

## ЛИМИТОТИПЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ САКМАРСКОГО И АРТИНСКОГО ЯРУСОВ НА УРАЛЕ

© 2015 г. В. В. Черных, Б. И. Чувашов

\*Институт геологии и геохимии УрО РАН  
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7  
E-mail: chernykh@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 23.07.2014 г.

Разрез Усолка и дублирующий его разрез Дальний Тюлькас (Башкортостан) предлагаются в качестве стратотипов соответственно нижней границы сакмарского яруса и нижней границы артинского яруса Международной стратиграфической шкалы. Приведено описание разрезов с указанием уровней находок конодонтов, фузулинид и аммоноидей, а также результатов изучения U-Pb геохронологии, изотопии стронция, углерода и кислорода.

Ключевые слова: *стратотип границы, сакмарский ярус, артинский ярус, конодонты, фузулиниды, аммоноидеи, Урал.*

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Мы полагаем, что при выборе эталонного разреза границы яруса (GSSP) приоритетными являются разрезы в стратотипической местности, поскольку именно в этом регионе в течение длительного времени проводились детальные стратиграфические работы с использованием самых разных групп ископаемых по установлению данного яруса и смежных с ним ярусных подразделений. Как правило, и наиболее детальные зональные шкалы, необходимые для закрепления искомой границы в определенной точке разреза, сконструированы по данным изучения стратотипических разрезов.

Вопрос о нижней границе ярусов нижнего отдела пермской системы нельзя рассматривать обособленно от результатов многолетнего изучения уральской стратиграфии пермской системы. Именно на Урале были установлены все ярусы нижнего отдела пермской системы с использованием результатов углубленного изучения кораллов, брахиопод, фузулинид, аммоноидей и конодонтов. При установлении и определении нижней границы, например, сакмарского яруса мы не берем первый попавшийся разрез, а приходим в ту местность, куда нас ведут исторически сложившие представления о местонахождении разрезов асельского и сакмарского ярусов. На них мы выделяем пограничные отложения между этими ярусами и ищем такой рубеж, который можно маркировать глобальными биохронологическими метками. За всеми этими операциями стоит предваряющая их многолетняя, занимающая многие десятилетия, палеонтолого-стратиграфическая работа по изучению стратиграфии нижней Перми. К настоящему времени по уральским материалам постро-

ена детальная зональная конодонтовая шкала нижней Перми, скоррелированная с фузулинидовой и радиоляриевыми шкалами (табл. 1).

В тех случаях, когда возникают идеи перенести стратотип из стратотипической местности в отдаленный регион, они неизбежно основываются на ранее выявленной в стратотипической местности эволюционной последовательности ортофауны. Например, предложение Хендерсона с соавторами (Henderson et al., 2012) выбрать лимитотип нижней границы кунгурского яруса в Неваде (США) опирается на уже установленную на Урале линию космополитных конодонтов *N. requiopensis*–*N. pnevi*–*N. clinei* и ранее принятое решение проводить нижнюю границу кунгурского яруса по уровню появления вида *N. pnevi* в базальных слоях саранинского горизонта (Chernykh et al., 2012).

Использование стратотипической местности для правильного выбора типового разреза является важным условием стабилизации положения и глобальной корреляции ярусных границ в соответствии с концепцией GSSP.

### 1. РАЗРЕЗ УСОЛЬСКИЙ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ СТРАТОТИП НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ САКМАРСКОГО ЯРУСА

Для изучения нижней границы сакмарского яруса нижнего отдела Пермской системы мы использовали два разреза на западном склоне Южного Урала: разрез на р. Усолка и исторический стратотип сакмарского яруса – разрез Кондуровский на р. Сакмара (рис. 1). Касаясь сравнительной характеристики указанных разрезов, можно отметить, что Усольский разрез сформировался в условиях глубокого

**Таблица 1.** Конодонтовые зоны нижней перми и их соотношение с зонами по фузулинидам и радиоляриям по (Chernykh, Chyvashov, 2004; Amon et al., 2004) с дополнениями

**Table 1.** Lower Permian conodont zones and their relation with fusulinid and radiolarian ones after (Chernykh, Chyvashov, 2004; Amon et al., 2004) with additions

Ярус	Горизонт	Фораминиферы	Конодонты		Радиолярии		
Кунгурский	Иренский	<i>Parafusulina</i> aff. <i>solidissima</i> – <i>Nodosaria sexangulata</i>	<i>Neostreptognathodus imperfectus</i>		<i>Ruzhencevispongius uralicus</i>		
	Филипповский	<i>Nodosaria pugioidea</i>	<i>Neostreptognathodus clinei</i>				
	Саранинский	<i>Hemigordius saranaensis</i>	<i>Neostreptognathodus pnevi</i>				
Артинский	Саргинский	<i>Parafusulina solidissima</i>	<i>Neostreptognathodus pequopensis</i>		<i>Polyentactinia lautitia</i>		
	Иргинский	<i>Pseudofusulina juresanensis</i> – <i>Eoparafusulina lutugini</i>	<i>Sweetognathus clarki</i>		<i>Tetracircinata reconda</i>		
	Бурцевский	<i>Pseudofusulina pedissequa</i> – <i>Pseudofusulina concavatas</i>	<i>Sweetognathus whitei</i>		<i>Entactinosphaera crassicalthrata</i> – <i>Quinqueremis arundinea</i>		
Сакмарский	Стерлитамакский	<i>Pseudofusulina urdalensis</i>	<i>Sweetognathus anceps</i>	<i>Mesogondolella bisselli</i>	<i>Rectotormentum fornicatum</i>		
				<i>M. visibilis</i>	<i>Camptoalatus monopterygius</i>		
				<i>M. lata</i>	<i>Entactinia pycnoclada</i> – <i>Tormentum circumfusum</i>		
	Тастубский	<i>Pseudofusulina verneuili</i> – <i>Eoparafusulina tschernyschewi</i>	<i>Sweetognathus binodosus</i>	<i>Mesogondolella uralensis</i>	<i>Helioentactinia ikka</i> – <i>Haplodiacanthus perforatus</i>		
<i>Pseudofusulina moelleri</i>					<i>Sweetognathus merrilli</i>	<i>Tetragregnon vimineum</i> – <i>Copiellintra diploacantha</i>	
Ассельский	Шиханский	<i>Sphaeroschwagerina sphaerica</i> – <i>Globifusulina firma</i>	<i>S. postfusus</i> – <i>S. barskovi</i>	<i>Mesogondolella pseudostrata</i>	<i>Haplodiacanthus anfractus</i>		
				<i>Mesogondolella striata</i>			
	Холодноложский	<i>Pseudoschwagerina uddeni</i>	<i>S. fusus</i>	<i>Mesogondolella simulata</i>			
				<i>Sphaeroschwagerina moelleri</i> – <i>Globifusulina fecunda</i>		<i>S. constrictus</i>	<i>Mesogondolella belladontae</i>
							<i>Globifusulina nux</i>
<i>Sphaeroschwagerina fusiformis</i>	<i>Streptognathodus glenisteri</i> – <i>S. isolatus</i>						

шельфа. Разрез Кондуровский – несомненно, более глубоководный, представленный мощной серией флишевых отложений, в которых местные палеонтологические остатки часто сопровождаются перетолженными формами из более глубоких горизонтов. Несмотря на явную привлекательность Кондуровского разреза из-за большого разнообразия палеонтологических остатков (конодонты, аммоноидеи, фузулиниды, радиолярии), мы тем не менее предпочли использовать его в качестве вспомогательного разреза – слишком значительным оказалось среди встреченных ископаемых количество перетолженных форм.

Разрез карбонатно-глинистых отложений по правому берегу р. Усолка, расположенный вблизи курорта Красноусольский, хорошо известен стратиграфам со времени проведения Международного конгресса “Пермская система Земного шара” в 1991 г. Он послужил своего рода полигоном для разработки границы между каменноугольной и пермской системами по результатам изучения конодонтов и вполне может использоваться как вспомогательный разрез для определения также и этой границы.

Разрез Усолка предлагается нами в качестве стратотипа нижней границы сакмарского яруса

международной хронологической шкалы, а разрез Кондуровский как вспомогательный разрез (auxiliary stratotype point).

Детальное описание разрезов Усолка и Кондуровский было выполнено ранее (Чувашов и др., 1991а, б). Здесь мы приводим описание разреза Усолка и литолого-стратиграфические колонки пограничных отложений ассельского и сакмарского ярусов для обоих разрезов, на которых указаны уровни первого появления наиболее важных видов конодонтов (рис. 2, 3).

### 1.1. Общая характеристика разреза Усолка

Разрез по р. Усолка и дублирующий его разрез по руч. Дальний Тюлькас вскрывают карбонатно-глинистую толщу верхнекаменноугольных, ассельских, сакмарских и артинских отложений, образующих в гжельско-ассельском интервале конденсированную и непрерывную серию отложений, переполненных конодонтами. Практически все породы, которые оказалось возможным растворить в уксусной или муравьиной кислотах, в этой части разреза содержат более 200 экземпляров конодонтов на 1 кг породы. В сакмарской части разреза количество и разнообразие конодонтов значительно снижается (25–50 экземпляров на 1 кг).

Непрерывность разреза доказывается присутствием всех вышеназванных ярусных подразделений, установленных по фузулинидам и аммоноидеям. Об этом также свидетельствует завершенность отдельных седиментационных циклов, характер их смены по разрезу и отсутствие значительных тектонических нарушений. Кроме этого, анализ самих конодонтовых комплексов и морфологических трендов развития представителей доминирующих родов позволяет говорить об отсутствии процессов постседиментационного перемывания и перетолжения осадков, вскрытых данными разрезами. Наиболее значительным недостатком обсуждаемых разрезов является относительно слабая охарактеризованность ассельской части фузулинидами и всего интервала – аммоноидеями.

Суммарная мощность толщи несколько более 50 м. Конденсированный характер осадконакопления и связанные с ним сокращенные мощности стратонив имеют и положительные, и отрицательные стороны для построения конодонтовой последовательности. Несомненным достоинством следует считать возможность получения сведений о размещении конодонтов в значительном стратиграфическом диапазоне в одном разрезе. Столь же ценно то, что медленно накапливающиеся осадки обогащаются ископаемыми организмами, с чем, вероятно, и связано обилие конодонтов в описываемом разрезе. Это обеспечивает получение весьма полной информации о стратиграфической последовательности и составе комплексов конодонтов. Максимально со-

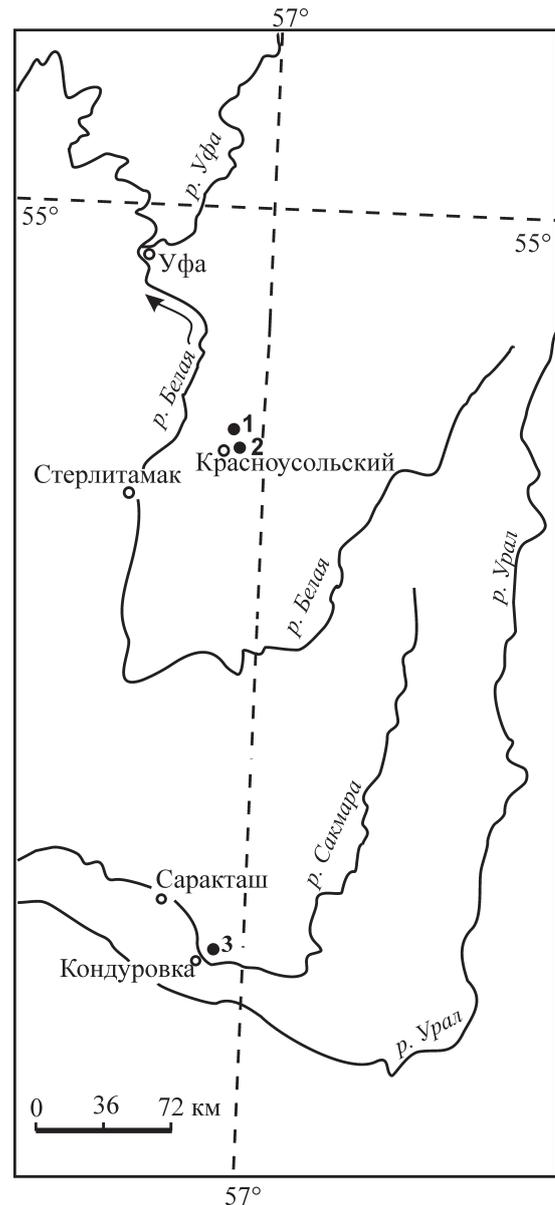
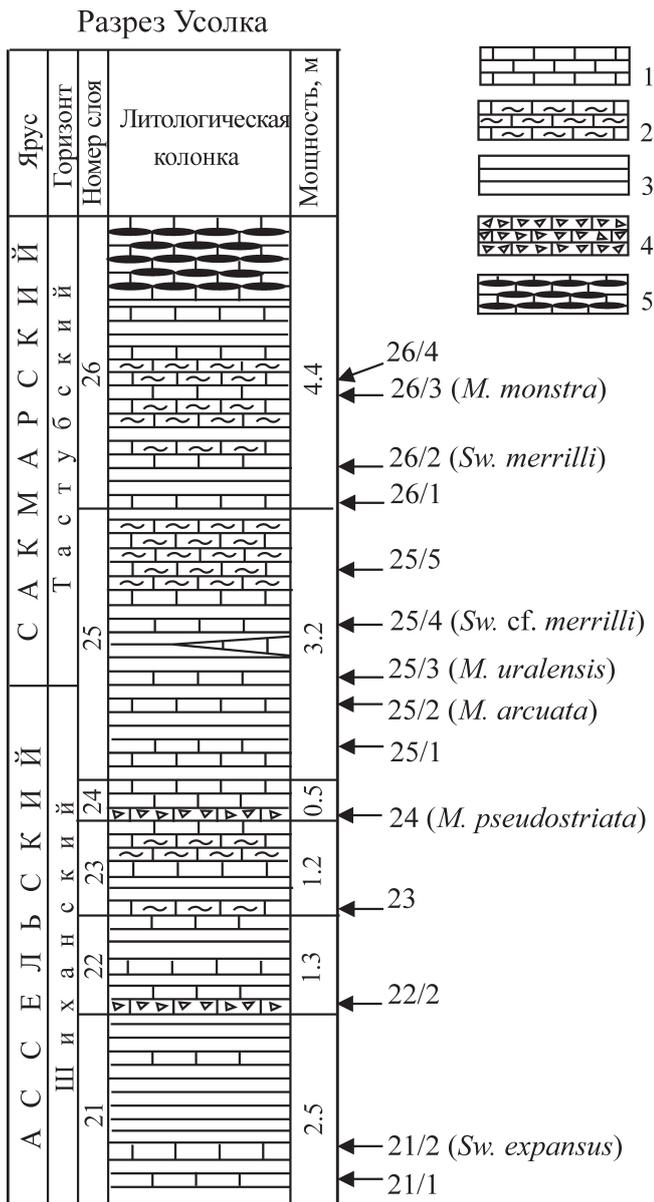


Рис. 1. Географическое положение разрезов Усолка (1), Дальний Тюлькас (2) и Кондуровка (3).

Fig. 1. Location of the Usolka (1), Dal'ny Tulkas (2) and Kondurovka (3) sections.

кращая шаг отбора проб и увеличивая по мере необходимости их объем, можно получать подробные серии следующих друг за другом форм, необходимые для реконструкции конодонтовых линий. Однако эти достоинства изучения конодонтов в конденсированных осадках проявляются лишь в той мере, в какой их литология позволяет проводить непрерывное опробование. Но, как только в разрезе появляются технологически бесперспективные породы (глины, доломиты, окремненные известняки и т.п.), из которых невозможно или затруднено извлечение конодонтов, возникают реальные предпо-



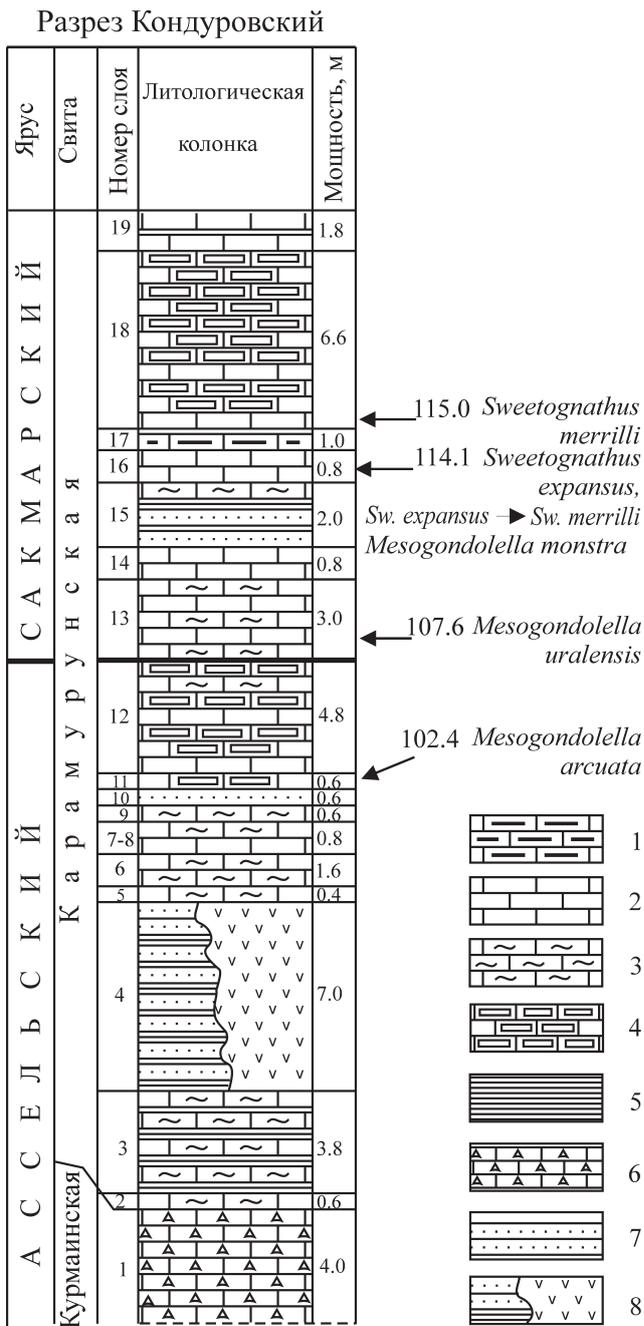
**Рис. 2.** Распространение конодонтов в ассельско-сакмарской части разреза Усолка.

1 – известняки, 2 – мергели, 3 – аргиллиты, 4 – брекчиевые слоистые известняки, 5 – желваки и прослои кремней. Стрелками указаны места отбора и номера информативных проб на конодонты.

**Fig. 2.** Stratigraphic column with distribution of samples taken for conodonts in Usolka section.

1 – limestone, 2 – mudstone, 3 – shale, 4 – laminated limestone breccia, 5 – nodules and interbeds of chert. Pointers indicate the places of selection and number of informative samples taken for conodonts.

сылки для ошибок. Так, пропуск даже полуметровой пачки в таком разрезе может повлечь за собой исчезновение существенной части конодонтовой последовательности, вплоть до потери целой зоны.



**Рис. 3.** Распространение конодонтов в ассельско-сакмарской части разреза Кондуровский.

1 – кремни, 2 – известняковые песчаники (калькарени-ты), 3 – глинистые известняки, 4 – афанитовые известняки, 5 – аргиллиты, 6 – известняковая конглобрекция, 7 – алевролиты, 8 – закрытые участки разреза; стрелками указаны места находок наиболее важных видов конодонтов и расстояние от начала разреза в метрах.

**Fig. 3.** Stratigraphic column with distribution of samples taken for conodonts in Kondurovka section.

1 – chert, 2 – fine grained limestone, 3 – muddy limestone, 4 – carbonate mudstone, 5 – shale, 6 – calcareous conglomerate-breccia, 7 – siltstone, 8 – the closed parts of section. Pointers indicate the places of findings of the most important species of conodonts and distance from the beginning of section in the meters.

В этой связи мы старались продублировать полученные данные о конодонтовой последовательности в разрезе Усолка опробованием других фациальных типов отложений, которые отлагались с более высокими скоростями. Изучение таких “разбавленных” разрезов позволяет как бы раздвинуть узкие временные рамки, в которых заключена картина исторического морфогенеза конодонтов в разрезах усольского типа, и детальнее проследить процесс постепенного изменения конодонтов. С этой целью был изучен разрез верхнеассельских и сакмарских флишевых отложений на правом берегу р. Сакмары, у пос. Кондуровский (см. рис. 3).

Изучение разреза Усолка позволило построить зональную шкалу по конодонтам в стратиграфическом диапазоне от верхнего карбона до иргинского горизонта артинского яруса. Для проверки действительности этой шкалы детально изучено распределение конодонтов в уже упомянутом разрезе у пос. Кондуровский, где обнажается фациально резко отличная от усольской флишевая толща верхнеассельских, сакмарских и артинских отложений.

Интересующие нас пограничные отложения ассельского и сакмарского ярусов представлены в разрезе Усолка невысоким скальным обнажением в придорожной выемке, вполне доступном для изучения и отбора проб в любой его точке. Ниже приведено описание переходных ассельско-сакмарских отложений разреза Усолка с указанием уровней находок и определениями найденных органических остатков (см. рис. 2).

## 1.2. Описание разреза Усолка

### Верхняя часть ассельского яруса

#### *Шиханский горизонт*

#### Зона *Mesogondolella striata*

Слой 21. Чередование карбонатных и глинистых пород. Известняки образуют слои мощностью от 4 до 25 см, имеют зеленовато-серую или темно-серую окраску, тонкозернистую до афанитовой структуры. Малоомощные (4–5 см) прослои глинистого известняка часто обломочной структуры разделены темно-серыми листоватыми аргиллитами и мергелями мощностью от 2–5 до 20 см. В некоторых аргиллитах есть овальные конкреции зеленовато-серого мергеля размером от 1 до 7 см, прослои темно-серого кремня. Органические остатки: брахиоподы, пелециподы, чешуйки рыб, конодонты. Мощность 2.5 м

Проба 21/1(45.3 м)<sup>1</sup> отобрана в 1 м от подошвы слоя, в ней встречены следующие конодонты: *Streptognathodus anaequalis* Chern., *S. aff. anaequalis* Chern., *S. lanceatus* Chern., *Sweetognathus expansus*

(Perlmutter), *Mesogondolella dentiseparata* (Reshetkova et Chern.).

Проба 21/2 (45.7 м): *Streptognathodus barskovi* Kozur, *S. postfusius* Chern. et Reshetkova, *Mesogondolella dentiseparata* (Reshetkova et Chern.), *M. simulata* (Chern.), *M. striata* (Chern.).

Слой 22. В основании слоя – брекчия (5–7 см), сложенная угловатыми обломками зеленого мергеля, известняка размером менее 1 см, а также различными органическими остатками: члениками криноидей, брахиоподами, мшанками, “мелкими” фораминиферами. Брекция постепенно переходит в плотный органогенно-детритовый известняк, сложенный обломками раковин брахиопод, детритом мшанок и криноидей (20 см). Верхняя часть слоя сложена коричневатым светло-серым афанитовым известняком с плитчатой отдельностью. Мощность 1.3 м.

Проба 22/2 (47.3 м) отобрана из детритового известняка непосредственно над брекчией, в ней встречены следующие конодонты: *Streptognathodus barskovi* Kozur, *S. postconstrictus* Chern., *S. postfusius* Chern. et Reshetkova, *S. constrictus* Reshetkova et Chern., *Mesogondolella dentiseparata* (Reshetkova et Chern.), *M. striata* (Chern.), *Adetognathus paralautus* Orchard et Forster.

Слой 23. Чередование темно-серых, пятнами травяно-зеленых мергелей и светло-серых афанитовых известняков; в средней части слоя есть прослойки аргиллитов. Мощность 1.2 м.

Проба 23/1 (48.8 м) отобрана из средней части слоя из брекчированного мергельного прослоя мощностью 3 см. В пробе найдены конодонты *Mesogondolella dentiseparata* (Reshetkova et Chern.).

#### Зона *Mesogondolella pseudostriata*

Слой 24. В основании слоя залегает меняющаяся по мощности зеленовато-серая брекчия (0–20 см), сложенная угловатыми или слабо окатанными обломками светло-коричневато-серого известняка размером от 1 до 2 см. Эти обломки, а также присутствующие вместе с ними раковинки фузулиниды, брахиопод, членики криноидей сцементированы серо-зеленым мергелем. Местами брекчия настолько рыхлая, что легко разбирается руками. Вверх по разрезу брекчия быстро сменяется светло-серым мелкодетритовым толстоплитчатым известняком. Мощность 0.5 м.

В основании слоя определены верхнеассельские фузулиниды: *Rugosofusulina serratashikhanensis* Suleim., *R. intermedia* Suleim., *Pseudofusulina sulcata* Korzh., *P. decurta* Korzh., *P. idelbajevica* Korzh., *P. ishimbajevi* Korzh., *P. rauserae* Korzh., *P. bashkirica* Korzh., *P. sphaerica* (Bel.), *P. sphaerica timanica* Grozd., *P. exuberate* Sham., *P. exuberate luxuriosa* Sham., *P. firma* Sham., *P. differta* Sham., *P. parva* Bel.

Проба 24 (49.7 м) взята в нижней части слоя в первом мощном прослое известняка над брекчией.

<sup>1</sup> В скобках после номера пробы на конодонты указано расстояние точки ее отбора от основания разреза в метрах.

Здесь определены конодонты: *Mesogondolella* aff. *camilla* Chern., *M. simulata* (Chern.), *M. pseudostrata* (Chern.), *M. striata* (Chern.).

Слой 25. Большую часть слоя представляют переслаивающиеся коричневато-серые афанитовые известняки с характерным раковистым изломом мощностью 1–3 см и темно-серые листоватые или тонкоплитчатые аргиллиты, реже мергели. Тонкие прослои известняка часто окремнены. В слое имеются три относительно мощных прослоя (соответственно снизу вверх 15, 20 и 12 см) коричневатосветло-серого органогенно-детритового известняка, плотного частично окремненного с “мелкими” фораминиферами, фузулинидами, мшанками, криноидеями, водорослями *Tubiphytes* sp.

Тонкие прослои афанитовых известняков иногда содержат радиолярии, спикулы губок. В аргиллитах и мергелях встречаются редкие брахиоподы, мелкие прямые наутилоидеи, косточки рыб. Мощность 3.2 м.

Из фузулинид, встреченных в 2 м выше основания слоя, определены: *Pseudofusulinella usvae plicata* (Sham. et Scherb.), *Schubertella paramelonica* Suleim., *Rugosofusulina shakhtauensis* Suleim., *R. pulchrella firma* Suleim., *P. ishimbajevi* Korzh., *Sphaeroschwagerina* cf. *sphaerica* Scherb. Комплекс указывает на верхнеассельский возраст.

Пробы на конодонты отобраны на четырех уровнях. Первая 25/1 в 1.9 м от основания слоя. Уровни отбора остальных проб из слоя 25 можно установить, исходя из отметки, указанной в скобках после номера пробы.

Проба 25/1 (50.6 м) взята из темно-кремового органогенно-детритового известняка с видимыми фузулинидами. В пробе определены конодонты *Mesogondolella pseudostrata* (Chern.).

Проба 25/2 (51.4 м): *Streptognathodus* aff. *barskovi* Kozur, *S. constrictus* Reshetkova et Chern., *Mesogondolella arcuata* Chern., *M. pseudostrata* (Chern.).

### Сакмарский ярус

#### Тастубский горизонт

Зона *Mesogondolella uralensis* (= зона Sw. merrilli)

Проба 25/3 (51.6 м): *Mesogondolella arcuata* Chern., *M. pseudostrata* (Chern.), *M. uralensis* (Chern.).

Проба 25/4 (52.3 м): *Sweetognathus merrilli* Kozur, *Diplognathodus* sp.

Проба 25/5 (53.0 м): *Mesogondolella arcuata* Chern., *M. camilla* Chern., *M. pseudostrata* (Chern.), *M. uralensis* (Chern.), *Diplognathodus* sp.

Слой 26. Тонкое чередование известняков, глинистых мергелей, аргиллитов и мергелей. Известняки коричневато-серые и темно-серые, афанитовые мощностью 2–5 см, редко до 10 см. Известняковые прослои часто полностью окремнены. В нижней части слоя коричневато-серые и пепельно-серые тонкоплитчатые или листоватые прослои аргилли-

тов и мергелей достигают мощности 15–20 см, а выше их мощность уменьшается до 5–7 см.

В нижней части известняковых прослоев встречается маломощная (1–2 см) корочка детритового известняка, сложенная члениками криноидей, детритом мшанок, фораминиферами, тубифитесами. Растительные микрофоссилии в аргиллитах представлены в основном обильными акритархами удовлетворительной и плохой сохранности. Мощность 4.4 м.

Проба 26/1 (54.0 м) взята в 1 м выше подошвы слоя. В ней определены конодонты: *Streptognathodus postelongatus* Wardlaw, Boardman et Nestell, *Mesogondolella uralensis* (Chern.), *Mesogondolella* aff. *uralensis* (Chern.).

Проба 26/2 (54.3 м), в ней найдены конодонты: *Streptognathodus florensis* Wardlaw, Boardman et Nestell, *Sweetognathus merrilli* Kozur, *Mesogondolella camilla* Chern., *M. aff. uralensis* (Chern.).

Зона *Mesogondolella monstra* (=Sw. binodosus)

Проба 26/3 (55.4 м) с конодонтами: *Sweetognathus binodosus* Chern., *Mesogondolella obliquimarginata* (Chern.), *M. monstra* Chern.

Проба 26/4 (55.7 м), в ней определены конодонты: *Streptognathodus postelongatus* Wardlaw, Boardman et Nestell, *Mesogondolella obliquimarginata* Chern., *M. longifolia* (Chern.).

Слой 27. Коричневато-серый мергель с плитчатой отдельностью толщиной 3–5 см. В верхних 4 м слоя есть три прослоя органогенно-детритовых известняков мощностью до 15 см, состоящих из мелких фораминифер, мшанок, криноидей, тубифитесов, раковинного детрита. В них определены тастубские фузулиниды: *Rugosofusulina shakhtauensis ellipsoidalis* Suleim., *R. ex gr. shakhtauensis* Suleim., *Pseudofusulina ishimbajevi* Korzh., *P. baschkirica acuminata* Kir., *P. verneuili* (Moell.), *P. conspicua* Raus., *P. cf. fixa* Kir., *P. angusta* Kir. Мощность 10.0 м.

По всему слою распределены тонкие (5–10 см) прослои афанитовых известняков.

Проба 27 (57.4 м), в ней определены конодонты *Mesogondolella manifesta* Chern.

Таким образом, интервал между уровнями нижней границы сакмарского яруса, определяемой по конодонтам (51.6 м) и фузулинидам (57.4 м), составляет в разрезе Усолка около 6 м. Это может быть связано с отсутствием в слоях 25 и 26 детритовых известняков, в которых обычно находятся фузулиниды.

### 1.3. Конодонты

Конодонты в ассельско-сакмарских отложениях разреза Усолка, который мы предлагаем использовать в качестве стратотипа нижней границы сакмарского яруса, характеризуются высокой частотой встречаемости (от 75 экземпляров и более на 1 кг породы) и хорошей сохранностью. Почти все по-

лученные Ра элементы целые, прозрачные, без посторонних частиц с САИ 1.0–1.5 и вполне пригодны для определения отношения изотопов стронция (Schmitz et al., 2009).

Как в Усольском, так и в Кондуровском разрезах в этом интервале наиболее обильны конодонты, относящиеся к роду *Mesogondolella*. Систематический состав и стратиграфическое распределение мезогондолелл в обоих разрезах поразительно однообразны. Вблизи и несколько ниже традиционно принимаемой (по фузулинидам) границы сакмарского яруса появляется характерная форма *Mesogondolella uralensis* Chern., которая рассматривается нами как член эволюционной линии *M. pseudostrata*–*M. arcuata*–*M. uralensis*–*M. monstra*–*M. bisSELLi* (Черных, Чувашов, 2004; Черных, 2006).

Данная последовательность конодонтов установлена в обоих (заметим, разнофациальных) разрезах, что доказывает реальность эволюционной природы выявленной хроноклины, которая используется нами в качестве базиса для расчленения переходных отложений между верхним асселем и сакмарским ярусом. Положение нижней границы сакмарского яруса мы предлагаем совместить с эволюционным событием – существованием характерного вида конодонтов *Mesogondolella uralensis* внутри хроноклины *M. pseudostrata*–*M. monstra* (рис. 4).

Ассельско-сакмарские мезогондолеллы наиболее изучены на Урале, но пока мало известны вне уральского региона. В этой связи отметим реальную возможность, наряду с *M. uralensis*, использовать для определения нижней границы сакмарского яруса космополитный вид конодонтов *Sweetognathus merrilli* Kozur.

Линия свитогнатид на уральском материале изучена пока с несколько меньшей полнотой, чем линия мезогондолелл, поэтому мы и предлагаем зафиксировать в стратотипе нижнюю границу сакмарского яруса по мезогондолеллам. Так, в Усольском разрезе уровни появления инициального вида *Sweetognathus expansus* (Perlmutter) и следующего за ним *Sw. merrilli* Kozur разделяет более 6 м. Первые представители рода *Sweetognathus*, относящиеся к виду *Sw. expansus*, появляются в разрезе Усолка в слое 21 (верхний ассель). Они обладают слабо дифференцированной кариной с пустулизированной (мелкоямчатой) поверхностью. Дальнейшая эволюция этой группы свитогнатусов идет по пути дальнейшей дифференциации карины, приводящей к появлению вида *Sweetognathus merrilli*, характеризующегося малочисленными каринальными бугорками (рис. 5). Близкая эволюционная последовательность видов рода *Sweetognathus* установлена нами также в разрезе Кондуровский (рис. 6).

Интервалы существования видов *Sw. merrilli* и *M. uralensis* в Усольском разрезе практически совпадают. Один экземпляр *Sw. merrilli* не вполне удовлетворительной сохранности мы нашли в про-

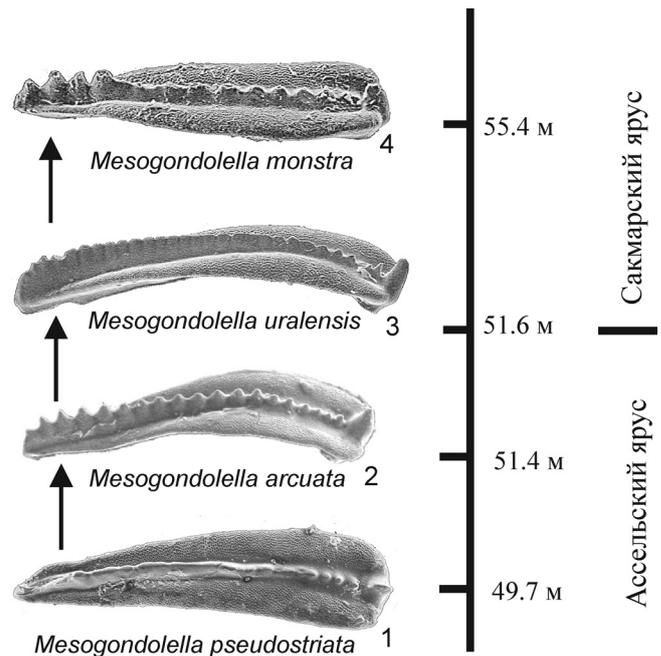


Рис. 4. Эволюционная линия ассельско-сакмарских представителей рода *Mesogondolella*.

Объяснения см. в тексте.

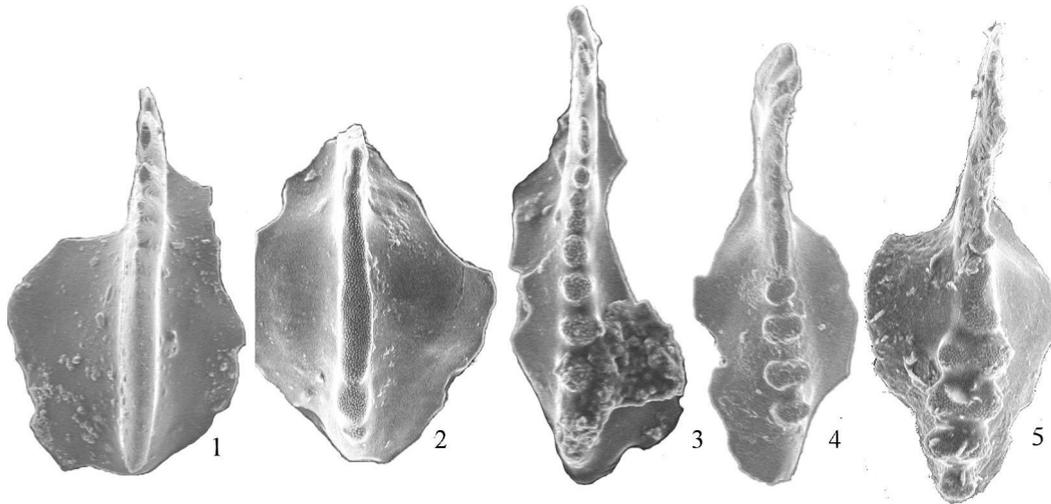
Fig. 4. The evolutionary lineage of the Asselian-Sakmarian species of the genus *Mesogondolella*.

Explanation in the text.

бе 25/4 (в 0.7 м выше уровня появления *M. uralensis*), а типичный *Sw. merrilli* обнаружен нами в нижней части слоя 26 (рис. 7). Точно такой же экземпляр этого вида из слоя 25/3 был найден и продемонстрирован нам Брюсом Вардлоу на заседании рабочей группы Пермской стратиграфической комиссии в январе 2003 г. в Бойсе (США, штат Айдахо). В этом же слое отмечено первое появление *Mesogondolella uralensis*, и этот факт позволяет считать уровни появления данного вида мезогондолеллы и *Sw. merrilli* идентичными. В разрезе Кондуровский *M. uralensis* появляется несколько ранее вида *Sw. merrilli*, но 5-метровый интервал между ними невелик во временном выражении, учитывая высокую скорость осадконакопления в этом разрезе.

Вид *Sw. merrilli* распространен географически значительно шире, чем *M. uralensis*, встречается на Урале, в Северной Америке, Китае и, с этой точки зрения, может быть, даже более предпочтителен в качестве индикатора нижней границы сакмарского яруса для ее глобальной корреляции. Но для окончательного решения этого вопроса в пользу *Sw. merrilli* необходимо более детально изучить распределение свитогнатид в разрезе Усолка.

Первые свитогнатусы, определенные как *Sw. merrilli* Kozur, найдены в восточном Канзасе (США) в верхней части известняка *Eiss* формации *Bader*

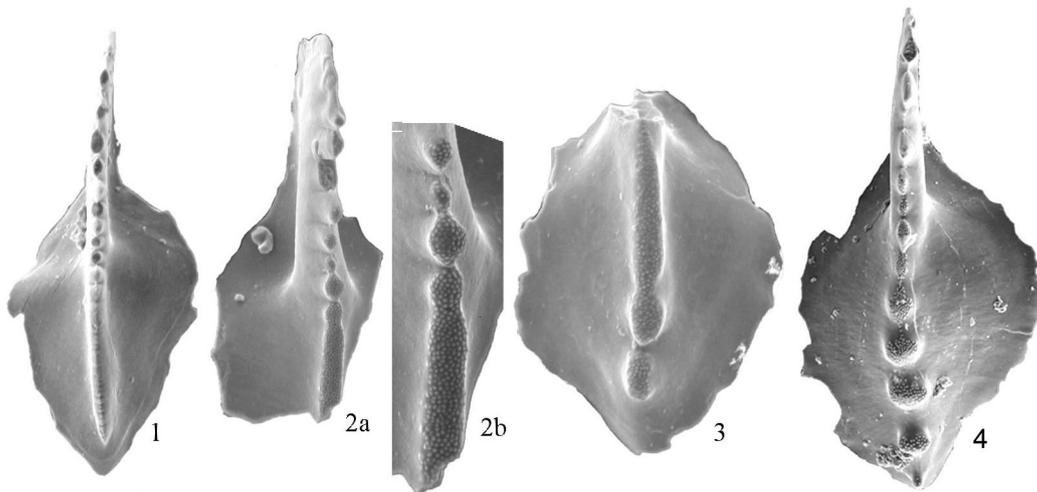


**Рис. 5.** Эволюционная линия *Sweetognathus expansus*–*Sw. binodosus* в разрезе Усолка.

1 – *Sw. expansus* (Perlmutter), слой 14; 2 – форма переходная от *Sw. expansus* к *Sw. merrilli*, слой 21/2; 3 – *Sweetognathus merrilli* Kozur, слой 26 (54.3 м от начала разреза); 4, 5 – *Sweetognathus binodosus* Chern., слой 26 (55.4 м от начала разреза).

**Fig. 5.** The evolutionary lineage *Sweetognathus expansus*–*Sw. binodosus* in the Usolka section.

1 – *Sw. expansus* (Perlmutter), bed 14; 2 – transitional from *Sw. expansus* to *Sw. merrilli*, bed 21/2; 3 – *Sweetognathus merrilli* Kozur, bed 26 (54.3 m from the beginning of section); 4, 5 – *Sweetognathus binodosus* Chern., bed 26 (55.4 m from the base of section).



**Рис. 6.** Эволюционная линия *Diplognathodus* aff. *stevensi*–*Sweetognathus merrilli* в разрезе Кондуровский.

1 – *D. aff. stevensi* Clark et Carr, середина слоя 16; 2, 3 – формы, переходные от *D. aff. stevensi* Clark et Carr. к *Sw. merrilli* Kozur (2b – увеличенный фрагмент фиг. 2a), верхняя часть слоя 16; 4 – *Sw. merrilli* Kozur, слой 18.

**Fig. 6.** The evolutionary lineage *Diplognathodus* aff. *stevensi*–*Sweetognathus merrilli* the Kondurovka section.

1 – *D. aff. stevensi* Clark and Carr, the middle of the bed 16; 2, 3 – forms transitional from *D. aff. stevensi* Clark et Carr. to *Sw. aff. merrilli* Kozur (2b – the increased fragment of fig. 2a), upper part of the bed 16; 4 – *Sw. merrilli* Kozur, bed 18.

*Limestone*, занимающих высокое стратиграфическое положение в составе *Council Grove* группы. Аналогичная находка *Sw. merrilli* Kozur сделана в западном Техасе, в Стекланных горах, в *Neal Ranch* формации – в 52 м выше основания разреза (Ross, 1963; Wardlaw, Davydov, 2000). Несмотря на то что нижняя граница сакмарского яруса в пределах се-

вероамериканского континента строго установлена по виду-индексу только в двух названных разрезах, она может быть прослежена более широко с использованием данных по другим группам ископаемых. В указанной работе Б. Вардлоу и В. Давыдова по результатам изучения фузулинид сделан вывод о том, что примерными аналогами указанного

положения границы сакмарского яруса могут быть базальная часть формации *Carbon Ridge* (Невада); в Калифорнии интервал, в котором может быть зафиксирована эта граница, находится в пределах зон *B* и *C* формации *McClaude Limestone*.

В работе Д. Бордмана с соавторами (Boardman et al., 2009), посвященной зональному расчленению верхнего карбона и нижней перми Мидконтинента по конодонтам, сакмарский интервал представлен зонами *barskovi*, *postconstrictus*, *trimulus*. Нижняя граница зоны *barskovi* совпадает с уровнем появления вида *Sweetognathus merrilli* Kozur. Верхняя граница зоны *trimulus* отмечена первым появлением вида *Sw. whitei* (Rhodes) – событием, по которому мы предлагаем определять нижнюю границу артинского яруса. Таким образом, несомненно, что последовательность формаций от *Bader Limestone* до *Matfield Shale*, отвечающая указанным выше трем зонам, может рассматриваться как возрастной аналог сакмарского яруса.

Разрез *Ziyun County* в провинции *Guizhou* (Kang Pei-quan et al., 1987) содержит ассельские отложения, включая и верхнюю часть (слои 17–21), где встречены *Mesogondolella striata* Chern. (согласно определению авторов – *M. bisselli*) и *Adetognathus paralautus* Orchard – виды, которые на Урале встречаются совместно в верхнем асселе. Первые формы, близкие *Sw. anceps* Chern., в этом разрезе найдены в слое 22. И хотя *Sw. merrilli* пока не найден, вероятно, интервал, включающий часть слоев 21 и 22, соответствует пограничным отложениям верхней части ассельского и сакмарского ярусов. Этому заключению не противоречат найденные в этих слоях фузулиниды.

Представительность конодонтов на всех уровнях, отмеченных на литолого-стратиграфических колонках в разрезах Усолка и Кондуровский, составляет от 50 до 100 экземпляров. Однако количество найденных экземпляров представителей рода *Sweetognathus* невелико сравнительно с другими конодонтами. Только по этой причине мы оставляем в качестве основного индикатора нижней границы сакмарского яруса вид *M. uralensis*. Вместе с тем еще раз повторим, что для целей отдаленной корреляции этой границы целесообразно использовать более широко распространенный вид *Sw. merrilli*.

#### 1.4. Фузулиниды

Фузулиниды в Усольском разрезе не образуют непрерывную послынную серию ископаемых остатков и найдены на нескольких уровнях, разобщенных большими пустыми интервалами, что заставляет применять для расчленения и корреляции комплекс ископаемых организмов, включающий фузулинид, конодонтов, миоспор. Учитывается также изменчивость литологического состава пород. На начальной стадии изучения разреза фиксировались

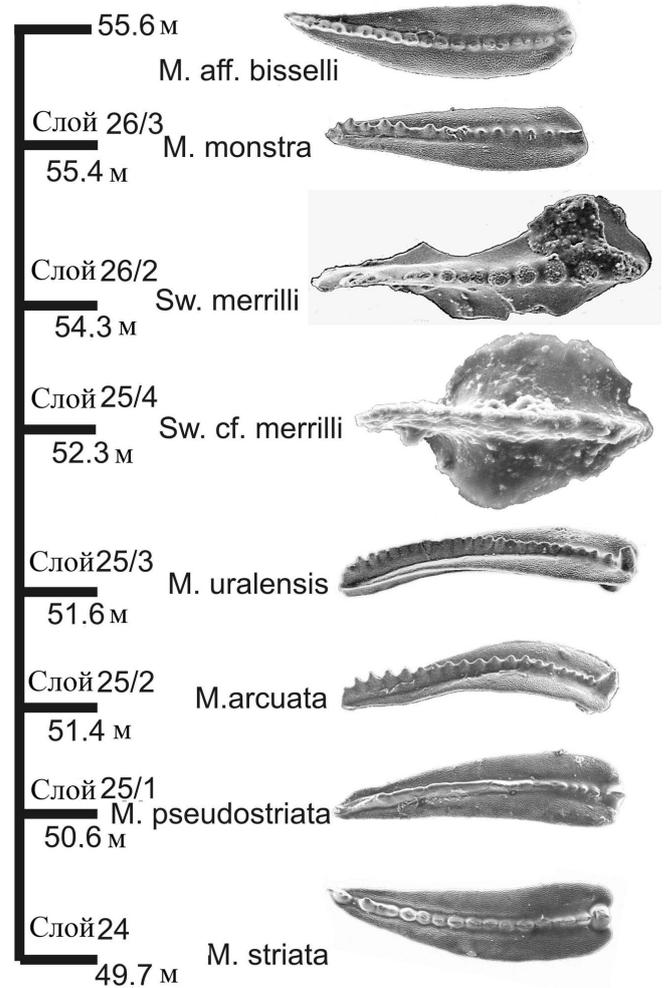


Рис. 7. Распределение представителей родов *Mesogondolella* и *Sweetognathus* в верхнеассельских и нижнесакмарских отложениях разреза Усолка.

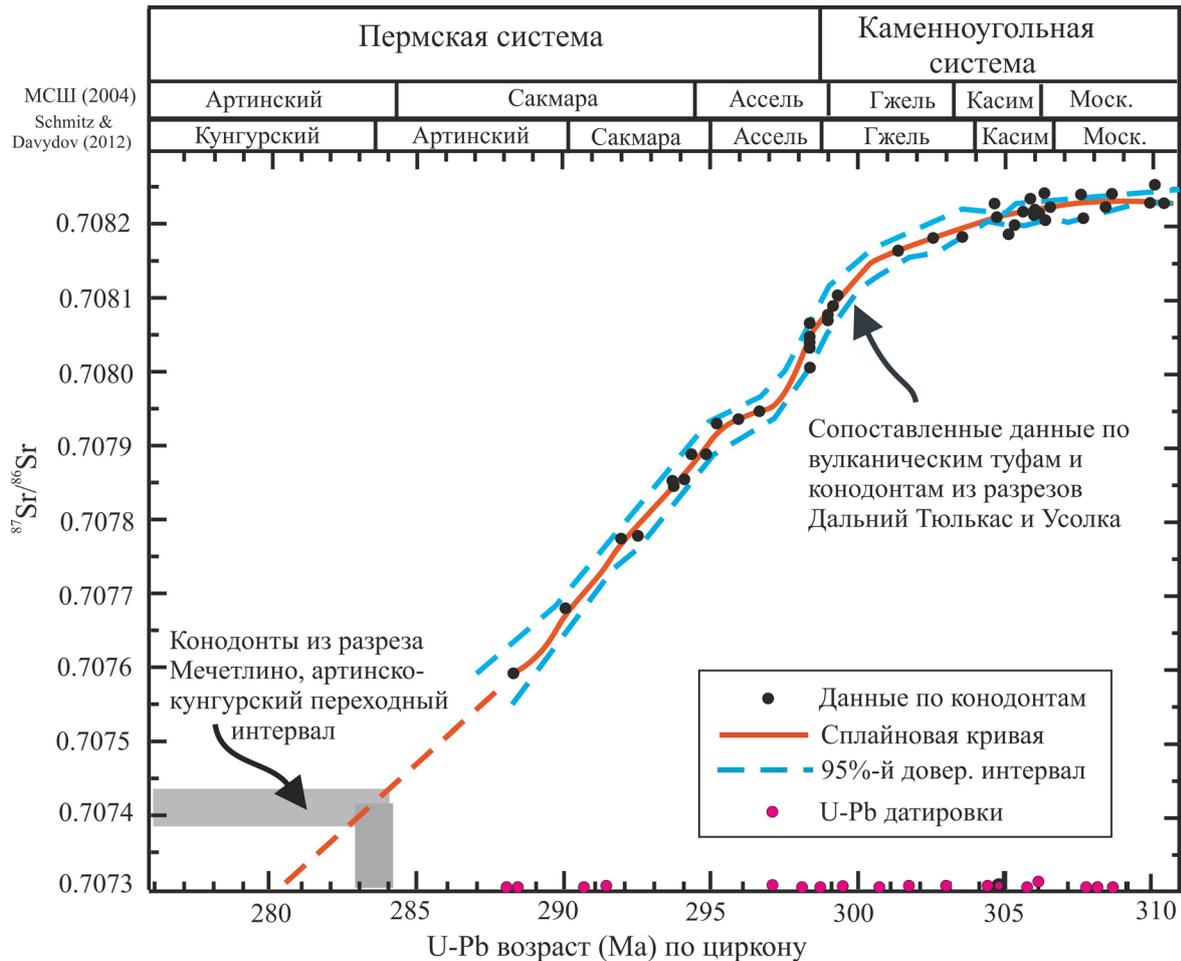
Для каждого изображенного экземпляра указано расстояние места его находки от начала разреза в метрах.

Fig. 7. The distribution of Upper Asselian and Lower Sakmarian species of genus *Mesogondolella* and genus *Sweetognathus* the Usolka section.

For each specimens is indicated the distance of the place of its finding from the beginning of section in the metres.

редкие уровни с радиоляриями, которые затем были учтены в биостратиграфическом анализе, но не повлияли на существующее положение границ.

Фузулиниды встречены в двух верхних слоях холдноложского горизонта в маломощных прослоях мелкодетритовых известняков. Они представлены в основном псевдофузулинами, образующими характерный комплекс в отложениях верхней части горизонта. Обращает на себя внимание почти полное отсутствие швагерин, столь обычных в мелководных карбонатных фациях этого времени. Только в верхнем прослое 25 слоя встречен один экземпляр



**Рис. 8.** График изменения величин отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , полученных из хронологической последовательности раннепермских конодонтов по (Schmitz, Davydov, 2012).

Объяснения см. в тексте.

**Fig. 8.** The relation  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  trend of the Usolka section after (Schmitz, Davydov, 2012).

Explanation in the text.

вида *Sphaeroschwagerina sphaerica* Scherb., определенный в открытой номенклатуре со знаком “cf.”.

Нижняя граница тастубского горизонта определена по изменению литологии пород. В верхних четырех метрах 10-метрового слоя 27 содержатся три прослоя с обедненным, но стратиграфически значимым комплексом ругозофузулин и псевдофузулин, среди которых присутствует характерный сакмарский вид-индекс *Pseudofusulina verneuili* (Moell.).

### 1.5. U-Pb геохронология

М. Шмитц и В. Давыдов (Schmitz, Davidov, 2012) с использованием высокоточной аппаратуры ID-TIMS (Termal Ionization Mass Spectrometry) выполнили радиометрические U-Pb определения возрастов цирконов из прослоев вулканических туфов в разрезах Южного Урала. Мы приводим здесь ре-

зультаты исследования цирконов из двух прослоев туфов в разрезе Усолка в интересующем нас ассельско-сакмарском интервале. Из холодноложского горизонта (слой 18; 41.25 м от начала разреза) было проанализировано девять зерен циркона и получен возраст  $296.69 \pm 0.12$  млн лет. Второй образец туфа был взят в 25 м выше первого (слой 28; 66.2 м выше основания разреза), уже в пределах сакмарского яруса. Из этого образца было проанализировано восемь кристаллов циркона и получен возраст  $291.10 \pm 0.12$  млн лет. Экстраполированный для слоя 25/3 (51.6 м от основания разреза) возраст составил 295.5 млн лет.

### 1.6. Изотопия стронция

М. Шмитц, В. Давыдов и В. Снайдер (Schmitz et al., 2009) в презентации на Международном ко-

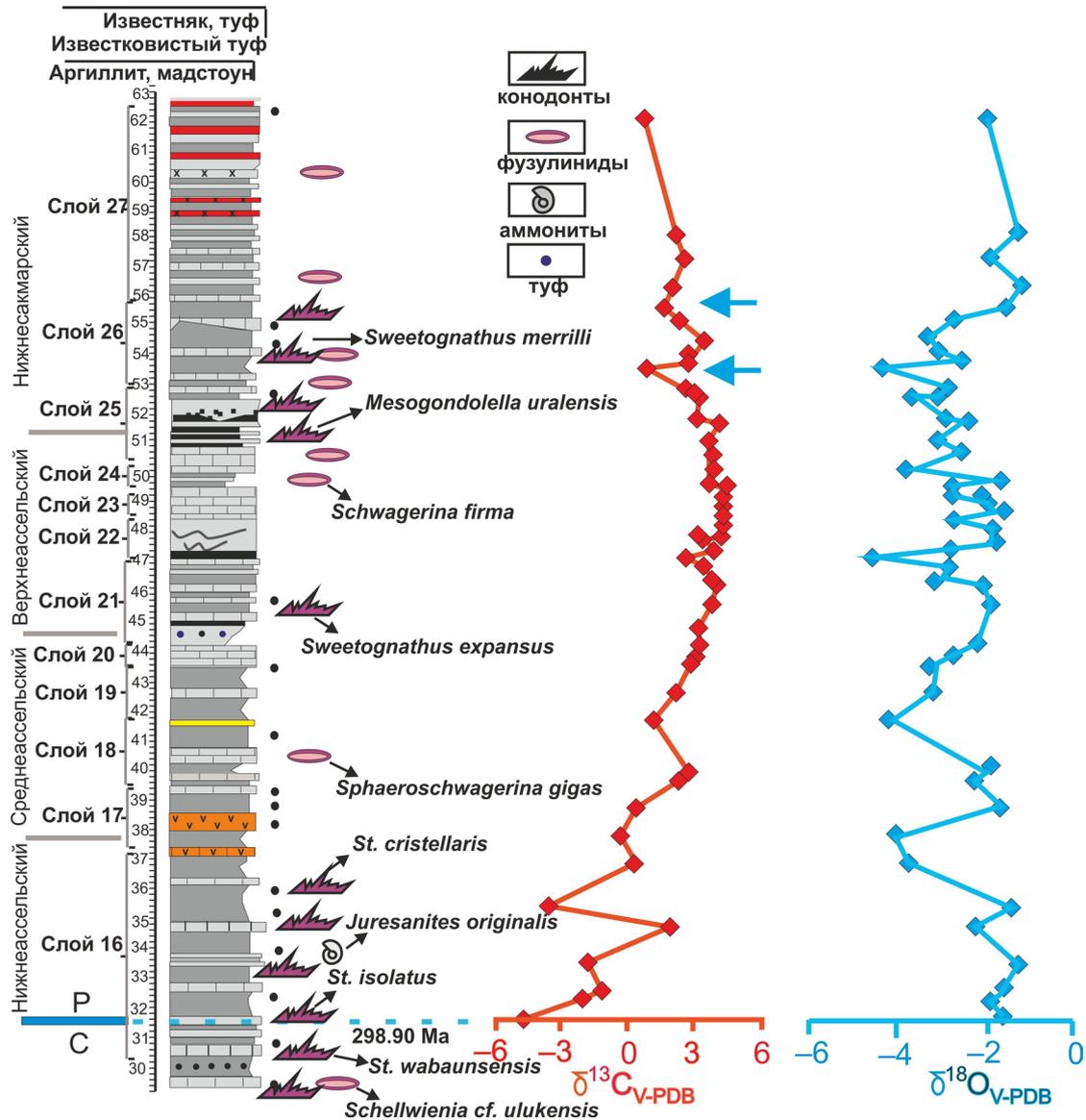


Рис. 9. Изменение величины  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в ассельско-нижнесакмарской части разреза Усолка по (Zeng et al., 2012).

Объяснения см. в тексте.

Fig. 9. Carbon and oxygen isotopic trends of the Usolka section (Zeng et al., 2012).

Explanation in the text.

нодонтовом симпозиуме в Калгари показали устойчивый тренд значений отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , полученных из хронологической последовательности раннепермских конодонтов (рис. 8). Для основания сакмарского яруса в разрезе Усолка отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  составило примерно 0.70787. Содержание изотопов Sr из отдельных конодонтовых элементов были сопоставлены с возрастными U-Pb датировками. По данным этих исследователей, величина стронциевого отношения для морской воды в начале сакмарского века равна 0.70787.

### 1.7. Изотопия углерода и кислорода

Группа китайских исследователей с участием В.И. Давыдова (Zeng et al., 2012) провела изучение стабильных изотопов углерода и кислорода на разрезах Южного Урала.

Анализ данных по изменению состава изотопов, полученных этими исследователями на разрезе Усолка (рис. 9), позволяет сделать следующие выводы.

1. Постепенно возрастающий тренд значений  $\delta^{13}\text{C}$  наблюдался в интервале от основания асселя к

Разрез Дальний Тюлькас

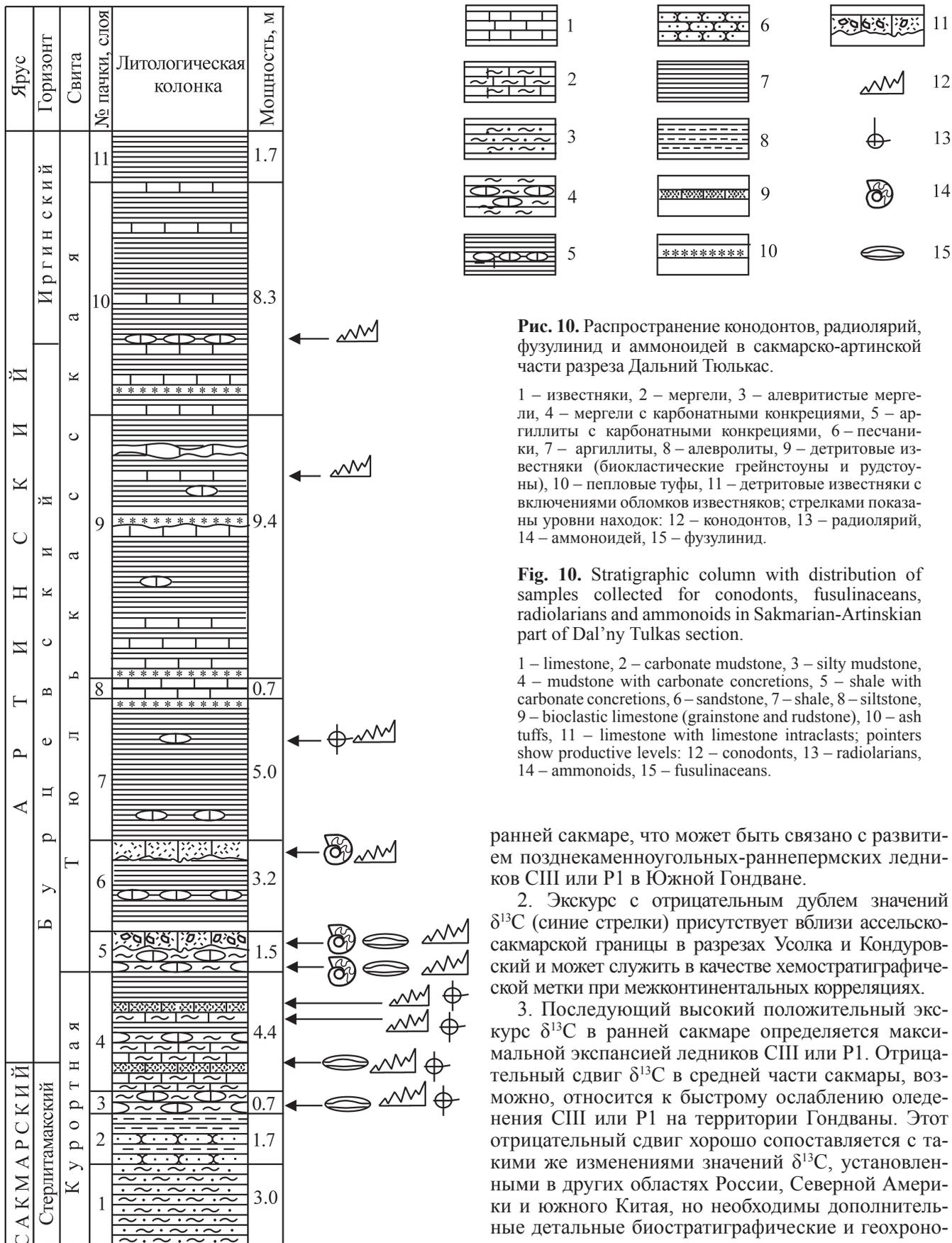


Рис. 10. Распространение конодонтов, радиолярий, фузулинид и аммоноидей в сакмарско-артинской части разреза Дальний Тюлькас.

1 – известняки, 2 – мергели, 3 – алевроитистые мергели, 4 – мергели с карбонатными конкрециями, 5 – аргиллиты с карбонатными конкрециями, 6 – песчаники, 7 – аргиллиты, 8 – алевролиты, 9 – детритовые известняки (биокластические грейнстоуны и рудстоуны), 10 – пепловые туфы, 11 – детритовые известняки с включениями обломков известняков; стрелками показаны уровни находок: 12 – конодонтов, 13 – радиолярий, 14 – аммоноидей, 15 – фузулинид.

Fig. 10. Stratigraphic column with distribution of samples collected for conodonts, fusulinaceans, radiolarians and ammonoids in Sakmarian-Artinskian part of Dal'ny Tulkas section.

1 – limestone, 2 – carbonate mudstone, 3 – silty mudstone, 4 – mudstone with carbonate concretions, 5 – shale with carbonate concretions, 6 – sandstone, 7 – shale, 8 – siltstone, 9 – bioclastic limestone (grainstone and rudstone), 10 – ash tuffs, 11 – limestone with limestone intraclasts; pointers show productive levels: 12 – conodonts, 13 – radiolarians, 14 – ammonoids, 15 – fusulinaceans.

ранней сакмаре, что может быть связано с развитием позднекаменноугольных-раннепермских ледников СШ или P1 в Южной Гондване.

2. Экскурс с отрицательным дублем значений  $\delta^{13}C$  (синие стрелки) присутствует вблизи ассельско-сакмарской границы в разрезах Усолка и Кондуровский и может служить в качестве хеостратиграфической метки при межконтинентальных корреляциях.

3. Последующий высокий положительный экскурс  $\delta^{13}C$  в ранней сакмаре определяется максимальной экспансией ледников СШ или P1. Отрицательный сдвиг  $\delta^{13}C$  в средней части сакмары, возможно, относится к быстрому ослаблению оледенения СШ или P1 на территории Гондваны. Этот отрицательный сдвиг хорошо сопоставляется с такими же изменениями значений  $\delta^{13}C$ , установленными в других областях России, Северной Америки и южного Китая, но необходимы дополнительные детальное биостратиграфические и геохроно-

логические исследования, чтобы подтвердить глобальность этого сигнала.

4. Поздняя сакмара характеризуется сильными колебаниями  $\delta^{13}\text{C}$ , которые, вероятно, указывают на переходный комплекс климатических условий, маркированный более мелкими перемежающимися оледенением и межледниковьем в течение оледенения P2, которое накладывается на общий тренд потепления.

### Резюме

Мы полагаем, что в предлагаемом разрезе Усолка нижняя граница сакмарского яруса довольно точно установлена и может быть глобально прослежена. Возможность опознать нижнюю границу сакмарского яруса, устанавливаемую по уровню появления *M. uralensis*, с привлечением дополнительного маркера *Sw. merrilli* еще более усиливает корреляционный потенциал этой границы в разрезе Усолка.

## 2. РАЗРЕЗ ДАЛЬНИЙ ТЮЛЬКАС – ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ СТРАТОТИП НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ АРТИНСКОГО ЯРУСА

### 2.1. Общая характеристика разреза

Пограничные отложения сакмарского и артинского ярусов наиболее полно представлены в разрезе по руч. Дальний Тюлькас, расположенном на южном окончании Усольской брахиантиклинали вблизи восточной окраины поселка Красноусольский (см. рис. 1). В разрезе Дальний Тюлькас пограничный интервал представлен отложениями курортной свиты преимущественно стерлитамакского горизонта сакмарского яруса и тюлькаской свитой артинского яруса. Курортная свита включает пачки темноцветных мергелей, аргиллитов, песчаников, пелитоморфных, иногда детритовых известняков с фузулинидами, радиоляриями, редкими аммоноидеями, двустворками.

Хуже обнажены отложения стерлитамакского горизонта в интервале, переходном к артинскому ярусу. В 2003 г. мы произвели бульдозерную расчистку этой части Тюлькаского разреза, которая вскрыла песчано-глинистую толщу с редкими прослоями детритовых известняков и линзами карбонатно-глинистых конкреций, и отобрали фузулинид, аммоноидей и конодонтовые пробы. Практически все пробы на конодонты во вскрытом интервале оказались информативными. В артинской части разреза установлено до четырех прослоев пепловых туфов.

Нижняя граница артинского яруса определяется уровнем появления в середине слоя 4 космополитного вида конодонта *Sw. whitei* в филогенетической линии свитогнатодид *Sweetognathus merrilli* → *Sw. anceps* → *Sw. whitei* → *Sw. clarki*. Первый артинский

комплекс фузулинид отмечен на 2.5 м выше по разрезу, в основании слоя 5. Здесь же встречены комплексы артинских аммоноидей и конодонтов.

На рис. 10 приведена схематическая литологическая колонка разреза Дальний Тюлькас с указанием уровней находок палеонтологических остатков и его подробное описание с определениями найденных форм.

### 2.2. Описание разреза Дальний Тюлькас

#### Сакмарский ярус

*Стерлитамакский горизонт*

*Курортная свита*

Слой 1. Однообразные пепельно-серые на свежем сколе, коричневатые-серые на выветрелой поверхности слабо алевритистые мергели, образующие слои от 2 до 5 см. Органические остатки представлены редкими раковинами головоногих моллюсков, чешуйками рыб, длинными нитями неизвестковых водорослей. В середине слоя в канаве была обнаружена в коренном залегании (?) конкреция глинистого известняка с тончайшей корочкой из раковин фузулинид. Сделать ориентированные шлифы из них не удалось. Мощность 3 м.

Слой 2. Сильно известковистые и глинистые алевролиты и тонкозернистые песчаники с мощностью слоев 15–20 см. Органические остатки представлены длинными тонкими слоевищами известковистых водорослей и тонким детритом наземных растений. Мощность 1.7 м.

Слой 3. Известняки коричневатые-серые с мощностью слоев в 10–15 см залегают в основании и кровле слоя. Среднюю часть слоя составляют такие же по окраске плитчатые мергели с массовыми раковинами кальцитизированных радиолярий. В известняках верхней части слоя есть конкрециевидные карбонатные стяжения с конодонтами и редкими раковинами фузулинид. Ориентированных шлифов из фузулинид сделать не удалось. Среди конодонтов определен *Sweetognathus obliquidentatus* (Chern.). Мощность 0.7 м.

Слой 4а. Однообразная пачка коричневатых темно-серых плитчатых мергелей, в некоторых прослоях алевритистых. Текстура породы – плитчатая с толщиной плиток 1–5 см, в единичных случаях – до 10 см. В нижней части слоя залегают мало-мощный (5–7 см) прослой биокластического (фузулиниды, мшанки, криноидеи) рудстоуна, из которого определены фузулиниды: *Pseudofusulina callosa* Raus., *P. callosa proconcautas* Raus., *P. jaroslavlensis fraudulenta* Kireeva, *P. cf. parajaroslavlensis* Kireeva, *P. blochini* Korzh. Приведенный комплекс фузулинид указывает на верхнюю часть сакмарского яруса. В этом же прослое встречены стерлитамакские конодонты: *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *Sweetognathus anceps* Chern., *Sw. obliquidentatus*

(Chern.), переходные формы от *Sw. anceps* Chern. к *Sw. whitei* (Rhodes) с фрагментарно развитым средним ребром. Мощность 1.8 м.

### Артинский ярус Бурцевский горизонт

Слой 4б. Через 0.6 м в карбонатных конкрециях, залегающих в мергеле, встречены конодонты *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *Sweetognathus anceps* Chern., переходные формы от *Sw. anceps* Chern. к *Sw. whitei* (Rhodes), *Sw. whitei* (Rhodes). Последнюю из названных форм мы считаем артинской. В 1.2 м выше по разрезу в прослое мелких карбонатных конкреций найден также артинский комплекс конодонтов *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *Sw. obliquidentatus* (Chern.), *Sw. whitei* (Rhodes). В верхней части пачки залегает слой (0.42 м) крепкого, окремненного биокластического (фузулиниды, мшанки, криноидеи) грейстоуна и рудстоуна с градационной слоистостью. Из этого слоя определены фузулиниды: *Pseudofusulina* aff. *longa* Kireeva, *P. fortissima* Kireeva, *P. anostiata* Kireeva, *P. plicatissima* Raus., *P. urdalensis abnormis* Raus. Приведенный комплекс характерен для стерлитамакского горизонта сакмарского яруса. Здесь же обнаружены конодонты *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *Sw. obliquidentatus* (Chern.). Мощность 2.6 м.

### Тюлькасская свита

Слой 5. Нижняя часть слоя (60 см) представлена коричневато-серым неслоистым алевритистым мергелем, в котором рассеяны многочисленные валунчики и конкреции серого глинистого известняка. В обломках и цементирующей массе встречены многочисленные фузулиниды: *Pseudofusulina callosa* Raus., *P. plicatissima* Raus., *P. plicatissima irregularis* Raus., *P. urdalensis* Raus., *P. fortissima* Kireeva, *P. concavutata* Viss., *P. juresanensis* Raus., *P. consobrina* Raus., *P. paraconcessa* Raus. Этот комплекс фузулинид указывает на основание артинского яруса. Верхняя часть слоя представлена слоистым глинистым известняком, линзами детритовым и брекчиевидным, в кровле – плитчатым. В нижней части слоя и в брекчиевых известняках собраны многочисленные аммоноидеи, из которых М.Ф. Богословская определила: *Popanoceras annae* Ruzh., *P. tschernowi* Max., *P. congregale* Ruzh., *Kargalites* sp., *Neopronorites skvorzovi* Tschern. Приведенный комплекс аммоноидей определенно указывает на основание артинского яруса. Здесь же встречены редкие *Artinskia* sp. Пробы на конодонты были отобраны из нижней и верхней частей слоя. В них определен комплекс артинских конодонтов: *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *Sweetognathus whitei* (Rhodes), *Sw. obliquidentatus* (Chern.), *Sw. gravis* Chern. Мощность 1.5 м.

Слой 6. Основную часть слоя составляет аргиллит темно-зеленовато-серый, листоватый, с единичными карбонатными конкрециями. Слой завершается прослоем (20 см) синевато-серого глинистого известняка с примесью тонкого детритового материала. В этом известняке, а также в конкрециях имеются немногочисленные раковины аммоноидей, таксономический состав которых тождествен таковому в слое 5. Присутствующий здесь комплекс конодонтов включает *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *M. bisselli* n. subsp. Мощность 3.2 м.

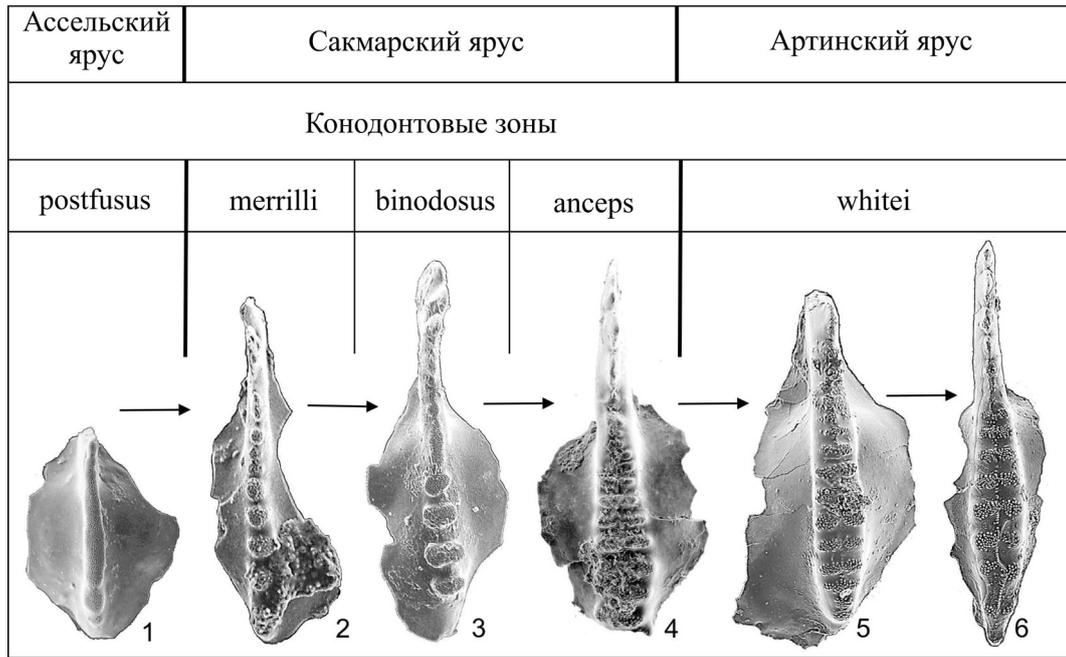
Слой 7. Аргиллит темно-коричневато-серый в свежем состоянии, зеленовато-серый на выветрелой поверхности, плитчатый, участками листоватый. В пределах слоя имеются шесть маломощных прослоев стально-серого пелитоморфного известняка. В 1.1 м ниже кровли слоя залегает крупная (0.5 × 20 см) конкреция пелитоморфного слабо глинистого известняка с массовыми радиоляриями и конодонтами *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken). Мощность 5 м.

Слой 8. Известняк на свежем сколе синевато-серый, на выветрелой поверхности – белесый, пелитоморфный, с подчиненными прослойками и линзочками детритового материала. В нижних 20 см содержатся прослои аргиллита толщиной до 4 см. Ниже и выше известняка залегают прослои желтовато-серого окремненного пеплового туфа толщиной до 10 см. Мощность 0.7–0.5 м, постепенно уменьшается в западном направлении.

Слой 9. Выше следует пачка аргиллитов, в которой периодически (через 1.0–2.5 м) повторяются прослои (5–10 см толщиной) стально-серого пелитоморфного известняка. Более частыми являются прослои желтовато-светло-серых окремненных пепловых туфов толщиной 1–5 см. Есть также несколько линзовидных конкреций стально-серого глинистого крепкого известняка. В середине слоя одна из конкреций содержала многочисленные радиолярии, здесь же найдены конодонты *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken). Мощность 9.4 м.

Слой 10. Обнажены аналогичные предыдущему слою аргиллиты, однако в отличие от него содержащие более частые и более мощные (15–20 см) прослои и конкреции стально-серого пелитоморфного, а чаще детритового известняка, с которыми нередко соседствуют прослойки (3–10 см) желтовато-светло-серого окремненного пеплового туфа. В детритовых известняках встречены многочисленные кальцитизированные радиолярии, конодонты, указывающие на иргинский возраст известняковых конкреций. Среди конодонтов определены *Sweetognathus whitei* (Rhodes), *Sw. aff. whitei* (Rhodes), *Sw. clarki* (Kozur), *Sw. aff. binodosus* Chern., *Mesogondolella bisselli* (Clark et Behnken), *M. laevigata* Chern. Мощность 8.3 м.

Слой 11. Далее следует аргиллитовый слой с редкими мелкими карбонатными конкрециями и



**Рис. 11.** Эволюционная линия *Sweetognathodus expansus* (Perlmutter)–*Sw. whitei* (Rhodes).

1 – *Sweetognathus expansus*, разрез Усолка, слой 21; 2 – *Sw. merrilli* Kozur, разрез Усолка, слой 26/2; 3 – *Sw. binodosus* Chern., разрез Усолка, слой 26/3; 4 – *Sw. anceps* Chern., разрез Дальний Тюлькас, слой 4а; 5 – форма переходная между *Sw. anceps* и *Sw. whitei*, разрез Дальний Тюлькас, слой 4б; 6 – *Sw. whitei* (Rhodes), разрез Дальний Тюлькас, слой 4б.

**Fig. 11.** The evolutionary lineage *Sweetognathus expansus* (Perlmutter)–*Sw. whitei* (Rhodes).

1 – *Sweetognathus expansus*, Usolka section, from bed 21; 2 – *Sw. merrilli* Kozur, Usolka section, bed 26/2; 3 – *Sw. binodosus* Chern., Usolka section, bed 26/3; 4 – *Sw. anceps* Chern., Dal'ny Tulkas section, bed 4a; 5 – transitional from *Sw. anceps* to *Sw. whitei*, bed 4b; 6 – *Sw. whitei* (Rhodes), Dal'ny Tulkas section, bed 4b.

без выдержанных прослоев известняков. Мощность 1.7 м.

### 2.3. Конодонты

Конодонты явились главным инструментом, позволившим четко фиксировать искомую границу, а также провести ее глобальную корреляцию по появлению космополитного вида *Sweetognathus whitei*, положение которого в хроноклине *Sw. binodosus*–*Sw. anceps*–*Sw. whitei* подтвердило изучение разреза Дальний Тюлькас. Именно описанный разрез предоставил наибольшую информацию в отношении эволюции конодонтов рода *Sweetognathus*. Чтобы пояснить значение полученных данных, мы напомним ранее опубликованные нами сведения о развитии этой группы конодонтов в Усольском разрезе (Черных и др., 2005). Примитивная форма свитогнатид *Sweetognathus expansus* (Perlmutter), у которой едва намечена дифференциация карины (рис. 11, фиг. 1), появляется в верхнем асселе. В раннетастубское время ее сменяет *Sweetognathus merrilli* Kozur с кариной, сформированной из простых округлых в плане бугорков (см. рис. 11, фиг. 2). Дальнейшая эволюция свитогнатид приводит к появлению в тастубском горизонте таких форм, у ко-

торых немногочисленные каринальные бугорки латерально вытянутые с едва намеченной тенденцией к двулопастному гантелеобразному строению. Подобные формы мы описали как вид *Sweetognathus binodosus* Chernykh (см. рис. 11, фиг. 3).

Особенности дальнейшей эволюции рассматриваемой группы конодонтов в стерлитамакское и артинское время детально прослежены во вскрытой расчисткой части разреза Дальний Тюлькас. У стерлитамакских представителей линии *Sweetognathus expansus*–*Sw. merrilli*–*Sw. binodosus* продолжается развитие карины в направлении дифференциации каринальных бугорков, приведшее к появлению новой формы *Sw. anceps* Chernykh (см. рис. 11, фиг. 4), обладающей гантелеобразными нодулями. Вместе с такими формами начинают появляться экземпляры с фрагментарным развитием срединного каринального ребра, которые мы рассматриваем как переходные к *Sw. whitei* (Rhodes). Выше по разрезу продолжают встречаться *Sw. anceps*, аналогичные формы с зачатками срединного ребра и, наконец, возникают свитогнатусы с полностью развитыми гантелеобразными нодулями и срединным ребром (см. рис. 11, фиг. 6). Мы относим такие формы к виду *Sweetognathus whitei*, представители которого широко известны во всех регионах мира,

где присутствуют отложения сакмарско-артинского возраста. Предложения использовать уровень появления *Sw. whitei* для определения нижней границы артинского яруса высказывались и ранее разными исследователями (Kozur, 1977; Ritter, 1986), однако для обоснования этой точки зрения не хватало знания о предшествующих членах эволюционной линии свитогнатид. Те формы, которые мы выделили в самостоятельный вид *Sweetognathus anceps*, распространены также широко, но до сих пор встречались вместе с типичными представителями вида *Sw. whitei*, и большинство исследователей либо отождествляли их, либо определяли экземпляры без срединного ребра в открытой номенклатуре как *Sweetognathus aff. whitei*. Фактически впервые нам удалось проследить постепенный переход от *Sw. anceps* к *Sw. whitei* и тем самым дать полную картину развития свитогнатид в эволюционной линии *Sweetognathus expansus*–*Sw. merrilli*–*Sw. binodosus*–*Sw. anceps*–*Sw. whitei*.

Хроноклина *S. binodosus*–*S. whitei* может быть опознана в нижней части *Great Bear Cape* формации, на юго-западе острова *Ellesmere* (Henderson, 1999; Beauchamp, Henderson, 1994; Mei et al., 2002), и в известняках *Florence* группы *Chase* в Канзасе (Boardman et al., 2009). Нижняя граница артинского яруса как уровень появления *Sw. whitei* в хрономорфоклине *Sw. anceps*–*Sw. whitei* распознается в Боливии (Riglos Suárez et al., 1987), в Китае в разрезе *Luosu* (*Luodian, Guizhou*) в последовательности *Sw. binodosus*–*Sw. whitei* в 316 м от основания разреза (Wang Zhi-hao, 1994), в верхней части формации *Taiyuan* в провинции *Anhui* (Ding Hui, Wan Shilu, 1990), а также в *Kopee* (*Su-In Park*, 1989) в известняках формации *Unomasa* в разрезе “*Stream bed*” в 18 м выше основания, где был собран комплекс конодонтов практически такой же, какой был открыт Родсом в песчаниках *Tensleep* в штате *Wyoming* (Rhodes, 1963).

#### 2.4. U-Pb геохронология

М. Шмитц и В. Давыдов (Shmitz, Davydov, 2012) выполнили радиометрические исследования на основе U-Pb масс-спектрометрии по цирконам из прослоев пепловых туфов в парастратотипических разрезах Южного Урала, в том числе и на разрезе Дальний Тюлькас. Здесь они отобрали пробы пепловых туфов на трех уровнях – в верхней части слоя 2 (в 4 м ниже основания артинского яруса), в верхней части слоя 7 (в 10.5 м выше основания артинского яруса) и в основании слоя 9 (на 2 м выше предыдущей пробы). В слое 2 из восьми проанализированных зерен циркона шесть дали результат  $290.81 \pm 0.09$  млн лет. Все семь проанализированных зерен из опробованного слоя 7 показали  $288.36 \pm 0.10$  млн лет. И из третьего прослоя туфа (слой 9) все восемь исследованных зерен дали ре-

зультат  $288.21 \pm 0.06$  млн лет; три датированных образца позволяют предполагать относительное постоянство скорости осадконакопления в нижней части разреза.

#### 2.5. Изотопия С и О

Как было уже сказано, китайские исследователи с участием В. Давыдова (USA, Boise State University) провели изучение стабильных изотопов углерода и кислорода на разрезах южного Урала. В разрезе Дальний Тюлькас кривые  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  обнаруживают общую тенденцию изменения и характеризуются быстрым и резким падением вблизи сакмарско-артинской границы и долговременной стадией значительного спада на последующем отрезке артинского времени. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  быстро падают от  $-4.7$  к  $-11.7\%$  вблизи границы, и в течение длительного времени сохраняется уровень высокого отрицательного значения в последующей части артинского времени, за исключением одного уровня со значением  $-2.2\%$  в раннеартинское время (рис. 12). Авторы отмечают, что указанное резкое падение  $\delta^{13}\text{C}$  и его сохранение в течение длительного времени трудно объяснимы. Они высказывают предположение о местном характере причин, вызвавших резкие вариации значения  $\delta^{13}\text{C}$  (увеличение присутствия органического углерода либо плавление льдов и др.). Однако, если при дальнейшем изучении на обширной территории будет подтверждено резкое падение  $\delta^{13}\text{C}$  вблизи нижней границы артинского яруса, этот феномен может быть полезен при корреляции отдаленных разрезов.

#### Резюме

Отметим значительную пространственную близость нижней границы артинского яруса, устанавливаемой по конодонтам, фузулинидам и аммоноидеям в разрезе Дальний Тюлькас. Наличие эволюционного тренда *Sw. binodosus*–*Sw. anceps*–*Sw. whitei* с переходными формами между членами тренда позволяет предполагать отсутствие перерывов в осадконакоплении в сакмарско-артинском интервале разреза. Разнообразие ископаемых остатков, присутствие многочисленных туфовых прослоев, доступность разреза для последующего изучения и возможность глобальной корреляции устанавливаемой границы – все это позволяет нам предложить Тюлькасский разрез в качестве стратотипического для обоснования нижней границы артинского яруса Международной стратиграфической шкалы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы полагаем, что предложенные разрезы Усолка и Дальний Тюлькас, а также виды-индикаторы нижней границы сакмарско-

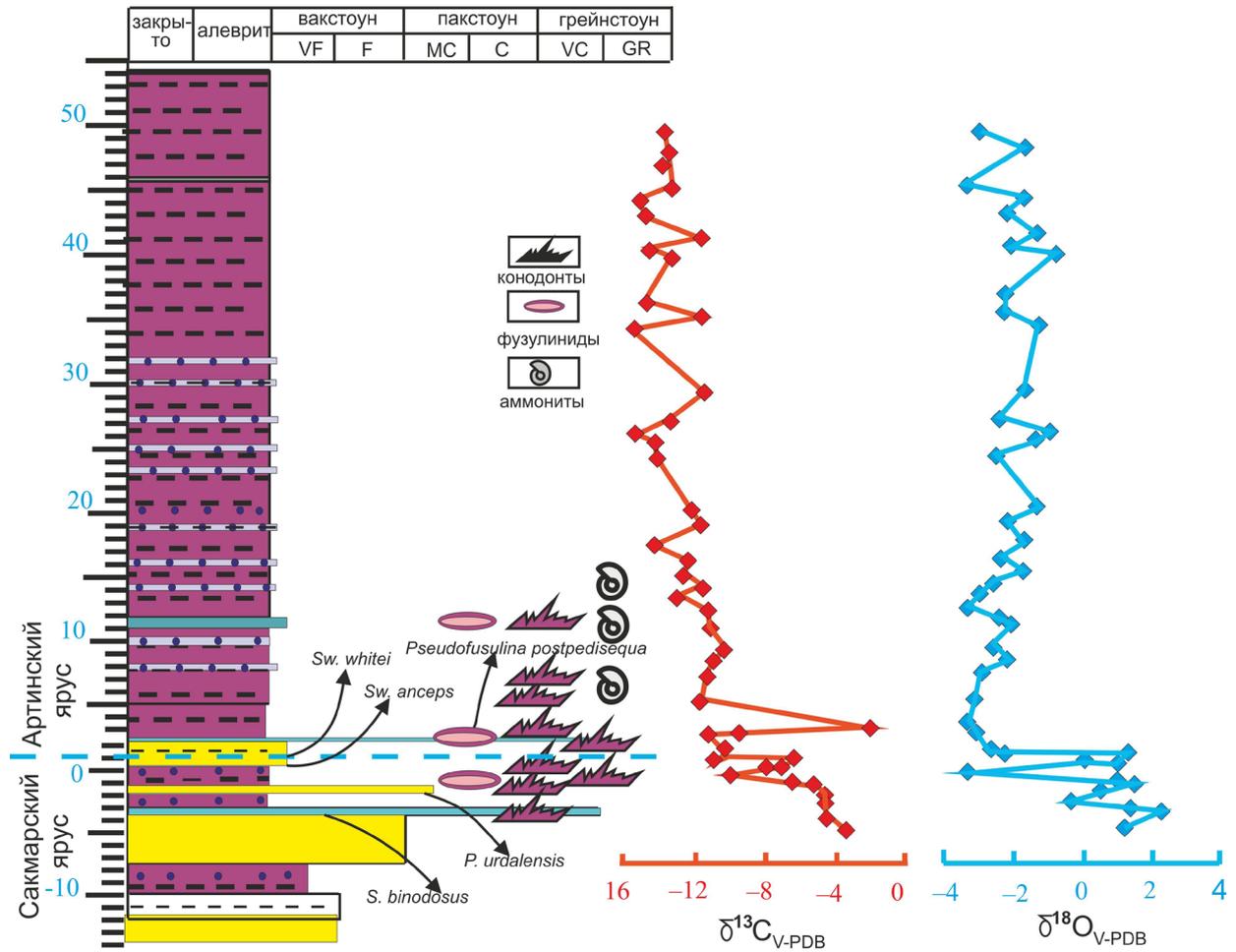


Рис. 12. Изменение величины  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в сакмарско-артинской части разреза Дальний Тюлькас по (Zeng et al., 2012).

Объяснения см. в тексте.

Fig. 12. Carbon and oxygen isotopic trends of the Dal'nyTulkus section after (Zeng et al., 2012).

Explanation in the text.

го (*Mesogondolella uralensis*, *Sweetognathus merrilli*) и нижней границы артинского (*Sw. whitei*) ярусов вполне удовлетворяют главному требованию, предьявляемому к стратотипическим разрезам, – обеспечивают возможность глобального опознания стратиграфической границы. Более широкая корреляция станет возможной после того, как детальные биостратиграфические исследования будут выполнены в Северной Америке, Южной Америке, Китае и других регионах, где известны отложения нижней перми. На Урале эти работы, как нам представляется, несколько опередили подобные исследования в других регионах.

Работа выполнена при поддержке проектов конкурсных программ фундаментальных научных исследований УрО РАН (проект 12-У-5-107, проект 12-П-5-1029).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Черных В.В. (2006) Нижнепермские конодонты Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 130 с.
- Черных В.В., Чувашов Б.И. (2004) Конодонтовый био-хронотип нижней границы сакмарского яруса. Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 28-33.
- Черных В.В., Чувашов Б.И., Давыдов В.И. (2005) Стратотип нижней границы артинского яруса. Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 45-49.
- Чувашов Б.И., Мизенс Г.А., Дюпина Г.В., Черных В.В. (1991а) Разрез “Красноусольский”. *Международ. конгресс “Пермская система земного шара”. Путеводитель геологических экскурсий. Часть II. Вып. 1.* Свердловск: ИГГ УрО РАН, 5-48.
- Чувашов Б.И., Черных В.В., Давыдов В.И., Пнев В.П. (1991б) Стратотипический разрез сакмарского яруса – Кондуровка. *Международ. конгресс “Пермская система земного шара”. Путеводитель геологиче-*

- ских экскурсий. Часть II. Вып. 2. Свердловск: ИГГ УрО РАН, 4-31.
- Amon E., Chernykh V. (2004) Stage boundaries and radiolarian zonal scale for lower Permian deposits in region of Cis-Uralian stratotype. *Permophiles*. **44**, 10.
- Beauchamp B., Henderson Ch. (1994) The Lower Permian Raanes, Great Bear Cape and Trappers Cove formations, Sverdrup Basin, Canadian Arctic: stratigraphy and conodont zonation. *Bull. Can. Petrol. Geol.* **42**(4), 562-597.
- Boardman D.R., Wardlaw B.R., Nesteei M.K. (2009) Stratigraphy and Conodont Biostratigraphy of Uppermost Carboniferous and Lower Permian from North American Midcontinent. *Kansas Geol. Surv., Bul.* **255**, 42.
- Chernykh V., Chuvashov B. (2004) Zonal scale of the Lower Permian of Urals on conodonts. *Permophiles*. **44**, 10.
- Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Schmitz M.D. (2012) Mechetlino Section: A candidate for the Global Stratotype and Point (GSSP) of the Kungurian Stage (Cisuralian, Lower Permian). *Permophiles*. **57**, 21-34.
- Ding Hui, Wan Shilu. (1990) The Carboniferous-Permian conodont event-stratigraphy in the South of the North China Platform. *Cour. Forschungsinst. Seckenberg*. **118**, 131-155.
- Henderson Ch. M. (1999) Correlation of Cisuralian and Guadalupian stages in the Sverdrup Basin, Canadian Arctic archipelago. *XIV ICCP. Pander Society. Can. Paleontol. Conf. Abstrs.* Calgary, 57-58.
- Henderson Ch. M., Wardlaw B.R., Davydov V.I., Schmitz M.D., Schiappa T.A., Tierney K.E., Shen Sh.Z. (2012) Proposal for base-Kungurian GSSP. *Permophiles*. **57**, 8-21.
- Kang Pei-quan, Wang Cheng-yuan, Wang Zhi-hao. (1987) Carboniferous-Permian conodont biostratigraphy in the shelf facies of Ziyun County, Guizhou. *Acta Micropalaeontol. Sinica*. **4**(2), 179-194 (chinese).
- Kozur H. (1977) Beitrage zur Stratigraphie des Perms. Teil I. Probleme der Abgrenzung und Gliederung des Perms. *Freiberg. Forschungsheft*. **C334**. Leipzig, 85-161.
- Mei Sh., Henderson Ch. M., Wardlaw B.R. (2002) Evolution and distribution of the the conodonts *Sweetognathus* and *Iranognathus* and related genera during the Permian, and their implications for climate change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **180**, 57-91.
- Rhodes F.H.T. (1963) Conodonts from the topmost Tensleep sandstone of the Eastern Big Horn Mountains, Wyoming. *J. Paleont.* **37**(2), 401-408.
- Riglos Suárez M., Hünicken M.A., Merino D. (1987) Conodont biostratigraphy of the Upper Carboniferous-Lower Permian rocks of Bolivia. (Ed.), *Conodonts: investigative techniques and applications*. (Ed. R.L. Austin) British Micropalaeontological society, Ellis Horwood Publishers, London, 317-325.
- Ritter S.M. (1986) Taxonomic revision and Phylogeny of post-Early crisis *bisselli-whitei* Zone conodonts with comments on Late Paleozoic diversity. *Geologica et Palaeontologica*. **20**, 139-165.
- Ross C.A. Standard (1963) Wolfcampian Series (Permian), Glass Mountains, Texas. *Geol. Soc. Am. Mem.* **88**, 205 p.
- Schmitz M.D., Davydov V.I. (2012) Quantitative radiometric and biostratigraphic calibration of the Pennsylvanian Early Permian (Cisuralian) time scale, and pan-Euramerican chronostratigraphic correlation. *Geol. Soc. Am. Bul.* **124**(3/4), 549-577.
- Schmitz M.D., Davydov V.I., Snyder W.S. (2009) Permo-Carboniferous Conodonts and Tuffs: High precision marine Sr isotope geochronology. *Permophiles* **53**(1), 49.
- Soo-In Park. (1989) Microfossils of the Permo-Carboniferous Strata of Nongam Area in Mungyeong Coalfield. *J. Korean Earth Sci. Soc.* **10**(1), 102-110.
- Wang Zhi-hao. (1994) Early Permian conodonts from the Nashui section, Luodian of Guizhou. *Palaeoword*. **4**, 203-224.
- Wardlaw B.R., Davydov V.I. (2000) Preliminary Placement of the International Lower Permian Working Standard to the Glass Mountains, Texas. *Permophiles*. **36**, 11-14.

Рецензент А.А. Бяков

## Limitotypes of Lower Sakmarian and Artinskian stages boundary in the Urals

V. V. Chernykh, B. I. Chuvashov

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS*

The section Usolka and duplicating its section Dal'ny Tulkas (Bashkortostan) are proposed as the stratotypes of the Lower Sakmarian stage boundary and Lower Artinskian stage boundary of the International Stratigraphic scale. We give the description of sections with the indication of conodont, fusulinid and ammonoid level findings and the results of studying U-Pb geochronology as well as Sr, C, O isotopes.

Key words: *the stratotype of a boundary, Sakmarian stage, Artinskian stage, conodonts, fusulinids, ammonoids, the Urals.*