

Древнейший представитель эвтикарциноидов *Arankura machu* найден в местонахождении Garganta del Diablo. Возраст пачки с данной находкой в свите Санта Росита (Santa Rosita Formation) в соответствии с найденными там трилобитами *Neoparabolina frequens argentina* and *Plicatolina scalpta* считается самыми верхами кембрия; это южноамериканская зона *Neoparabolina frequens argentina* [13]. Фациальные признаки слоя с фоссилиями соответствуют открыто-морским, вероятно, сублиторальным, отложениям. Другой

представитель этой группы, *Mosineia macnaughtoni*, найден в США, Висконсин, в отложениях Elk Mound Group, где возраст пород с фоссилиями определяется широко: от терранувского отдела до нижней половины фурунгского отдела. Эвтикарциноиды *Mictomerus melochevillensi* известны из Канады, отложений Потсдамской серии (Potsdam Group); их возраст также попадает в интервал от среднего кембрия до нижней половины фурунгского отдела [6]. Возраст кимильтейских находок сопоставим с верхними границами возрастов всех этих фоссилий – это фурунгский отдел, его нижняя половина. Также по изотопному U–Pb-датированию зерен детритовых цирконов, 485–495 млн лет, кимильтейская форма относится к фурунгскому отделу. Отметим, что ископаемые из Аргентины могут быть как современниками североамериканских и иркутских эвтикарциноидов, так и несколько моложе их. Таким образом, эвтикарциноиды оказались представлены в середине верхнего кембрия, по крайней мере в трех областях: тропическая Лаврентия в южном полушарии, экваториальные воды Сибирской платформы, умеренная или приполярная Гондвана в южном полушарии. Если эта группа монофилетичная (а у нас пока нет фактов для иного мнения), то она должна была сформироваться и пройти начальные этапы своего становления до начала позднего кембрия. Однако, ориентируясь на широкую географию позднекембрийских находок, трудно предположить, где находилась их древнейшая родина.

Кимильтейские синзифозурины оказываются древнейшими из всех известных представителей этой группы. Синзифозурины считаются в настоящее время сборной группой: одна их часть сблизается с мечехвостами, а другую относят к базальным *Euchelicerata*. Наиболее ранним представителем линии “мечехвостов” является *Lunataspis* из позднего ордовика Канады, а среди базальных *Euchelicerata* с признаками синзифозурин известна форма из раннего ордовика Марокко (биота Фезоата) [17, 18]. Кимильтейская форма, к какой бы линии она не относилась, датируется не моложе позднего кембрия, поэтому она старше и канадского вида, и марокканского.

Древнейшие хазматаспидиды [16] описаны по отпечаткам из Техаса, США, из отложений дребсахского возраста, сопоставимого глобально с нижней половиной фурунгского отдела. Кимильтейский вид, по всей видимости, сосуществовал с техасским. Однако их морфологию сравнить пока трудно из-за очень разной сохранности. Поэтому невозможно заключить, насколько близки были эти формы. Так или иначе, но в позднем кембрии хазматаспидиды, как и эвтикарциноиды, уже прошли первые этапы расселения и радиации. При этом в палеоакватории Кимильтея сожительствоваали одни из самых древних представи-

телей всех трех групп – хазматаспидид, эвтикарциноидов и синзифозурин.

Как в Кимильтее, так и в Техасском местонахождении Nichory Sandstone и в висконсинском Blackberry Hills фации с фоссилиями представляли мелководные пересыхающие зоны. Поэтому все животные из обсуждаемых групп обитали, скорее всего, в литоральной зоне. Эвтикарциноиды уже в позднем кембрии начали осваивать сушу. Это предположение основано на том, что на поверхности пласта с фоссилиями в Blackberry Hills во множестве имеются следовые дорожки, оставленные, как предполагается, именно эвтикарциноидами [19]. В дальнейшем эволюция этой группы привела к становлению наземных насекомых. Synziphosurina как отмечалось выше, не формируют единой клады, а являются сборной группой в основании древа Euchelicerata, а часть их сближается при этом с Xiphosura. Современные Xiphosura, мечехвосты, обитают в прибрежных морских водах, однако для размножения выходят на сушу. Современные Euchelicerata (это паукообразные) в основном наземные, а ископаемые ракоскорпионы, также причисляемые к Euchelicerata, могли выползать на берег выше зоны приливов. Иными словами, потомки синзифозурина тяготеют к наземной жизни. Кимильтейские мелководные синзифозурины, по-видимому, имели половые лопасти, которые, как считается, являются преадаптацией для сухопутного спаривания. Это согласуется с дальнейшей эволюцией их потомков, начавших освоение суши. Хазматаспидиды в ходе своей эволюции в ордовике-девоне освоили солоноватоводные и пресные водоемы [20], что трудно представить без возможности благополучно переживать осушение.

Таким образом, в средне-позднекембрийском кимильтейском комплексе собраны представители тех групп, которые в ходе своей эволюции начали осваивать прибрежную зону и сушу. По-видимому, уже в позднем кембрии они были преадаптированы к этой экологической задаче. Они ее решали параллельно, каждая с использованием своей морфологической специфики, однако начали это эволюционное движение одновременно и с одного и того же экологического старта.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Н.М. Боеву из ИГЕМ РАН, выполнившую с высокой профессиональной ответственностью серию минералогических анализов для данной работы.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Госзадание ПИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воропинов В.С. Первые находки фауны в верхоленской свите // ДАН. 1957. Т. 114. № 6. С. 1291–1293.
2. Гарина С.Ю., Огиенко Л.В. Стратиграфия и трилобиты кембрия Сибирской платформы. М.: Науч. мир, 2001. 322 с.
3. Решения Четвертого Межведомственного стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС. 1989. 64 с.
4. Мельников Н.В., Шабанов Ю.Я., Шабанова О.С. Стратиграфическая схема кембрийских отложений Турухано Иркутско-Олекминского региона Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 6. С. 863–875.
5. Gladkochub D.P., Motova Z.L., Donskaya T.V., Khubanov V.B., Sizov A.V. Cambrian/Ordovician boundary as a milestone in the sedimentation history of the southern Siberian craton: Evidence from U–Pb dating of detrital zircons // Journal of Asian Earth Sciences: X. 2022. V. 8. 100107. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2022.100107>
6. Collette J.H., Hagadorn J.W. Three-dimensionally preserved arthropods from Cambrian Lagerstätten of Quebec and Wisconsin. // J. Paleont. 2010. V. 84 (4). P. 646–667.
7. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U–Pb изотопное датирование цирконов из pz3-mz магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с shrimp данными // Геология и геофизика, № 1. 2016. С. 241–258.
8. Lamsdell J.C. Revised systematics of Palaeozoic “horseshoe crabs” and the myth of monophyletic Xiphosura // Zoological Journal of the Linnean Society. 2013. V. 167 (1). P. 1–27. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2012.00874.x>
9. Vaccari N., Edgecombe G., Escudero C. Cambrian origins and affinities of an enigmatic fossil group of arthropods // Nature. 2004. 430. P. 554–557.
10. Anderson L.I., Trewin N.H. An Early Devonian arthropod fauna from the Windyfield cherts, Aberdeenshire, Scotland // Palaeontology. 2003. V. 46. P. 467–509.
11. Gall J.-C., Grauvogel L. Un arthropode peu connu. Le genre *Euthycarcinus* Handlirsch // Ann. Paléontol. Invert. 1964. V. 50. P. 1–18.
12. Schultka S. Erster nachweis der gattung Euthycarcinus (Arthropoda) aus dem oberkarbon von ibbenbüren (Nordrhein-Westfalen, Deutschland) // Paläontologische Zeitschrift, 1991. V. 65 (3–4), P. 319–332. <https://doi.org/10.1007/bf02989847>
13. Racheboeuf P.R., Vannier J., Schram F.R., Chabard D., Sotty D. The euthycarcinoid arthropods from Montceau-les-Mines, France: functional morphology and affinities // Earth and Environmental Science. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. 2008. V. 99 (1). P. 11–25.
14. Lamsdell J.C. The eurypterid *Stoermeropterus conicus* from the lower Silurian of the Pentland Hills, Scotland: The Palaeontographical Society, London. 2011. 84 p.

15. *Lamsdell J.C., Gunderson G.O., Meyer R.C.* A common arthropod from the Late Ordovician Big Hill Lagerstätte (Michigan) reveals an unexpected ecological diversity within Chasmataspidida // *BMC Evolutionary Biology*. 2019. V. 19 (8). P. 1–24.
16. *Dunlop J.A., Anderson L.I., Braddy S.J.* A redescription of *Chasmataspis laurencii* Caster & Brooks, 1956 (Chelicerata: Chasmataspidida) from the Middle Ordovician of Tennessee, USA, with remarks on chasmataspid phylogeny // *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.* 2004. V. 94. P. 207–225.
17. *Van Roy P., Briggs D.E., Gaines R.R.* The Fezouata fossils of Morocco; an extraordinary record of marine life in the Early Ordovician // *Journal of the Geological Society*. 2015. 172 (5). P. 541–549.
18. *Lustri L., Gueriau P., Van Roy P., Daley A.C.* A new Euechelicera (Synziphosurina) from the early Ordovician Fezouata Biota // 18th Swiss Geoscience Meeting, Zurich 2020.
19. *Braddy S.J., Gass K.C., Gass T.C.* Fossils of Blackberry Hill, Wisconsin, USA: the first animals on land, 500 million years ago // *Geology Today*. 2022. 38: P. 25–31.
20. *Lamsdell J.C., Briggs D.G.* The first diploaspid (Chelicerata: Chasmataspidida) from North America (Silurian, Bertie Group, New York State) is the oldest species of *Diploaspis* // *Geol. Mag.* 154 (1). 2017. P. 175–180.

KIMILTEI IS A NEW LATE CAMBRIAN LAGERSTÄTTE WITH THE FAUNISTIC COMPLEX OF ARTHROPODS (EUTHYCARCINOIDEA, SYNZIPHOSURINA, AND CHASMATASPIDIDA)

E. B. Naimark^{a, #}, A. V. Sizov^b, and V. B. Khubanov^c

^a*Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*Geological Institute RAS, Research Organization of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^c*Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation*

[#]*E-mail: naimark_E@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS A.V. Lopatin May 30, 2023

A new locality Kimiltei, Irkutsk region, where unmineralized remains of arthropods were buried en masse, is described. U-Pb zircon dating indicated the Cambrian age and gave the youngest values 491 ± 6 Ma. Arthropods in Kimiltei are represented by Chasmataspidida, Synziphosurina and Euthycarcinoidea. The last two groups have not been known on the Siberian platform, and the first one has been described here only from the Devonian rocks. The Irkutsk finds fall into the ranks of the most ancient representatives of their groups, and their ranges turned out to be wider than previously known. Attention was drawn to their co-burial as the representatives of these groups have never been found together before. Taking into account that the descendants of all three groups gave rise to terrestrial lines of chelicerates and insects, thus the Kimiltei assemblage is the entire fauna of the land arthropods ancestors. Their co-habitation indicates they started their expansion on land from some close ecological niches in the intertidal zone.

Keywords: Cambrian, Chasmataspidida, Synziphosurina, Euthycarcinoidea, Kimiltei, Irkutsk Amphitheatre, southern Siberia