

## ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВОЙ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ВЕНДА В СИБИРСКОМ ГИПОСТРАТОТИПЕ

В.И. Рогов<sup>1</sup>, Г.А. Карлова<sup>1</sup>, В.В. Марусин<sup>1</sup>, Б.Б. Кочнев<sup>1,2</sup>,  
К.Е. Наговицин<sup>1,2</sup>, Д.В. Гражданкин<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, 2, Россия

Первой биостратиграфической зоне венда (комплексная зона *Anabarites trisulcatus*) в сибирском гипостратотипе (северо-западный склон Оленекского поднятия) отвечает туркутская свита хорбусуонской серии и большая часть сыаргалахской свиты кессюсинской серии. В ряде разрезов в нижней части кессюсинской серии присутствуют стратиформные тела брекчий, одновозрастные средней части сыаргалахской свиты. Показано, что брекчии являются продуктом разрушения туфобрекчий, которые широко распространены в этом регионе и слагают многочисленные трубки взрыва. U–Pb возраст цирконов из туфобрекчий ( $543.9 \pm 0.24$  млн лет) на настоящее время можно считать наиболее точной оценкой возрастной границы между комплексными зонами *Anabarites trisulcatus* и *Purella antiqua*. Наиболее низкий стратиграфический уровень нахождения мелких скелетных остатков *Cambrotubulus decurvatus* (по которым проводится подошва зоны *Anabarites trisulcatus*) установлен в 1.4 м выше подошвы туркутской свиты. Нижележащая хатыспытская свита охарактеризована ихнотекстурами, которые распространены глобально в отложениях с возрастом 553—551 млн лет и повсеместно предшествуют первому появлению мелких скелетных остатков зоны *Anabarites trisulcatus*. Таким образом, возраст нижней границы зоны *Anabarites trisulcatus* моложе чем 553—551 млн лет, а время, в течение которого происходило накопление отложений, объединяемых в зону *Anabarites trisulcatus*, не превышает 6 млн лет.

*Венд, биостратиграфия, Оленекское поднятие.*

## DURATION OF THE FIRST BIOZONE IN THE SIBERIAN HYPOSTRATOTYPE OF THE VENDIAN

V.I. Rogov, G.A. Karlova, V.V. Marusin, B.B. Kochnev, K.E. Nagovitsin, and D.V. Grazhdankin

The first biozone (*Anabarites trisulcatus* Assemblage Zone) in the Siberian hypostrototype of the Vendian (northwestern slope of the Olenek Uplift) is represented by the Turkut Formation of the Khorbusuonka Group and most of the Syhargalakh Formation of the Kessyusa Group. The lower part of the Kessyusa Group in some of the sections includes stratiform breccia coeval with the middle part of the Syhargalakh Formation. The breccia is shown to be the alteration product of tuff breccia which is widely distributed in the region and occurs as diatremes. A U–Pb zircon date of  $543.9 \pm 0.24$  Ma for tuff breccia provides the best constraint on the age of the boundary between the *Anabarites trisulcatus* and *Purella antiqua* Assemblage Zones. The first appearance of small skeletal fossils *Cambrotubulus decurvatus* (which define the base of the *Anabarites trisulcatus* Assemblage Zone) is 1.4 m above the lower boundary of the Turkut Formation. Ichnofabric in the underlying Khatyspyt Formation is globally distributed in the 553–551 strata Ma, always predating the first appearance of small skeletal fossils of the *Anabarites trisulcatus* Assemblage Zone. The base of the *Anabarites trisulcatus* Assemblage Zone is therefore younger than 553–551 Ma, whereas the duration of the assemblage zone does not exceed six million years.

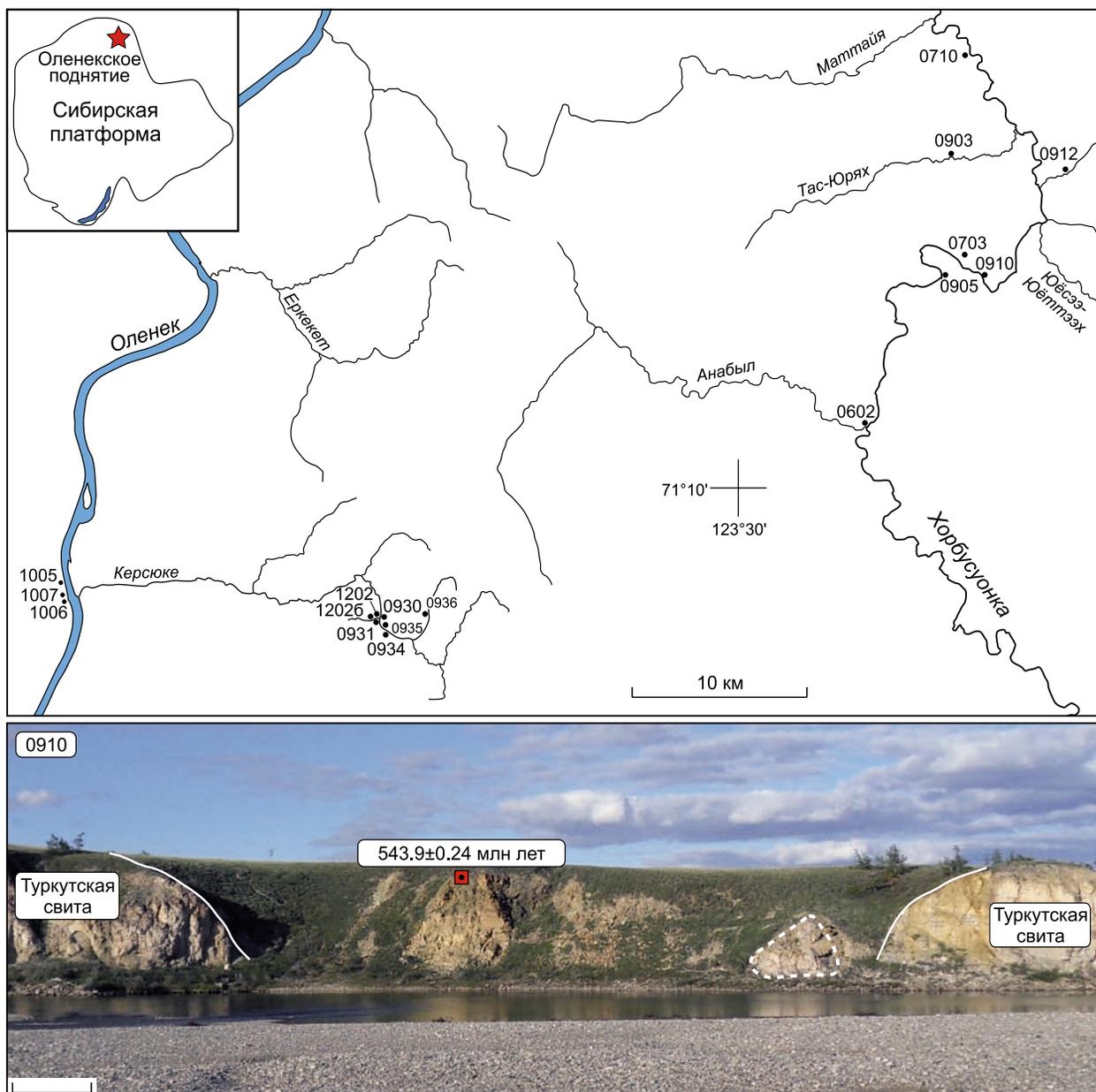
*Vendian, biostratigraphy, Olenek Uplift*

## ВВЕДЕНИЕ

Сибирский гипостратотип венда охарактеризован многочисленными силлами и дайками долеритов и трубками взрыва, прорывающими хатыспытскую и туркутскую свиты хорбусуонской серии [Шпунт и др., 1979, 1982; Шпунт, Шамшина, 1989], а выше по разрезу в составе нижней подсвиты кессюсинской свиты, занимающей пограничное положение между вендом и кембрием, присутствуют своеобразные брекчии диамиктитового облика. По всей видимости, впервые на «пачку грубых конгломератов» с обломками диабазов и туффитов в нижней части кессюсинской свиты обратили внимание В.С. Журавлев и Д.С. Сороков [1954]. Предполагалось, что происхождение этой пачки связано с прояв-

© В.И. Рогов, Г.А. Карлова, В.В. Марусин, Б.Б. Кочнев, К.Е. Наговицин, Д.В. Гражданкин, 2015

DOI: 10.15372/GiG20150408



**Рис. 1. Схема расположения изученных обнажений на северо-западном склоне Оленекского поднятия (реки Хорбусуонка и Керсюке).**

Обнажение туфобрекчий тас-юряхского вулканического комплекса (р. Хорбусуонка, разрез 0910), для которых по цирконам был получен U-Pb возраст  $543.9 \pm 0.24$  млн лет [Bowring et al., 1993]. Штриховой линией показан крупный блок туркутских пород, сплошными показаны вертикальные границы диатремы. Длина масштабной линейки — 10 м.

лением раннепалеозойской вулканической активности на Оленекском поднятии [Леонов, Гогина, 1968]. На определенном этапе исследований стратиграфическое положение брекчий стало предметом дискуссий, высказывались предположения об относительно молодом (мезозойском) их возрасте [Шишкин, 1973; Карлова, Воданюк, 1985], однако детальные полевые исследования [Воданюк, 1987] и результаты палеонтологического изучения обломков [Карлова, 1987] не оставили сомнений относительно поздневендского возраста этих брекчий и их положения в составе нижней подсвиты кессюсинской свиты [Воданюк, Карлова, 1988; Хоментовский, Карлова, 1992; Khomentovsky, Karlova, 1993; Knoll et al., 1995].

U-Pb возраст цирконов из туфобрекчий, слагающих одну из трубок взрыва в левом борту р. Хорбусуонка выше по течению от устья руч. Юёсээ-Юёттээх (рис. 1), составил  $543.9 \pm 0.24$  млн лет [Bowring et al., 1993]. Именно этот возраст изначально послужил основанием для уточнения возраста нижней

границы кембрия (543 млн лет) в Стандартной глобальной хроностратиграфической шкале [Grotzinger et al., 1995]. В настоящее время считается, что возраст нижней границы кембрия (нижней границы фортунского яруса терренувию) незначительно моложе, чем U-Pb возраст цирконов  $540.61 \pm 0.88$  млн лет из вулканических туфов в верхней части формации Urusis Намибии, что в пределах статистической погрешности совпадает с U-Pb возрастом цирконов  $541.00 \pm 0.63$  млн лет ( $2\sigma$ ) из вулканических туфов вблизи крупного отрицательного экскурса на кривой вариаций изотопного состава углерода группы Ага Омана вблизи предполагаемой границы эдиакария и кембрия [Peng et al., 2012]. Возраст  $543.9 \pm 0.24$  млн лет туфобрекчий с р. Хорбусуонка практически не используется для решения проблем хроностратиграфии пограничных отложений эдиакария и кембрия, в первую очередь из-за слабой изученности стратиграфического положения туфобрекчий и природы брекчий в основании кессюсинской свиты.

Разрезы хорбусуонской серии и кессюсинской свиты северо-западного склона Оленекского поднятия завоевали славу опорных для протерозоя Северной Евразии и были предложены в качестве сибирского гипостратотипа венда [Sokolov, Fedonkin, 1984; Соколов, 1985]. Что касается границы венда и кембрия, эта проблема, по мнению Б.С. Соколова [1974; Розанов, Соколов, 1979], может быть решена только с использованием сибирской модели в рамках концепции «полного томмотского яруса нижнего кембрия с базальными слоями, содержащими массовую доархеоциатовую ассоциацию мелких скелетных организмов» [Соколов, 1984, с. 118]. Именно разрезы кессюсинской свиты Б.С. Соколов [1984, 1985, 1995] рекомендовал в качестве «синстратотипа» (наряду с разрезом Дворцы на р. Алдан) нижней границы кембрия. Проведенное нами палеонтологическое изучение сибирского гипостратотипа венда и отложений, переходных от венда к кембрию, позволило существенно уточнить положение стратиформных брекчий, придать новый геологический смысл возрасту эксплозивных брекчий (туфобрекчий) и оценить время формирования первой биостратиграфической зоны венда (рис. 2).

### СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ БРЕКЧИЙ

В качестве стратиграфической основы нами разработан макет схемы расчленения и корреляции верхнепротерозойских и нижнекембрийских отложений северо-западного склона Оленекского поднятия, в которой кессюсинская свита переведена в ранг серии (рис. 3). Поверхности морского затопления разделяют осадочную систему кессюсинской серии на три латеральных фациальных ряда, которые выделяются в сыргалахскую, маттайскую и чускунскую свиты (см. рис. 2, 3). В основании сыргалахской свиты кессюсинской серии залегают светло-серые, мелко-, средне- и крупнозернистые песчаники с обломками гравийной и мелкогалечной размерности. Нижняя граница песчаников неровная, выполняет палеокарстовые полости, карманы и пещеры в туркутской свите, проникающие на глубину до 9 м, что свидетельствует о перерыве в осадконакоплении. Песчаники характеризуются ровной и пологой косою слоистостью. Границы серийных швов волнистые, мощность косых серий 55—65 см. В кровле пластов отмечается разнонаправленная косоволнистая слоистость. Мощность песчаников достигает 7 м (разрез 0710; см. рис. 1). Хатыспытская (разрез 0602; см. рис. 1) и туркутская (разрез 0930; см. рис. 1) свиты хорбусуонской серии и базальные песчаники сыргалахской свиты кессюсинской серии прорываются туфобрекчиями, слагающими трубки взрыва (рис. 4, а; 5, б), которые вместе с силлами и дайками долеритов и покровами базальтов выделяются нами в тас-юряхский вулканический комплекс.

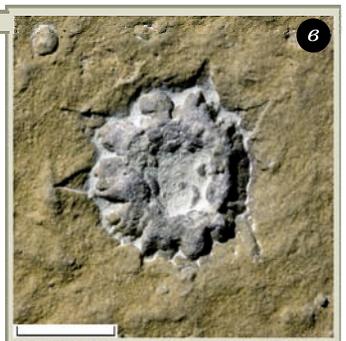
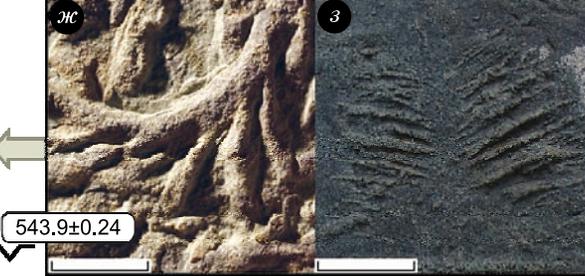
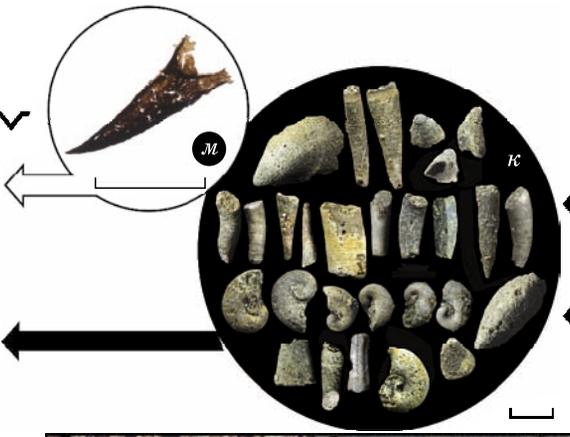
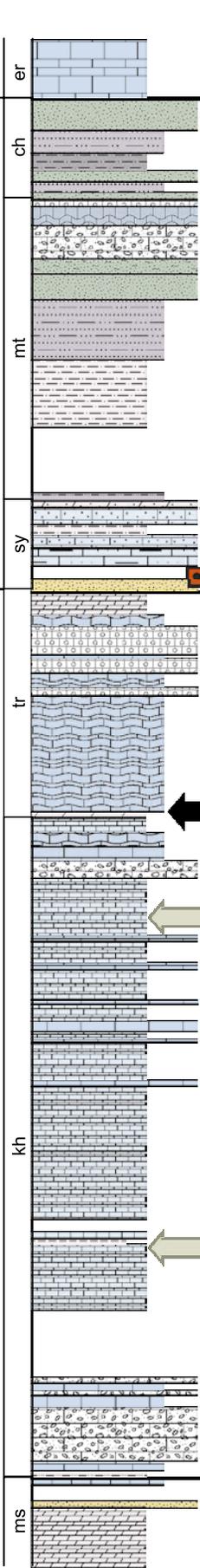
В одном из обнажений в среднем течении р. Керсюке (разрез 0931; см. рис. 1) толща брекчий, имеющая массивный облик, достигает мощности 25 м. По простиранию эта толща ограничена разломом, примыкая к доломитолитам туркутской свиты (рис. 7). Брекчии также присутствуют в противоположном крыле разлома, согласно залегая на базальных косослоистых песчаниках сыргалахской свиты мощностью 1.8 м. В интервале разреза мощностью не более 5 м выше кровли базальных песчаников брекчии содержат блоки желтовато-серых мелко- и среднезернистых тонкослоистых известковистых песчаников, песчаных известняков и серых тонкослоистых алевролитов средней части сыргалахской свиты, не встреченные по другую сторону разлома. Особенности залегания блоков (без значительного перемещения) и признаки оплавления (округлые края блоков, оторочка, апофизы туфового материала) заставляют предполагать внедрение брекчий в среднюю часть сыргалахской свиты. Выше по разрезу брекчии постепенно теряют массивный облик, появляется грубая плитчатость и сортировка обломков (преобладают обломки относительно малого размера до 10—20 см). Мощность брекчий, залегающих на базальных песчаниках сыргалахской свиты, достигает 26 м. Верхняя часть брекчий повсеместно имеет похожее строение (грубая плитчатость и относительно хорошая сортировка обломков). Различное строение нижней части толщи брекчий по разные стороны разлома свидетельствует о заложении тектонического разрыва после накопления базальных песчаников сыргалахской свиты, но до формирования брекчий. Судя по всему, образование мощных (до 50 м) тел брекчий связано с заполнением приразломных депрессий.

КЕМБРИЙ

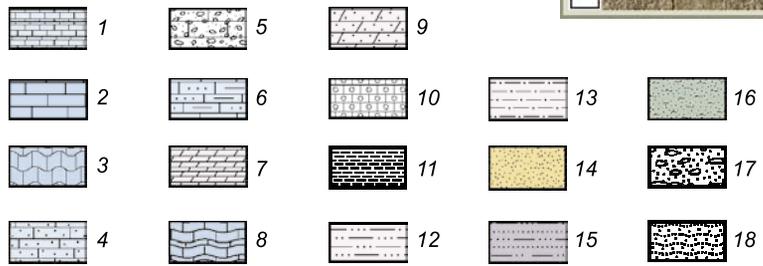
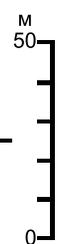
ВЕНД

Кесюинская серия

Хорбусуонская серия



543.9±0.24



## Рис. 2. Сводный разрез и палеонтологическая характеристика венда и пограничных с кембрием отложений северо-западного склона Оленекского поднятия.

Известняки: 1 — тонкослоистые, 2 — грубослоистые, 3 — каркасные (фреймстоуны), 4 — (калькаренины) песчаные, 5 — обломочные, 6 — алевритистые; 7 — доломитолиты, 8 — доломитолиты микробалитовые, 9 — доломитолиты песчаные, 10 — доломитолиты сфероагрегатные, 11 — аргиллиты, 12 — алевролиты, 13 — переслаивание алевролитов и аргиллитов, 14 — песчаники, 15 — переслаивание песчаников и алевролитов, 16 — песчаники глауконитовые, 17 — конгломерат плоскогалечный, 18 — песчаники волнистослоистые. Палеонтологическая характеристика: *a—в* — стратиграфический интервал распространения в разрезе ископаемых остатков органов прикрепления фрондоморфных организмов (*a* — *Mawsonites pleiomorphus*, *б* — *Mawsonites reticulatus*, *в* — *Mawsonites* sp.), *г* — органостенные макроостатки, *д* — ихнотекстуры *Nenoxites*, *е* — первое появление в разрезе внутренних слепков раковин *Cambrotubulus decurvatus*, *ж* — ископаемые следы жизнедеятельности *Treptichnus pedum* (появляются в самой верхней части сыаргалахской свиты), *з* — ископаемые следы жизнедеятельности *Rusophycus avalonensis* (появляются в основании маттайской свиты), *и* — внутренние слепки раковин крупных хиолитов, *к* — первое появление в разрезе мелких скелетных остатков, характеризующих зону *Nochozoicyathus sunnaginicus*, *л* — сохранность эдиакарского типа в томмотских отложениях, *м* — органостенные микроостатки *Ceratophyton* sp. Наименование свит: *ms* — маастахская, *kh* — хатыспытская, *tr* — туркутская, *su* — сыаргалахская, *mt* — маттайская, *ch* — чускунская, *er* — еркекетская. Длина масштабной линейки: *a—д*, *ж*, *з*, *и*, *л* — 10 мм; *е* — 0.2 мм; *к* — 1 мм; *м* — 500 мкм.

На брекчиях согласно, без признаков размыва залегают конгломераты и песчаники верхней части сыаргалахской свиты (см. рис. 4, б; 7). Конгломераты достигают мощности 0.5 м и состоят из крупных (до 10 см) уплощенных обломков известняков сыаргалахской свиты. В песчаниках (мощность до 0.4 м), которые залегают на конгломератах, обнаружены ископаемые следы жизнедеятельности *Protospiralichnus circularis*, образовавшиеся в результате частых круговых движений в горизонтальной плоскости (по радиусу до 10 см) и одновременного перемещения в толще осадка по вертикальной густо свитой спирали, причем следы состоят из модульных сегментов с признаками ритмичного «опробования» осадка. В полных разрезах сыаргалахской свиты (разрезы 1005, 1006, 1007; см. рис. 1) в левом борту долины р. Оленек эти легко распознаваемые следы характеризуют верхнюю часть сыаргалахской свиты. Таким образом, конгломераты и песчаники, залегающие на брекчиях, скорее всего, принадлежат верхней части сыаргалахской свиты. Перечисленные особенности строения позволяют считать брекчии одновозрастными средней части сыаргалахской свиты (рис. 8).

### ГЕНЕЗИС БРЕКЧИЙ

Обломки в брекчиях имеют размеры от песчаной до глыбовой (до 40—50 см, иногда до 1.0—1.5 м). Обломки песчаной размерности представлены микробалитовыми и сфероагрегатными доломитолитами, тонкослоистыми и битуминозными известняками, глинистыми тонкослоистыми доломитолитами, базальтами и тонкослоистыми вулканическими туфами. Степень сортировки изменяется от очень плохой до средней. В шлифах хорошо проявлена линейность, которая выражается в расположении удлиненных обломков вдоль одной оси. Кроме того, в шлифах наблюдаются признаки дробления и разрушения угловатых частей относительно крупных и средних обломков с образованием шлейфов из мелких фрагментов (так называемые «тени давления») и перераспределением мелких удлиненных зерен, что свидетельствует о вращении обломков. Соприкосновение обломков приводило к их разрушению либо пластичной деформации. Обломки брекчиевой и глыбовой размерности представлены главным образом породами хатыспытской и туркутской свит: тонкослоистыми известняками, иногда с ихнотекстурами, тонко переслаивающимися известняками и аргиллитами и различными доломитолитами. В подчиненном количестве встречаются обломки песчаников и базальтов, для которых характерно наличие каймы раскристаллизации (рис. 9, г). Степень сферичности обломков различная, встречаются и угловатые обломки. Распределение обломков неравномерное (см. рис. 9, б). На поверхностях некоторых обломков хорошо видны четкие параллельные борозды и зеркала скольжения. Матрикс брекчий имеет зеленовато-серую окраску, слабо сцементирован и представлен туфогенно-карбонатным материалом с примесью (до 10 %) кварцевых зерен.

Брекчии окружают кратеры трубок взрыва (см. рис. 4, а) и связаны постепенными переходами с туфобрекчиями, слагающими эти трубки. В пределах северо-западного склона Оленекского поднятия, по разным оценкам, находится от 40 до 100 трубок взрыва [Леонов, Гогина, 1968; Шпунт, Шамшина, 1989], часто сгруппированные в кластеры по несколько тел. Обломки в эксплозивных брекчиях представлены микробалитовыми и сфероагрегатными доломитолитами, тонкослоистыми и битуминозными известняками, глинистыми тонкослоистыми доломитолитами, мелкозернистыми песчаниками и алевролитами, кластогенным кварцем, тонкослоистыми вулканическими туфами и базальтами (см. рис. 9, а). Угловатые обломки базальтов размером от первых миллиметров до 10 см и более имеют гиа-

ОСШ 2001		МСШ 2014		Биостратиграфические стандартные зоны		Северо-западный склон Оленекского поднятия				
Система	Отдел	Ярус	Система	Отдел	Ярус	Мелкокоралковая фауна	Следы жизнедеятельности	р. Оленек	р. Керсюке	р. Хорбусуонка
						[Khomentovsky, Karlova, 2005]	[MacNaughton Narbonne, 1999]			
КЕМБРИЙСКАЯ	Нижний	Томмотский	CAMBRIAN	Terreneuvian	?	<i>Nochoroicyathus sunnaginicus</i>	<i>Rusophycus avalonensis</i>	Чускунская свита	Чускунская свита	Чускунская свита
								Маттайская свита	Маттайская свита	Маттайская свита
ВЕНДСКАЯ	Верхний	Немакит-далдынский	EDIACARAN	Fortunian		<i>Purella antiqua</i>	<i>Treptichnus pedum</i>	Сыаргалахская свита	Сыаргалахская свита Тас-юряхский вулканический комплекс	Сыаргалахская свита Тас-юряхский вулканический комплекс
								Сыаргалахская свита	Сыаргалахская свита	Сыаргалахская свита
						<i>Anabarites trisulcatus</i>		Туркутская свита	Туркутская свита	Туркутская свита
								?	Хатыспытская свита	Хатыспытская свита
								?	?	Маастахская свита

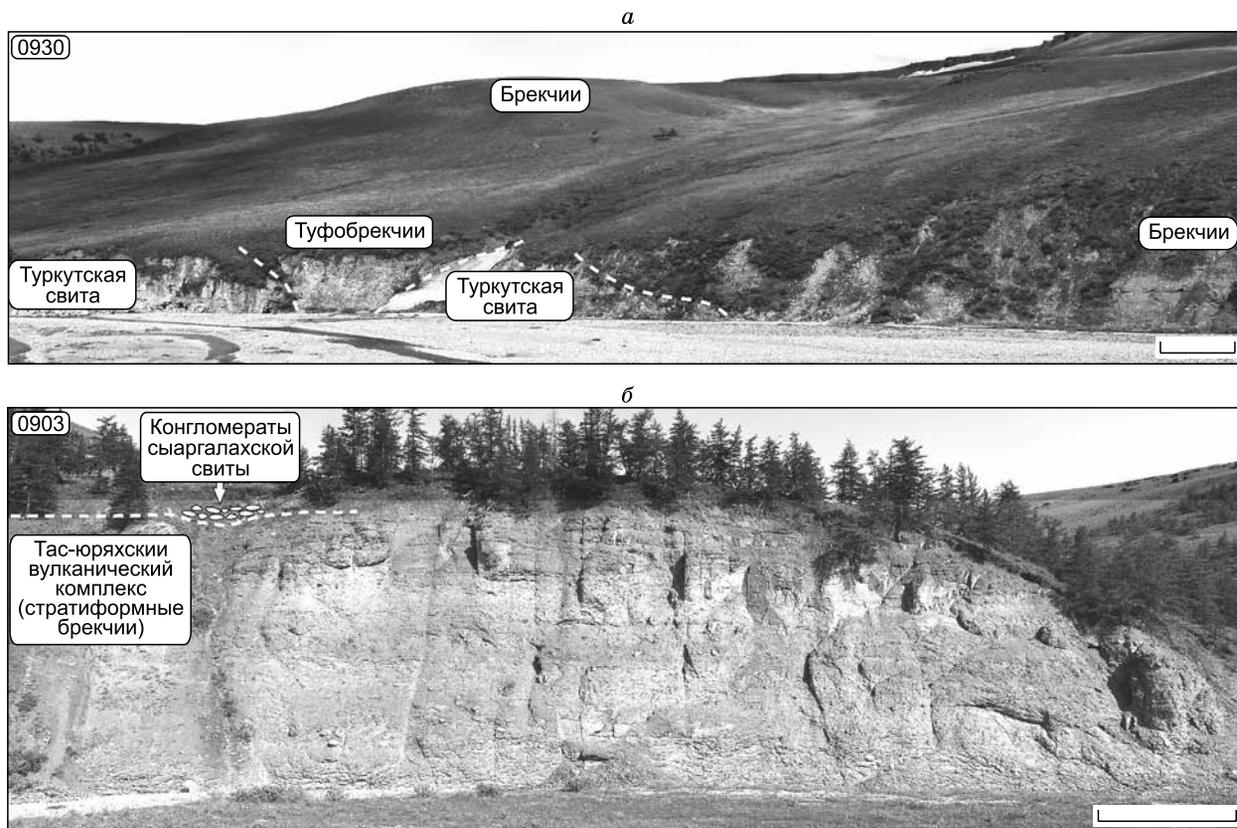
**Рис. 3. Макет стратиграфической схемы вендских и пограничных между вендом и кембрием отложений северо-западного склона Оленекского поднятия Сибири.**

Немакит-далдынский ярус включен в Общую стратиграфическую шкалу докембрия в соответствии с Постановлениями МСК [Состояние..., 2008].

лопилитовую и микролитовую структуры и преимущественно миндалекаменную текстуру. Миндалины и поры заполнены кальцитом и/или хлоритом. Обломки осадочных пород в составе туфобрекчий осевой части трубок в основном принадлежат туркутской и хатыспытской свитам, в краевых частях трубок могут присутствовать обломки пород сыаргалахской свиты. В редких случаях обломки осадочных пород достигают глыбовой (до 1.5 м) и блоковой (шириной несколько метров) размерности. Обломки могут иметь округлую форму с оторочкой и апофизами туфового материала, что можно интерпретировать как результат оплавления.

Туфовый материал в трубках представлен буроватыми и серыми (в зависимости от степени вторичного ожелезнения) лапиллями (см. рис. 9, е) округлой и эллипсоидной формы (диаметром 1—20 мм), обломками вулканических стекол и санидином в виде мелких прозрачных удлинённых кристаллов (см. рис. 9, в) и в качестве компонента микрокристаллической карбонатно-полевошпатовой массы (матрикса туфобрекчий) (см. рис. 9, д). Также присутствуют обломки долеритов, доломитолитов, алевролитов, песчаников и зерна кварца. Лапилли представляют собой обломки породы (либо скопления нескольких мелких обломков) в основной вулканической массе, покрытые оболочкой из микрокристаллического карбонатно-полевошпатового материала (см. рис. 9, е). Поровое пространство в лапиллях заполнено хлоритом, кальцитом, иногда цеолитом. Похожие лапилли также присутствуют в брекчиях. Кроме того, отдельные обломки в туфобрекчиях сложены туфовым материалом, в свою очередь, вмещающим более мелкие обломки туфов. Также присутствуют редкие кристаллы и обломки кристаллов циркона размером до 200 мкм, биотит, ильменит и рутил.

Преыдущими исследователями отмечалось сходство состава брекчий нижней подсвиты кессюсинской свиты с трубками взрыва, прорывающими хатыспытскую и туркутскую свиты [Pelechaty et al., 1996]. Проведенное нами петрографическое изучение не только подтверждает эти наблюдения, но и позволяют рассматривать брекчии как продукт разрушения и, возможно, переотложения туфобрекчий. Брекчии исключены из состава кессюсинской серии и рассматриваются нами вместе с туфобрекчиями, породами базальтов, силлами и дайками долеритов в составе тас-юряхского вулканического комплекса.



**Рис. 4. Взаимоотношение туфобрекчий и брекчий тас-юряхского вулканического комплекса с вмещающими и перекрывающими отложениями:**

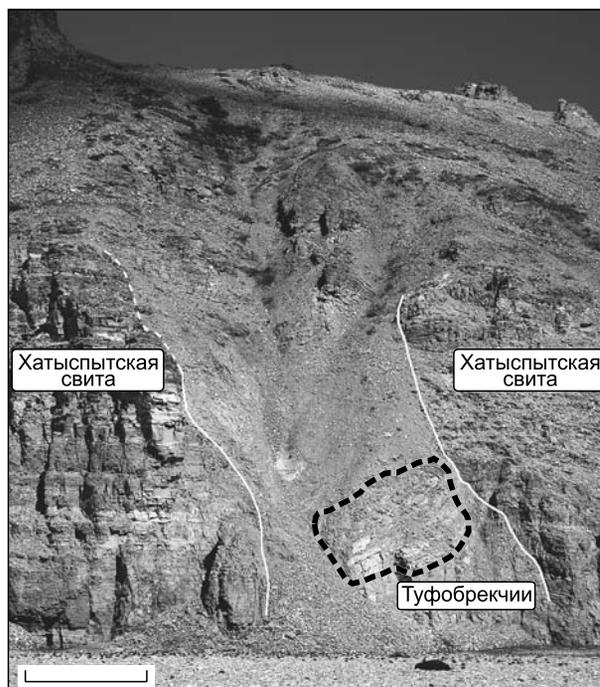
а — р. Керсюке (разрез 0930), б — руч. Тас-Юрях (разрез 0903). Длина масштабной линейки — 10 м.

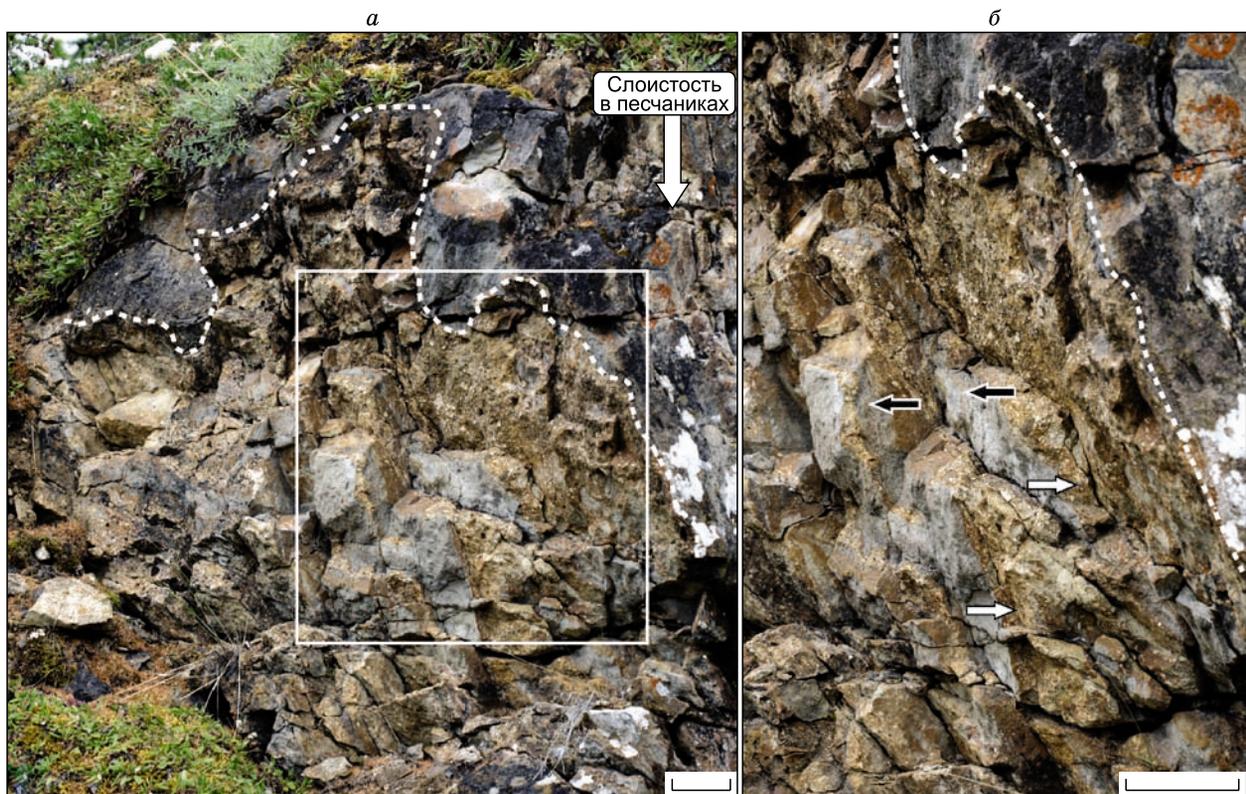
### ЗНАЧЕНИЕ БРЕКЧИЙ ДЛЯ ХРОНОСТРАТИГРАФИИ ВЕНДА

Обломки карбонатных пород из верхней части брекчий, представленных в обнажении в левом борту долины руч. Тас-Юрях, содержат внутренние слепки раковин *Anabarites trisulcatus* [Карлова, 1987]. Средняя часть сыаргалахской свиты (в работах предыдущих исследователей — нижняя подсвита кесьюсинской свиты), которая формировалась одновременно с образованием брекчий, охарактеризована мелкими скелетными остатками комплексной зоны *Anabarites trisulcatus* [Хоментовский, Карлова, 1992]. В обнажениях верхней части сыаргалахской свиты установлены мелкие скелетные остатки *Anabarites trisulcatus*, *Anabarites signatus*, *Cambrotubulus decurvatus*, *Tiksitheca* sp. и *Protohertzina anabarica*, позволяющие относить сыаргалахскую свиту целиком к верхнему венду и проводить внутри свиты в верхней ее части границу комплексных зон *Anabarites trisulcatus* и *Purella*

**Рис. 5. Трубка взрыва, выполненная туфобрекчиями тас-юряхского вулканического комплекса, прорывающая хатыспытскую свиту хорбусуновской серии (устье руч. Анабыл, разрез 0602).**

Черной штриховой линией показан крупный блок хатыспытских пород, сплошными белыми показаны вертикальные границы тела туфобрекчий. Длина масштабной линейки — 5 м.





**Рис. 6. Взаимоотношение туфобрекчий тас-юряхского вулканического комплекса и базальных песчаников сыргалахской свиты (разрез 0710).**

*a* — субгоризонтальное залегание песчаников и субвертикально ориентированные трещины, заполненные коричневатой-серой туфобрекчий (пунктирной линией показана граница между песчаниками и туфобрекчий); *б* — трещины в светло-серых песчаниках (черные стрелки), заполненные туфобрекчий (белые стрелки). Длина масштабной линейки — 10 см.

*antiqua*. На брекчиях согласно залегают конгломераты (см. рис. 8, *d*), в матрице которых также обнаружены мелкие скелетные остатки, характеризующие комплексную зону *Purella antiqua* (см. рис. 7). Таким образом, стратифицированные тела брекчий имеют поздневендский возраст и приурочены к верхней части комплексной зоны *Anabarites trisulcatus* (см. рис. 3).

Стратиформные тела брекчий тас-юряхского вулканического комплекса, выполняющие приразломные депрессии по периферии диатрем, разновозрастны, с одной стороны, трубкам взрыва, а с другой, — средней части сыргалахской свиты кессюсинской серии, отвечающей самой верхней части зоны *Anabarites trisulcatus*. Следовательно, U-Pb возраст цирконов из туфобрекчий ( $543.9 \pm 0.24$  млн лет [Bowring et al., 1993]), в настоящее время можно считать наиболее точной оценкой возраста границы между комплексными зонами *Anabarites trisulcatus* и *Purella antiqua*.

К границе зон приурочен самый низкий стратиграфический уровень с ископаемыми следами жизнедеятельности *Treptichnus pedum*, вида-индекса нижней ихнозоны кембрия в Стандартной глобальной хроностратиграфической шкале (см. рис. 2). По крайней мере на северо-западном склоне Оленекского поднятия Сибирской платформы возраст ископаемых следов *Treptichnus pedum* древнее, чем принятый в настоящее время возраст ( $541.0 \pm 1.0$  млн лет) нижней границы фортунского яруса кембрия.

#### **НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ЗОНЫ ANABARITES TRISULCATUS В СИБИРСКОМ ГИПОСТРАТОТИПЕ ВЕНДА**

Нижняя граница комплексной зоны *Anabarites trisulcatus* совпадает с подошвой немакит-далдынского яруса и проводится по появлению ископаемых остатков животных с биологически контролируемой минерализацией [Хоментовский, 1975]. В соответствии с международной стратиграфической практикой, под комплексной биозоной понимается «совокупность слоев, охарактеризованных комплексом из трех или более ископаемых таксонов, которые, взятые вместе, отличают ее по биостратиграфическому характеру от соседних слоев». Кроме того, «...в слоях, которые могут относиться к комплексной

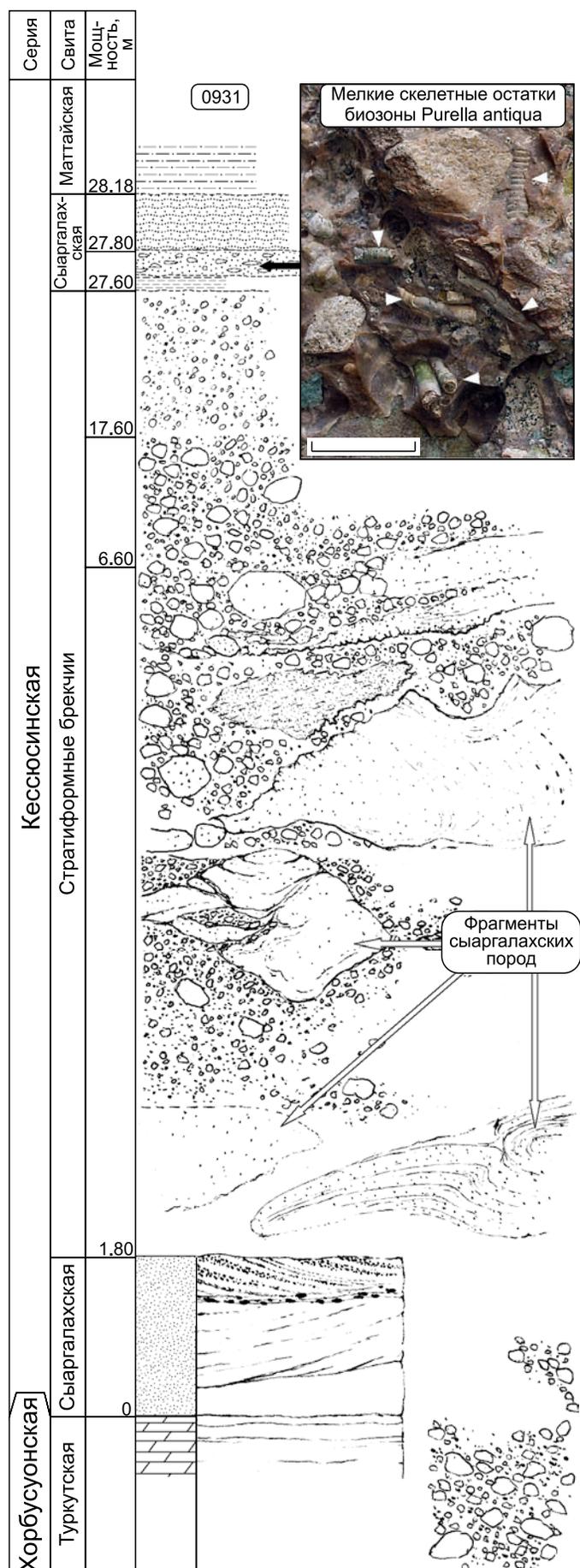
**Рис. 7. Взаимоотношение брекчий тас-юряхского вулканического комплекса и сыаргалахской свиты (р. Керсюке, разрез 0931).**

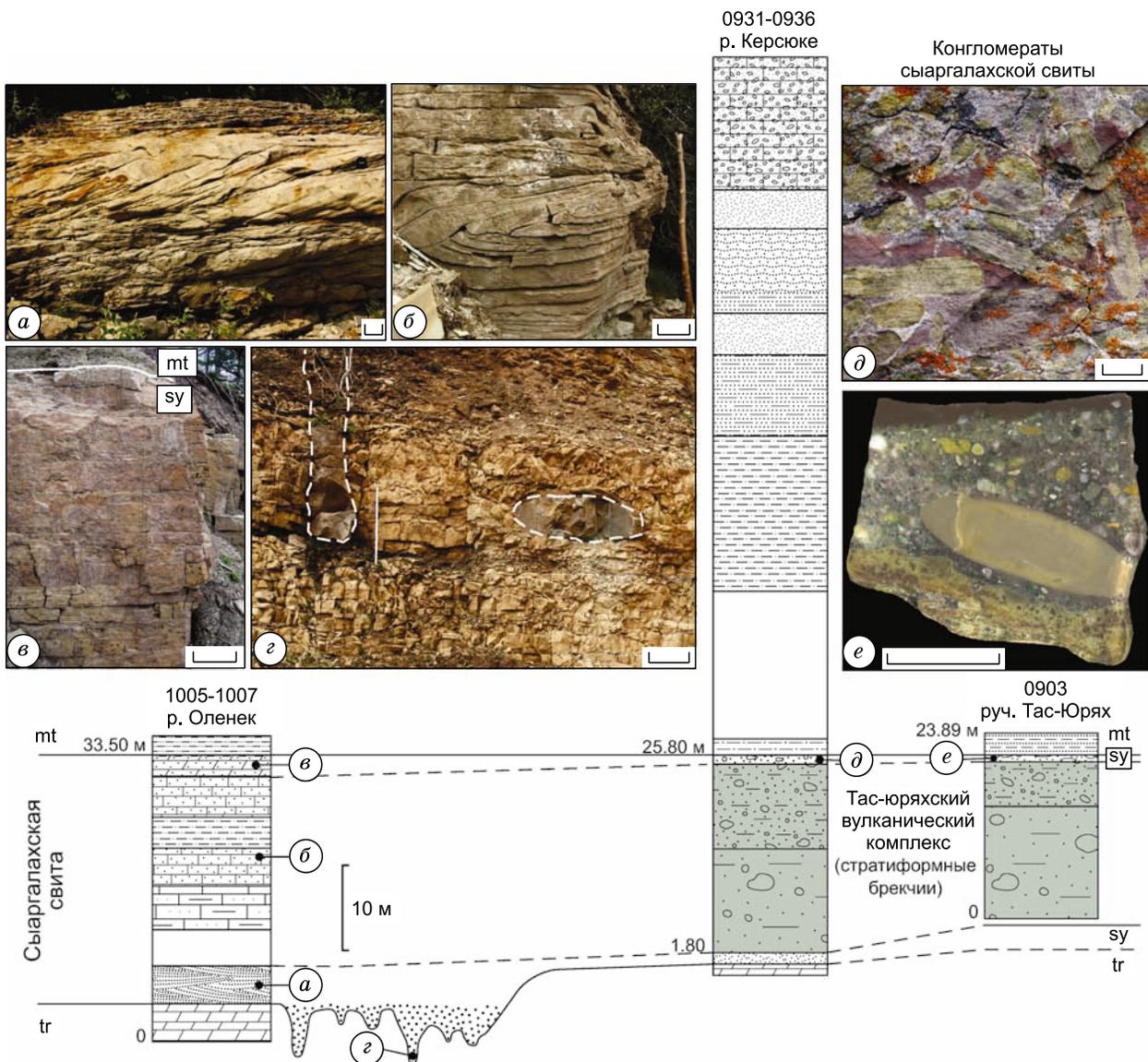
Длина масштабной линейки — 10 мм. Усл. обозн. см. на рис. 2.

зоне, не обязательно должны присутствовать все члены комплекса, а распространение любого из его компонентов может выходить за границы зоны» [Murphy, Salvador, 1999, p. 263]. Туркутская свита по всему разрезу содержит внутренние слепки раковин анабаритид *Cambrotubulus decurvatus*, одного из характерных таксонов комплексной зоны *Anabarites trisulcatus*. Наиболее низкий уровень находок *Cambrotubulus decurvatus* установлен в 1.4 м выше подошвы туркутской свиты. Следовательно, туркутская свита целиком относится к комплексной зоне *Anabarites trisulcatus*.

В пользу корреляции туркутской свиты с зоной *Anabarites trisulcatus* свидетельствует широкое распространение в подстилающей хатыспытской свите менисковых структур (см. рис. 2). Аналогичные структуры известны в Учуро-Майском регионе Сибирской платформы [Zhuravlev et al., 2009], а за пределами Сибири — в Китае, Малых Гималаях и на Восточно-Европейской платформе [Shen et al., 2007; Dong et al., 2008; Rogov et al., 2013a; Tarhan et al., 2014]. Менисковые структуры различными исследователями интерпретируются как ископаемые остатки организмов [Shen et al., 2007; Dong et al., 2008; Meyer et al., 2012; Tarhan et al., 2014], либо как следы жизнедеятельности псевдоплазмодиев мицетозои [Zhuravlev et al., 2009], а нами рассматриваются как древнейшие ихнотекстуры, результат активного перемешивания осадка роющими организмами [Rogov et al., 2012, 2013a, 2013b].

В Учуро-Майском регионе Сибири ихнотекстуры хатыспытского типа характеризуют аймскую (по данным других исследователей — усть-юдомскую) свиту [Zhuravlev et al., 2009], для которой был получен Pb-Pb-изохронный возраст  $553 \pm 23$  (2 $\sigma$ ) млн лет [Семихатов и др., 2003]. В Китае ихнотекстуры хатыспытского типа встречены в формациях Zhengmuguan, Zhoujieshan, Liuchapo и Dengying [Shen et al., 2007; Dong et al., 2008], возраст которых моложе, чем U-Pb возраст цирконов  $551.1 \pm 0.7$  млн лет из вулканических туфов [Condon et al., 2005]. На Восточно-Европейской платформе идентичные ихнотекстуры установлены в ярышевс-



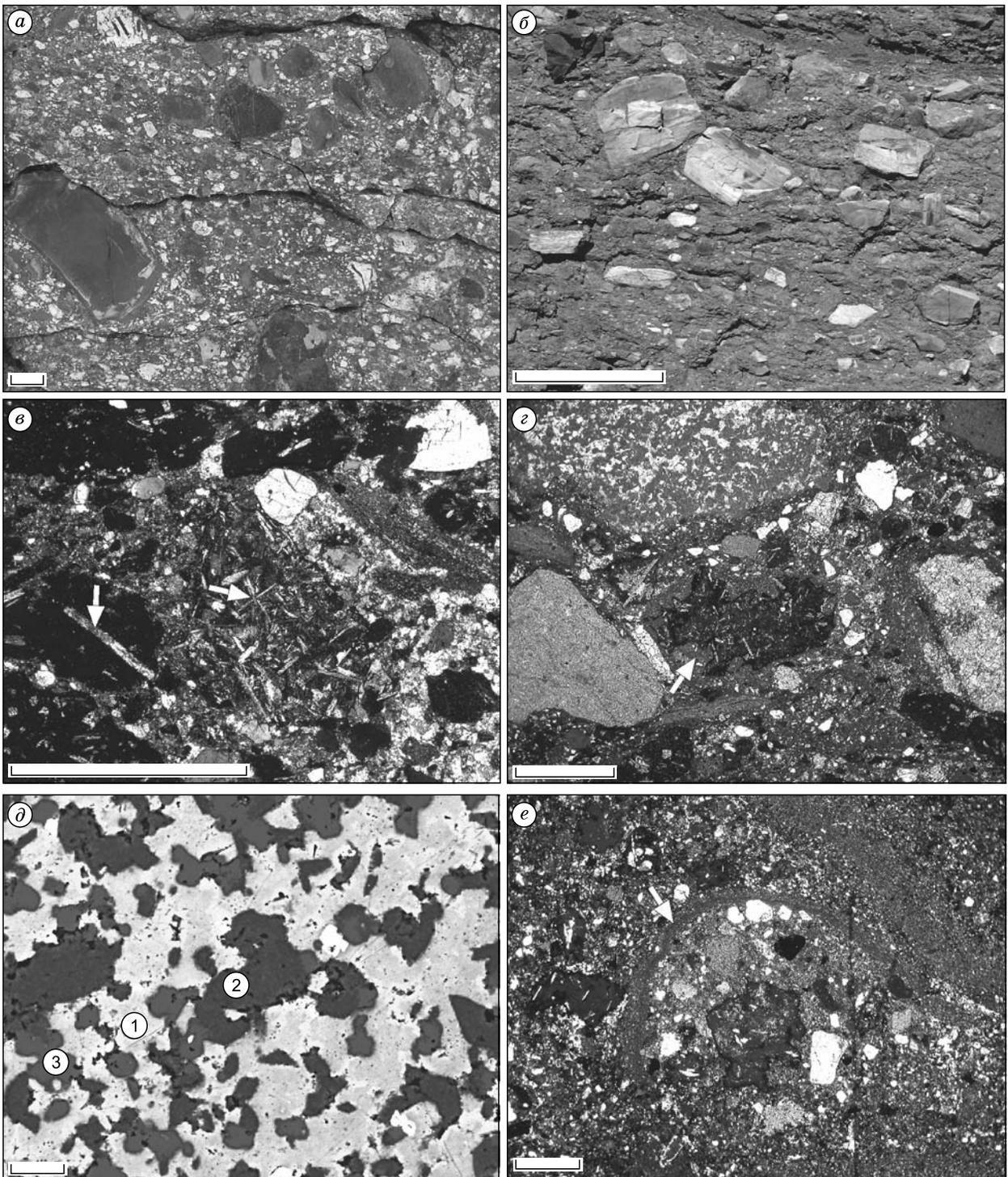


**Рис. 8. Характер взаимоотношения сыаргалахской свиты и брекчий тас-юряхского вулканического комплекса.**

*a* — косослоистые песчаники нижней части сыаргалахской свиты; *b* — бугорчатая слоистость в песчаных известняках; *в* — граница сыаргалахской и маттайской свит; *г* — заполненные песчаником карстовые полости (белая штриховая линия) в доломитолитах туркутской свиты; *д* — конгломераты верхней части сыаргалахской свиты (р. Керсюке); *е* — конгломераты верхней части сыаргалахской свиты (руч. Тас-Юрях). Длина масштабной линейки: *a–г* — 10 см; *д, е* — 1 см.

кой свите Подольского Приднестровья [Гуреев, 1988], которая может быть разновозрастной толеитовым базальтам (Rb-Sr-изохронный возраст  $552 \pm 53$  млн лет) и туфам (U-Pb-цирконовый возраст  $551 \pm 4$  млн лет) волинской серии [Compston et al., 1995; Носова и др., 2008], а U-Pb возраст цирконов из прослоя вулканических туфов в верхней части бернашевских слоев ярышевской свиты составил 553 млн лет [Rogov et al., 2013a]. В Малых Гималаях аналогичные ихнотекстуры присутствуют стратиграфически ниже первого появления мелких скелетных остатков зоны *Anabarites trisulcatus* [Tarhan et al., 2014].

Таким образом, судя по всему, ихнотекстуры хатыспытского типа впервые появляются в отложениях с возрастом 553—551 млн лет [Grazhdankin, 2014] и сразу получают глобальное распространение. В разрезах, где совместно встречены ихнотекстуры хатыспытского типа и ископаемые остатки животных с биологически контролируемой минерализацией, появление ихнотекстур предшествует первому появлению комплекса, характеризующего зону *Anabarites trisulcatus* [Zhuravlev et al., 2012; Tarhan et al., 2014]. Это обстоятельство позволяет считать возраст нижней границы зоны *Anabarites trisulcatus* моложе чем 553—551 млн лет.



**Рис. 9. Структурные особенности и состав брекчий и туфобрекчий тас-юряхского вулканического комплекса.**

*a* — туфобрекчий с обломками пород хатыспытской и туркутской свит (разрез 0710); *б* — брекчий с обломками пород хатыспытской и туркутской свит (разрез 1202); *в* — обломки базальтов с микролитами санидина (показаны стрелками) в петрографическом шлифе брекчий (разрез 0903, николи  $\times$ ); *г* — обломок базальта с каймой раскристаллизации (показана стрелкой) в брекчиях (разрез 0903, николи  $\times$ ); *д* — матрикс туфобрекчий (разрез 0602, изображение с электронного сканирующего микроскопа, цифрами показаны: 1 — Mg-кальцит, 2 — калиевый полевой шпат, 3 — окремнение); *е* — туфобрекчий в петрографическом шлифе (разрез 0710, стрелкой показана тонкодисперсная оболочка лапиллей, николи  $\times$ ). Длина масштабной линейки: *a* — 1 см; *б* — 1 м, *д* — 20 мкм, *в*, *г*, *е* — 1 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты свидетельствуют о более раннем (~550 млн лет), чем это предполагается в настоящее время (~541 млн лет) [Kouchinsky et al., 2012], времени появления мелких скелетных остатков, характеризующих комплексную зону *Anabarites trisulcatus*. Существенный рост таксономического разнообразия ископаемых остатков, позволяющий выделять следующую комплексную зону *Purella antiqua*, установлен в слоях с возрастом, несомненно моложе чем ~544 млн лет. Следовательно, время, в течение которого происходило накопление отложений, объединяемых в биостратиграфическую зону *Anabarites trisulcatus*, составляет ~6 млн лет.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 12-05-31356, 12-05-31421, 12-05-00012), программы Президиума РАН (проекты № 23.4 и 28.3) и National Geographic Committee for Research and Exploration (гранты № 8227-07, 8637-09, 9031-11). Окончательные выводы получены при поддержке Российского научного фонда (грант 14-17-00409).

## ЛИТЕРАТУРА

**Воданюк С.А.** Проблемные вопросы стратиграфии вендских отложений бассейна р. Хорбусуонки (Оленекское поднятие) // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Сибирская платформа и ее южное складчатое обрамление / Под ред. В.В. Хоментовского, В.Ю. Шенфиля. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1987, с. 3—17.

**Воданюк С.А., Карлова Г.А.** О кессюсинской свите Оленекского поднятия // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Венд и рифей / Под ред. В.В. Хоментовского, В.Ю. Шенфиля. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1988, с. 3—20.

**Гурев Ю.А.** Бесскелетная фауна венда // Биостратиграфия и палеогеографические реконструкции докембрия Украины / Ред. В.А. Рябенко. Киев, Наук. думка, 1988, с. 65—81.

**Журавлев В.С., Сороков Д.С.** Литолого-стратиграфическое подразделение кембрийских отложений Оленекского сводового поднятия // Сборник статей по геологии Арктики. Вып. 3. Труды Научно-исследовательского института геологии Арктики / Ред. Б.В. Ткаченко. Л., М., Водтрансиздат, 1954, с. 27—48.

**Карлова Г.А.** Первые находки скелетной фауны в туркутской свите Оленекского поднятия // Докл. АН СССР, 1987, т. 292, с. 204—205.

**Карлова Г.А., Воданюк С.А.** Новые данные о переходных к кембрию отложениях бассейна р. Хорбусуонка (Оленекское поднятие) // Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Сибири. Венд и рифей / Ред. В.В. Хоментовский. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1985, с. 3—13.

**Леонов Б.Н., Гогина Н.И.** Раннепалеозойский вулканизм на северо-востоке Сибирской платформы // Сов. геология, 1968, № 4, с. 94—102.

**Носова А.А., Кузьменкова О.Ф., Веретенников Н.В., Петрова Л.Г., Левский Л.К.** Неопротерозойская Волыньско-Брестская магматическая провинция на западе Восточно-Европейского кратона: особенности внутриплитного магматизма в области древних шовных зон // Петрология, 2008, т. 16 (2), с. 115—147.

**Розанов А.Ю., Соколов Б.С.** Проблема границы кембрия и докембрия // Палеонтология докембрия и раннего кембрия (Труды Всесоюзного симпозиума). Л., Наука, 1979, с. 16—20.

**Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Каурова О.К., Петров П.Ю.** Рb-Рb-изохронный возраст и Sr-изотопная характеристика верхнеюдомских карбонатных отложений (венд Юдомо-Майского прогиба, Восточная Сибирь) // ДАН, 2003, т. 393 (1), с. 83—87.

**Соколов Б.С.** Проблема границы докембрия и кембрия // Геология и геофизика, 1974 (2), с. 3—29.

**Соколов Б.С.** Вендская система: положение в стратиграфической шкале // Стратиграфия. М., Наука, 1984, с. 111—127 (XXVII Международный геологический конгресс. Секция 01. Доклады. Т. 1).

**Соколов Б.С.** Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М., Наука, 1985, с. 199—215.

**Соколов Б.С.** Вендская система и «Неопротерозой-III» // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1995, т. 3, № 6, с. 51—67.

**Состояние** изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2008, 131 с.

**Хоментовский В.В.** О юдомском комплексе и проблеме венда Сибири // Аналоги вендского комплекса в Сибири / Под ред. Б.С. Соколова, В.В. Хоментовского. М., Наука, 1975, с. 11—42.

**Хоментовский В.В., Карлова Г.А.** Нижняя граница кембрия и принципы ее обоснования в Сибири // Геология и геофизика, 1992 (11), с. 3—26.

**Шишкин Б.Б.** О времени проявления вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы // Новые данные по геологии и нефтегазоносности Сибирской платформы. Сборник научных трудов / Под ред. Н. В. Мельникова, А. В. Хоменко. Вып. 167. Новосибирск, СНИИГиМС, 1973, с. 67—69.

- Шпунт Б.Р., Шамшина Э.А.** Поздневендские калиевые щелочные вулканиды Оленекского поднятия (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. АН СССР, 1989, т. 307 (3), с. 678—682.
- Шпунт Б.Р., Шаповалова И.Г., Шамшина Э.А., Лазебник К.А., Савинов В.Т., Пермьяков Э.Д., Келле Э.Я., Янковский Е.В.** Оленекское поднятие // Протерозой северо-восточной окраины Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1979, 215 с.
- Шпунт Б.Р., Шаповалова И.Г., Шамшина Э.А.** Поздний докембрий севера Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1982, 226 с.
- Bowring S.A., Grotzinger J.P., Isachsen C.E., Knoll A.H., Pelechaty S.M., Kolosov P.** Calibrating rates of early Cambrian evolution // *Science*, 1993, v. 261, p. 1293—1298.
- Compston W., Sambridge M.S., Reinfrank R.F., Moczydlowska M., Vidal G., Claesson S.** Numerical ages of volcanic rocks and the earliest faunal zone within the late Precambrian of east Poland // *J. Geol. Soc.*, 1995, v. 152, p. 599—611.
- Condon D., Zhu M., Bowring S.A., Wang W., Yang A., Jin Y.** U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China // *Science*, 2005, v. 308, p. 95—98.
- Dong L., Xiao S., Shen B., Zhou C.** Silicified *Horodyskia* and *Palaeopascichnus* from upper Ediacaran cherts in South China: Tentative phylogenetic interpretation and implications for evolutionary stasis // *J. Geol. Soc.*, 2008, v. 165, p. 367—378.
- Grazhdankin D.** Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota // *J. Paleont.*, 2014, v. 88, p. 269—283.
- Grotzinger J.P., Bowring S.A., Saylor B.Z., Kaufman A.J.** Biostratigraphic and geochronologic constraints on early animal evolution // *Science*, 1995, v. 270, p. 598—604.
- Khomentovsky V.V., Karlova G.A.** Biostratigraphy of the Vendian-Cambrian beds and the lower Cambrian boundary in Siberia // *Geol. Mag.*, 1993, v. 130(1), p. 29—45.
- Khomentovsky V.V., Karlova G.A.** The Tommotian stage base as the Cambrian lower boundary in Siberia // *Stratig. Geol. Corr.*, 2005, v. 13 (1), p. 26—40.
- Knoll A.H., Grotzinger J.P., Kaufman A.J., Kolosov P.** Integrated approaches to terminal Proterozoic stratigraphy: An example from the Olenek Uplift, northeastern Siberia // *Precam. Res.*, 1995, v. 73, p. 251—270.
- Kouchinsky A., Bengtson S., Runnegar B., Skovsted C., Steiner M., Vendrasco M.** Chronology of Early Cambrian biomineralization // *Geol. Mag.*, 2012, v. 149, № 2, p. 221—251.
- MacNaughton R.B., Narbonne G.M.** Evolution and ecology of Neoproterozoic-Lower Cambrian trace fossils, NW Canada // *Palaio*, 1999, v. 14, p. 97—115.
- Meyer M., Schiffbauer J.D., Xiao S., Cai Y., Hua H.** Taphonomy of the upper Ediacaran enigmatic ribbonlike fossil *Shaanxilithes* // *Palaio*, 2012, v. 27, p. 354—372.
- Murphy A.M., Salvador A.** International stratigraphic guide — an abridged version. Episodes, 1999, v. 22, № 4, p. 255—271.
- Pelechaty S.M., Grotzinger J.P., Kashirtsev V.A., Zhernovsky V.P.** Chemostratigraphic and sequence stratigraphic constraints on Vendian-Cambrian basin dynamics, Northeast Siberian Craton // *J. Geol.*, 1996, v. 104, p. 543—563.
- Peng S., Babcock L.E., Cooper R.A.** The Cambrian period // *The Geological Time Scale* / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M. Schmitz, G. Ogg. Elsevier, 2012, p. 437—488.
- Rogov V., Marusin V., Bykova N., Goy Y., Nagovitsin K., Kochnev B., Karlova G., Grazhdankin D.** The oldest evidence of bioturbation on Earth // *Geology*, 2012, v. 40, № 5, p. 395—398.
- Rogov V., Marusin V., Bykova N., Goy Y., Nagovitsin K., Kochnev B., Karlova G., Grazhdankin D.** Reply: The oldest evidence of bioturbation on Earth // *Geology*, 2013a, v. 41, № 5, p. e290.
- Rogov V., Marusin V., Bykova N., Goy Y., Nagovitsin K., Kochnev B., Karlova G., Grazhdankin D.** Reply: The oldest evidence of bioturbation on Earth // *Geology*, 2013b, v. 41, № 9, p. e300.
- Shen B., Xiao S., Dong L., Zhou C., Liu J.** Problematic macrofossils from Ediacaran successions in the North China and Chaidam blocks: Implications for their evolutionary roots and biostratigraphic significance // *J. Paleont.*, 2007, v. 81, p. 1396—1411.
- Sokolov B.S., Fedonkin M.A.** The Vendian as the Terminal System of the Precambrian // *Episodes*, 1984, v. 7, № 1, p. 12—19.
- Tarhan L.G., Hughes N.C., Myrow P.M., Bhargava O.N., Ahluwalia A.D., Kudryavtsev A.B.** Precambrian-Cambrian boundary interval occurrence and form of the enigmatic tubular body fossil *Shaanxilithes ningqiangensis* from the Lesser Himalaya of India // *Palaentology*, 2014, v. 57, p. 283—298.
- Zhuravlev A.Yu., Gamez Vintaned J.A., Ivantsov A.Yu.** First finds of problematic Ediacaran fossil *Gaojiashania* in Siberia and its origin // *Geol. Mag.*, 2009, v. 146, p. 775—780.
- Zhuravlev A.Yu., Liñán Gámez Vintaned J.A., Debrenne F., Fedorov A.B.** New finds of skeletal fossils in the terminal Neoproterozoic of the Siberian Platform and Spain // *Acta Palaentol. Pol.*, 2012, v. 57, № 1, p. 205—224.