

УДК 551.733

Стратиграфическая шкала силурийской системы: биостратиграфические маркеры и корреляционный потенциал границ подразделений

Т.Н. Корень

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Санкт-Петербург
E-mail: tatjana_koren@vsegei.ru

В основу международной стратиграфической шкалы силура положена зональная последовательность граптолитов в британских разрезах. В последние годы в биостратиграфический каркас этой системы, значительно укрепив и расширив его корреляционный потенциал, вошли зоны, установленные по конодонтам, хитинозоа и позвоночным. Рассмотрены проблемы, связанные с ревизией глобальных ярусных границ силура и их корреляцией на территории России.

Ключевые слова: силур, биостратиграфия, зональность, ярусные границы, корреляционный потенциал.

Относительная стабильность стратиграфической классификации силура в значительной мере обусловлена широким распространением пелагических фаций открытого шельфа и континентального склона с относительно космополитной планктонной биотой, а также общими тенденциями эволюции седиментогенеза и бентосных экосистем в обширных эпиконтинентальных бассейнах. Кроме того, силур в его современных границах по сравнению с предшествующим и последующим периодами имеет значительно меньшую продолжительность (около 26–27 млн. лет).

Традиционно на протяжении большей части прошлого столетия роль стандарта стратиграфического расчленения, межрегиональной и глобальной корреляции силурийских отложений, в том числе и на территории России, выполняли британские серии и граптолитовые зоны (Cocks et al., 1971). Силур стал первой системой фанерозоя, на которой были апробированы вновь созданные при определении границы девона принципы стандартизации подразделений Международной стратиграфической шкалы (МСШ). К началу 80-х годов в результате работ Международной подкомиссии по стратиграфии силура (МПСС) под руководством Ч. Холланда почти все подразделения силура были определены точками глобальных стратотипов границ (ТГСГ) в разрезах его типовой площади в — Уэльсе и Уэльшбордерленде (рис. 1). Точка глобального стратотипа нижней границы силура была определена в разрезе Добс Линн Южной Шотландии, а стратотипический разрез основания верхнего подразделения силура — придоли был



Рис. 1. Схема местонахождений стратотипических разрезов границ глобальных подразделений силура в Великобритании: 1 — Добс-Линн, Южная Шотландия, стратотип границы ордовика-силура; 2 — Аэрон-Фарм, Уэльс, стратотип границы аэрона; 3 — Сефн Сериг, Уэльс, стратотип границы телича; 4 — Хагли-Брук, площадь Лландовери, стратотип границы венлока (шейнвуда); 5 — Витвелл-Коппис, площадь Лландовери, стратотип границы гомера; 6 — Питч-Коппис, площадь Лудлов, стратотип границы лудлова (горсти); 7 — Карьер Саннихилл, площадь Лудлов, стратотип границы лудфорда. Выходы силурийских отложений здесь и на рис. 2 показаны черным цветом.

выбран в Баррандиене (Bassett, 1985; Holland, Bassett, 1989; рис. 2). Современная МСШ включает серии и ярусы, между системой и сериями часто используются подразделения «нижний силур» и «верхний силур», которые, однако, не имеют собственной категории и не являются формально утвержденными. На территории России силур в общей стратиграфической шкале (ОСШ) официально имеет двухчленное деление на нижний и верхний отделы, тогда как четыре международных серии — лландоверийская, венлокская, лудловская и пржидольская имеют статус ярусов (Постановления МСК..., 1976, 2002). Соответственно, международные ярусы, выделенные в лландоверийской (3), венлокской (2) и лудловской (2) сериях, приняты в ОСШ в качестве подъярусов. Верхняя пржидольская серия МСШ или одноименный ярус ОСШ не имеют более дробного деления. Все стандартные подразделения силура были определены в стратотипических разрезах на уровнях, совпадающих или коррелируемых с биоzonальными граптолитовыми границами (рис. 3).



Рис. 2. Местонахождение стратотипического разреза нижней границы пржидольского яруса в Баррандиене (Чехия).

Общая стратиграфич. шкала (Постановления МСК..., 2002)				Geologic time scale, 2004			Биостратиграфические маркеры границ		
Сис-тема	От-дел	Ярус	Подъярус	Сис-тема	Серия	Ярус			
СИЛУРИЙСКАЯ	Верхний	Пржидольский		Пржидольская					
		Лудловский	Лудфранский	Лудловская	Лудфранский	418.7	←	<i>Neosolenograptus parvifolius</i>	
			Горстийский		Горстийский	421.3	←	<i>Saetograptus feintwardinensis</i>	
	Нижний	Венковский	Гомерский	Венковская	Гомерский	422.9	←	<i>Neodiversograptus nissou</i>	
			Шейнерский		Шейнерский	428.2	←	<i>Cyrtograptus lundgreni</i>	
		Лландо-вернейский	Теленский	Лландо-вернейская	Теленский	428.2	←	Новый кинодонтовый маркер <i>Margachinia margaritana</i> <i>Cyrtograptus marchisoni</i>	
			Азронский		Азронский	435.0	←	<i>Spirigraptus guerickei</i>	
			Руданский		Руданский		439.0	←	<i>Demicystites triangularis</i>
								443.7	←

Рис. 3. Соотношение Международной стратиграфической шкалы силура с Общей стратиграфической шкалой, принятой на территории России, и биостратиграфические маркеры границ подразделений.

Биостратиграфический каркас глобальных корреляций

После утверждения в 1985 г. МСШ успешно служит в качестве глобального стандарта межрегиональных и межконтинентальных корреляций силурийских отложений, что в значительной мере способствовало дальнейшим более детальным биостратиграфическим,

седиментологическим, геохимическим и палеогеографическим исследованиям. За эти годы во многих стратиграфических интервалах были детализированы региональные шкалы граптолитовых зон, пополнились данные по конодонтам, были созданы и постоянно уточняются зональные последовательности по хитинозоа, позвоночным и спорам. Специальной рабочей группой Международной подкомиссии по стратиграфии силура (МПСС) был создан интегрированный биостратиграфический каркас зонального расчленения по планктонным группам для корреляции отложений в широком фациальном спектре (Silurian Times, 1995). Основу этого каркаса составил обобщенный зональный граптолитовый стандарт, разработанный специально созданной рабочей группой (Koren' et al., 1996) для проведения координированных исследований по глобальной палеогеографии.

В связи с возросшими требованиями к точности корреляций на основании биозональных маркеров с помощью граптолитовых зон стали особенно очевидными трудности использования каких-либо конкретных региональных биозональных шкал в качестве стандарта широких корреляций. Основным критерием к дифференциации обобщенных зональных интервалов стала необходимость их надежного прослеживания в различных палеогеографических обстановках. Эти работы проводились на основе изучения закономерностей изменения динамики разнообразия граптолитов, выявления рубежей резких изменений состава комплексов путем сравнения региональных биозональных последовательностей в детально изученных разрезах Южной Шотландии, Баррандиена, Польской низменности, Арктической Канады, Тянь-Шаня и Южного Китая. Им предшествовали ревизия стратиграфических диапазонов диагностических таксонов и выявление достоверных уровней их первого появления и исчезновения в наиболее полных разрезах, представляющих различные обстановки седиментации. В качестве зональных границ, определяемых по первому появлению вида-индекса, были выбраны биогоризонты или событийные уровни в эволюции граптолитов, максимально широко распознаваемые по площади и увязанные с кривыми колебания уровня моря (Koren', 1987; Melchin et al., 1998, 2004; рис. 4). Объемы большинства подразделений определены интервалами разреза от первого появления зонального вида до появления вида-индекса следующей зоны. Достигнутая разрешающая способность стандартных подразделений составляет от 0,5 до 1 млн. лет (средняя продолжительность 0,83 млн. лет), что обеспечило корректность глобальных корреляций пелагических, склоновых и открыто шельфовых фаций с различной полнотой палеонтологической характеристики.

В биостратиграфический каркас силура вошли зональные последовательности по конодонтам, хитинозоа и позвоночным (рис. 4). Предложенная глобально распознаваемая обобщенная зональная последовательность по конодонтам на многих уровнях соотнесена со стандартной граптолитовой шкалой. Конодонтовые зоны и уровни существенно расширяют рамки глобальных корреляций за счет встречаемости этой группы фауны в широком фациальном спектре отложений. Силурийские конодонты по сравнению с ордовикскими в значительно меньшей степени провинциальны, хотя также имеются некоторые различия в составе одновозрастных мелководных и глубоководных ассоциаций. Первая конодонтовая зональная шкала, установленная в единой последовательности терригенно-карбонатных отложений Карнийских Альп с учетом данных по другим регионам (Walliser, 1964), во многом сохранила свое значение до настоящего времени. Она уточнялась и детализировалась в некоторых стратиграфических интервалах (низы лландовери, пограничные отложения лландовери-венлока, лудлов) по различным разрезам, включая силур Великобритании и Балтийского региона (Aldridge et al., 1993; Jeppsson et al., 1995). Выделение конодонтовых зон в обобщенной последовательности основано на

ОСН				Бионациональный стандарт по грантолитам Kogen' et al., 1996; Kogen', Suyarkova, 2004	Биостратиграфические зоны Märs et al., 1995; Silurian Times, 1995; Verniers et al. in Eriksson, Calner, 2005;			Биотические события	
Система	Отдел	Ярус	Итапурус		Конodontы	Хитинозоа	Позвоночные		
СИЛУРИЙСКАЯ	Верхний	Прикарпатский		<i>Integrigraptus trapezoidalis</i> - <i>Molodograptus boeckii</i>	U: <i>unicostriolatus</i> - <i>Ovalobus elegans</i> <i>albertus</i>	<i>Argochitina superba</i>	<i>Canthocaris</i> <i>limacalis</i> <i>limacalis</i> <i>Pteroparabodus gracilis</i>	← <i>transgradiens</i> Г	
				<i>Neoscolopograptus kochloensis</i> - <i>Neoscolopograptus braconiformis</i>	интерзона <i>Zieglerobus teutschkei</i> ensis	<i>Margachitina elegans</i>	<i>Nesobolus gracilis</i>		
				<i>Neoscolopograptus ultimus</i> - <i>Neoscolopograptus paraflexus</i>		<i>Fragochitina kuznetzi</i>	<i>Tarionus sculptus</i>	← <i>spinosus</i> Г	
				<i>Molodograptus (Formograptus) formosus</i> <i>Neoscolopograptus kochloensis</i> <i>Pteroparabodus podolensis</i>	" <i>Ovalobus</i> " <i>crispus</i>	<i>Elenochitina barandei</i>		← <i>kozlovskii</i> Г	
		Лудловский	Лудловский	Горелый-стан	<i>Pteroparabodus podolensis</i> интерзона <i>Pteroparabodus</i> <i>Acaris</i>	" <i>Ovalobus</i> " <i>majori</i>		<i>Androchitina hedei</i>	← Лай К
					<i>Saetograptus leinostrephensis</i> <i>Saetograptus linearis</i>	<i>Pteroparabodus sibiricus</i>	<i>Elenochitina sibirica</i>		← <i>leinostrephensis</i> Г
					<i>Lobograptus scoticus</i>	<i>Acronolella pilscheneri</i>	<i>Argochitina elongata</i>	<i>Phlebotopsis elegans</i>	← Линае К
					<i>Nesobolus</i> <i>gracilis</i> <i>Lobograptus pinguis</i>	зона не выделена		<i>Bolobolus</i> <i>tenax</i>	
		Веплоцкий	Томарский		<i>Colopograptus Andensis</i>	<i>Ovalobus Andensis</i>	<i>Sphaerichitina hyporeoides</i>	<i>Paralogonia martensoni</i>	
					<i>Colopograptus deubeli</i> - <i>Colopogr. praecolubeli</i>				← Муньае К
					<i>Pteroparabodus parvus</i> <i>Gothograptus minor</i>	" <i>Ovalobus</i> " <i>sagitta</i> <i>sagitta</i>	<i>Conochitina pachycephala</i>	<i>Laganella grossi</i>	← <i>lundgreni</i> Г
					<i>Cyrtograptus perneri</i> - <i>Cyrtograptus rigidus</i>	зона не выделена	<i>Cingulochitina cingulata</i>		
	<i>Molodograptus belophorus</i> <i>Molodograptus riccartonensis</i>				<i>Oz. sagitta rhombus</i> <i>Kochelolla patula</i>		<i>Laganella aroica</i>	← <i>marchisoni</i> Г	
	<i>Cyrtograptus marchisoni</i>				интерзона <i>K. ramuliformis</i>	<i>Margachitina marginata</i>		← Ирвинген К	
	Нижний	Тельский		<i>Cyrtograptus centrifugus</i>	<i>Pteroparabodus anozhugravobolus</i>	<i>Argochitina longicollis</i>			
				<i>Cyrtograptus imbricatus</i>					
				<i>Cyrtograptus lapworthi</i>	<i>Pteroparabodus colloni</i>	<i>Elenochitina deltoformis</i>	<i>Laganella zvonica</i> <i>Laganella sibirica</i>	← <i>willi</i> Г К	
				<i>Olanites spiralis</i>					
				<i>Mioscolopacis erymbata</i> - <i>Mioscolopacis griestonensis</i>	<i>Pteroparabodus colloni</i>	<i>Conochitina ulargala</i>		← <i>sudgwickii</i> Г	
				<i>Globograptus crispus</i>					
				<i>Spirograptus terriculatus</i>	<i>Pteroparabodus tenuis</i> - <i>Diplosodus stannegrathoides</i>	<i>Sphaerichitina aberti</i>	<i>Fabulopsis crata</i>		
				<i>Spirograptus guerickei</i>					
				<i>Sinuilograptus sudgwickii</i>	<i>Diplosodus stannegrathoides</i>	<i>Sphaerichitina elegans</i>			
				<i>Litograptus convolutus</i>					
	<i>Pteroparabodus argenteus</i>	<i>Diplosodus stannegrathoides</i>	<i>Sphaerichitina fragilis</i>						
	<i>Dennantiaites pectinatus</i> - <i>Dennantiaites triangulatus</i>								
	<i>Cyrtograptus cyphus</i>	<i>Ovalobus? kishari</i>							
	<i>Cyrtograptus veniculosus</i>								
<i>Parolodograptus acuminatus</i>									
<i>Alidograptus ascensus</i>				зона не выделена					

Рис. 4. Общая стратиграфическая шкала силура, биостратиграфические зоны и биотические события.

широко распознаваемых биостратиграфических событийных уровнях. Значительно более детальная последовательность региональных конодонтовых зон верхов телича-низов горсти создана на основе изучения классических разрезов карбонатного силура на о. Готланд (Eriksson, Calner, 2005). В некоторых интервалах она увязана с граптолитовыми зонами и уровнями, а также с кривыми изменения соотношений изотопов ^{13}C и ^{18}O ; ею датированы распознанные в разрезах событийные интервалы. Изучены три основных события вымирания конодонтов (рис.4): в конце лландовери-начале венлока (событие Иревикен), раннем гомере (событие Мульде) и середине лудфорда (событие Лау) (Jeppsson, 1998). Совпадающие с ними кривые изменения стабильных изотопов углерода и кислорода предполагают связь этих событий с изменениями климата.

Детальными биостратиграфическими исследованиями в ряде регионов подтвержден высокий корреляционный потенциал хитинозоа — фитопланктонных микрофоссилий, ранее практически не изученных в силурийских разрезах. Созданная в последние годы зональная последовательность по этой группе (Silurian Times, 1995; Verniers et al., 1995; Verniers, 2006, письменное сообщение) включает подразделения, определяемые первым появлением вида-индекса со сравнительно коротким интервалом распространения и известным на площади, по крайней мере, двух основных силурийских палеоконтинентов (рис. 4). Глобальные биоzoneальные уровни по хитинозоа определены по хорошо таксономически обоснованным видам. Надежность биостратиграфических маркеров в значительной мере определяется тем, что их последовательность изучена в разрезах глобальных стратотипов границ хирнанта-лландовери (Южная Шотландия), лландовери-венлока (Шропшир), верхов лудлова-низов пржидоли (Баррандиен) (Verniers, 1999; De Permentier, Verniers, 2002; Mullins, Loydell, 2001; Verniers et al., 2003; Eriksson, Calner, 2005); . Корреляция зон по граптолитам и хитинозоа была уточнена при детальном опробовании пограничных отложений ордовика-силура по скважинам Южной Швеции (Eriksson, Calner, 2005). Новые данные по биостратиграфическому сопоставлению уровней с конодонтами и хитинозоа были получены при детальном изучении классических разрезов силура о. Готланд (Eriksson, Calner, 2005).

Остатки силурийских позвоночных, приуроченные к широкому фациальному спектру отложений от крайнего мелководья до гемипелагических склоновых зон, позволяют использовать эту группу для зонального расчленения и корреляции (Silurian Times, 1995; Märss et al., 1995). Они впервые появляются в лландовери, но их многочисленные остатки приурочены к верхнему силуру, начиная с верхнего лудлова. Более детальные биоzoneальные подразделения выделены в верхнем силуре, некоторые из них сопоставлены с биостратиграфическими зонами по граптолитам (рис. 4). Устойчивая последовательность появления многих видов телодонтов, изученная в стратотипической местности силура, подтверждена также исследованиями по конодонтам (Märss, Miller, 2004).

В шельфовых и склоновых фациях силура известны находки силурийских акритарх, позволяющих выявить датированные уровни, совпадающие с граптолитовыми маркерами (Eriksson, Calner, 2005). В начале силура (ранний руддан) ассоциации фитопланктона имеют исключительно низкое таксономическое разнообразие, которое возрастает к концу руддана и достигает максимума в среднем аэроне. Значительно более высокое разнообразие акритарх на видовом уровне характерно для телича. Наиболее яркое событие вымирания и последующего восстановления родового разнообразия приурочено к событию Иревикен, вблизи границы лландовери и венлока. В связи с частыми климатическими колебаниями разнообразие акритарх незначительное в позднем шейнвуде, гомере и горсти. В целом, в течение позднего силура ассоциации фитопланктона имеют низкое родовое и умеренное видовое разнообразие.

Одним из достижений последних лет являются детальные сборы, монографическое и биостратиграфическое изучение сколекодонтов, многочисленных в шельфовых фациях верхнего лландовери-верхнего лудлова Балтоскандии и в особенности о. Готланд, (Eriksson, Calner, 2005). Их нахождение в слоях, сформированных в различных фациальных обстановках, может быть использовано для решения проблем корреляции глубоководных граптолитовых и мелководных конодонтовых фаций. Последовательность полихетовых фаун, прослеженная в силуре о. Готланд, свидетельствует о том, что эта группа имеет несомненный биостратиграфический потенциал, хотя по ним пока еще не разработана зональность.

Проблемы ревизии нижних границ ярусов

Детальные исследования по биостратиграфическому расчленению и корреляции, проведенные в основных регионах развития силурийских отложений на основе стандартизированной МСШ в течение 20 лет после ее утверждения, показали недостатки ряда выбранных стратотипов и неточности биостратиграфического определения некоторых ярусных границ. Прежде всего, это был первый опыт стандартизации шкалы геологической системы фанерозоя в соответствии с новыми требованиями. В связи с многолетней основополагающей ролью британского силура, как исходного для международных корреляций, МПСС стремилась утвердить стратотипы британских серий и их подразделений в типовых площадях. При этом основная роль в биостратиграфической маркировке ярусных границ была отведена граптолитам. Однако граптолитовые фации развиты в основном на северо-западе Великобритании (Озерный район, Хаугилл-Феллз), в южной и центральной частях Южной Шотландии, Северном Уэльсе (см. рис. 1). В типовых площадях серий (Уэльс, Уэлшбордерлэнд, площадь Лудлов) они обнажаются среди терригенных шельфовых, часто флишоидных толщ лландовери или терригенно-карбонатных комплексов венлока и лудлова, редко слагая протяженные непрерывные разрезы. С этим связаны фрагментарность находок граптолитов и трудности в определении не только первых уровней появления диагностических видов, но и их диапазонов. Недостатки британских стратотипических разрезов стали особенно очевидными в последние десятилетия в связи с детальным биостратиграфическим расчленением сланцевых толщ с граптолитами, достигнутым за пределами Великобритании — в Баррандиене, Польской низменности, Балтоскандии, в ряде регионов России и бывшего СССР, в Арктической Канаде и Южном Китае.

В связи с необходимостью уточнения корреляции и сохранения стабильности стандартной шкалы силура в конце 1990-х гг. МПСС начала ревизионные биостратиграфические и таксономические исследования по интервалам вблизи наименее благополучных границ. Были созданы специальные рабочие группы по двум наиболее проблематичным границам: основанию силура, или лландоверийского яруса, и нижней границе венлокского яруса. Рабочая группа по лландоверийской границе включала членов подкомиссии по стратиграфии ордовика и силура. Велась активная дискуссия на специально созданных интернет-сайтах. Результаты ревизии глобальных стратотипических разрезов и биостратиграфического определения ТГСГ детально обсуждались на заседании МПСС во время полевых сессий в Австралии, (2000) г. и на о. Готланд, (2005 г.). (рис.5).

Точка глобального стратотипа границы (ТГСГ) лландоверийского яруса и, соответственно, силурийской системы была определена в 1,6 м выше основания сланцев Биркхилл в разрезе Линн – Брак – Тренч в Добс-Линн, Южная Шотландия (Cocks et al., 1984; см. рис. 1). Считалось, что этот уровень совпадает с границей зоны *Parakidograptus*



Рис. 5. Участники полевой сессии Международной подкомиссии по силурийской системе на о-ве Готланд (Швеция) в августе 2005 г.

acuminatus, которая в данном разрезе была проведена по первому появлению *P. acuminatus* s.l. и *Akidograptus ascensus* (Williams, 1983). Факт одновременного появления двух указанных таксонов противоречил данным, известным по детально изученным разрезам Баррандиена, Балтоскандии, Северо-Востока России и Южного Китая, где выделялись две последовательные зоны *A. ascensus* и *P. acuminatus*. После дополнительного опробования разреза Линн Брак Тренч и ревизии таксономии граптолитов Г. Вильямсом и М. Мельчином было выявлено, что ТГСГ соответствует первому появлению *P. praematurus* и *A. ascensus*, а *P. acuminatus* s.s. появляется в 1,6 м выше уровня границы (Melchin, Williams, 2000). Таким образом, выше зоны *Persculptograptus persculptus* в разрезе Линн – Брак – Тренч удалось выделить две последовательные зоны *A. ascensus* и *P. acuminatus*, надежно коррелируемые в глобальных ареалах. После окончательного обсуждения и последующего голосования было решено сохранить шотландский разрез в качестве стратотипа глобальной границы ордовика и силура, но биоzonальным маркером считать уровень первого появления *A. ascensus* (см. рис. 3). Было признано, что стратотипический разрез отвечает необходимым требованиям непрерывности седиментологической и биостратиграфической последовательности, представлен благоприятными для корреляции фациями и имеет потенциальные возможности для дальнейших изотопно-геохимических исследований.

Нижняя граница венлокского яруса и, соответственно, шейнвудского подъяруса МСШ была определена в основании свиты Билдвоз в разрезе Хагли – Брук Уэлшбордерленда (Bassett et al., 1975). При определении уровень границы в стратотипе рассматривался соответствующим подошве граптолитовой зоны *Surtograptus centrifugus*, хотя граптолиты не были найдены в пограничном интервале данного разреза (Martinsson et al., 1981; Holland, Bassett, 1989). Считалось, что ТГСГ находится в пределах конодонтовой зоны

Pterospathodus amorphognathoides, а именно: между основанием зоны 5 по акритархам и последними находками *P. amorphognathoides* (Mabillard, Aldridge, 1985). Позднее на основании корреляции по конодонтам и хитинозоа были высказаны предположения о том, что граница может соответствовать и подошве более низкой зоны *Cyrtograptus insectus* (Jeppsson, 1997; Mullins, 2000). Такая неопределенность в биостратиграфическом обосновании границы требовала проведения ее дополнительного изучения. В 2002 г. МПСС обратилась в Международную комиссию по стратиграфии и получила одобрение на проведение ревизии стратотипического разреза и биостратиграфического обоснования выбранной ТГСГ. Была создана рабочая группа по границе лландовери и венлока под руководством Д. Лойделла (Великобритания), которая в течение трех последних лет проводила полевые исследования по пограничному интервалу в типовой площади и таксономические ревизии по ключевым видам граптолитов, конодонтов и хитинозоа в пограничном интервале. Было изучено шесть дополнительных разрезов на той же площади, но ни один из них не оказался лучше стратотипа Хагли Брук. Два дополнительных разреза, обнаруженных в Уэльсе, могли бы оказаться благоприятными, но для их изучения требуется не менее двух лет, что не отвечает планам МПСС представить утвержденную шкалу силура вместе с другими системами фанерозоя к 33-й сессии МГК в Осло в 2008 г.

Согласно полученным новым данным, ТГСГ венлока в разрезе Хагли Брук находится в средней части конодонтовой зоны *Pseudooneotodus bicornis* (Brett, Baird, 1997; Jeppsson, 1998) и верхней части зоны *Margachitina margaritana* (хитинозоа) (Mullins, Aldridge, 2004). В граптолитовой последовательности этот уровень скорее всего отвечает подошве или базальным слоям зоны *C. purchisoni*. Помимо типовой площади Уэльса были также проведены детальные исследования пограничного лландоверийского интервала в разрезах Баррандиена, рассматривались в качестве возможного стратотипа разреза Канадской Арктики и Китая. Однако оказалось, что все они имеют определенные недостатки, не позволяющие использовать их в качестве нового стратотипа границы. На полевой сессии МПСС на о. Готланд обсуждались два предложения по решению проблемы границы лландовери и венлока: либо сохранить стратотипический разрез, но изменить граптолитовый маркер на датированный конодонтами уровень; в этом случае есть возможность его корреляции по хитинозоа с уровнем вблизи подошвы зоны *C. purchisoni*; сохранить биостратиграфический уровень в подошве зоны *C. centrifugus*, но найти другой стратотипический разрез за пределами Великобритании.

В целях стабильности шкалы было предложено сохранить ТГСГ подошвы венлокского яруса в подошве свиты Билдвоз в разрезе Хагли – Брук, изменив определение биостратиграфического уровня. Последний требует дальнейшего изучения, но по имеющимся данным он соответствует датированному уровню 2 события Иревикен (рис. 6). Предстоит в ближайшее время выбрать новый биостратиграфический маркер этой границы по первому появлению диагностического вида конодонтов, после чего должно быть проведено официальное голосование членов МПСС по этой проблеме.

Имеются также некоторые неточности биостратиграфической датировки границы лудловской серии и соответственно горстийского яруса в стратотипическом разрезе в карьере Питч Коппис на площади Лудлов (см. рис. 1, 3). ТГСГ выбрана в подошве элтонской свиты, залегающей непосредственно выше кровли свиты известняков Мач – Уэнлок. По находкам граптолитов *Neodiversograptus nilssoni* и *Saetograptus varians* в низах элтонской свиты этот уровень сопоставлен с подошвой зоны *N. nilssoni*. Однако отсутствие граптолитов в других частях горстийско-гомерского интервала в типовой площади делает неопределенной корреляцию ТГСГ с этой граптолитовой зоной. Отсутствуют также диагностич-

серия	Конодонты		Хитинозоа	Граптолиты	Океанич. событие	Датированные уровни
Венлок	<i>Ps. bicornis</i>	верхняя подзона	Верхняя часть зоны	<i>C. murchisoni</i>	Ирвекен	2
		нижняя подзона		<i>M. margaritana</i>		
Лландовери	<i>P. amorphognathoides</i>			<i>C. insectus</i>		1
				<i>C. lapworthi</i>		

Рис. 6. Современное состояние биостратиграфической корреляции пограничных отложения лландовери и венлока и положение ярусной границы по результатам ревизии стратотипического разреза и биозонального маркера рабочей группой Международной подкомиссии по стратиграфии силура (о. Готланд, 2005).

ные маркеры по брахиоподам или конодонтам (Holland, Bassett, 1989), которые способствовали бы уточнению биостратиграфического обоснования границы лудлова.

Недостатком стратотипического разреза основания пржидоли в местности Пожары, вблизи Праги в Баррандиене (см. рис. 2, 3), является отсутствие граптолитов в слоях ниже уровня первого появления зонального вида *Neocolonograptus parulimus*. В качестве дополнительного биостратиграфического маркера в типовой площади используется подошва зоны *Fungochitina kosoviensis* по хитинозоа, приблизительно совпадающая с этим уровнем (Melchin et al., 2004).

Проблемы границ внутренних подразделений силурийских серий (ярусов)

Имеются также проблемы с глобальной корреляцией основания аэронского и теличского ярусов (подъярусов) лландовери. Это во многом объясняется бедной и часто фрагментарной граптолитовой характеристикой разрезов типовой площади Лландовери, где были выбраны ТГСГ подразделений лландоверийской серии.

При определении ТГСГ основания аэрона по находкам *Monograptus austerus sequens* непосредственно выше границы предполагалось ее соответствие уровню подошвы зоны *Demirastrites triangulatus* (см. рис. 3). Это единственный уровень с граптолитами в стратотипическом разрезе. Однако *M. austerus sequens* известен только из одного местонахождения в Уэльсе, в котором он появляется достаточно высоко в пределах зоны *D. triangulatus*. Таким образом, можно утверждать, что граница находится где-то между слоями, датированными зонами *Coronograptus cyphus* и *D. triangulatus* (Melchin et al., 2004).

Граница телича выбрана в 31 м ниже кровли свиты Вормвуд в стратотипе, расположенном в карьере у фермы Пен-лан-телич (Holland, Bassett, 1989). В этом разрезе она

маркирована последними находками *Eocelia intermedia* и первыми находками *E. curtis* (Bassett, 1985). Поскольку граптолиты в этом разрезе не были найдены, то этот уровень рассматривался соответствующим подошве зоны *Spirograptus turriculatus* на основании находок единственного определяемого граптолита *Paradiversograptus runcinatus* выше установленной границы вблизи стратотипического разреза. Необходимо отметить, что в других разрезах Уэльса этот вид известен уже в верхнем аэроне, хотя многочислен в нижней части зоны *Spirograptus guerichi*. Существенно снижает ценность датировки границы телича по брахиоподам тот факт, что в других разрезах Великобритании последние находки *Eocelia intermedia* документированы в верхней части нижележащей зоны *sedgwickii*, а не в зоне *Sp. guerichi* (Loydell, 1991). Таким образом, установленная в стратотипе граница телича может соответствовать верхам зоны *Sp. guerichi* (см. рис. 3).

Нижняя граница гомерского подъяруса венлока определена в пачке Эйпдейл свиты Коалбрукдейл в разрезе Витвелл – Коппис, где она совпадает с первым появлением граптолитовой фауны, включающей *Cyrtograptus lundgreni* (см. рис. 3). Подстилающие слои содержат граптолиты зоны *Cyrtograptus ellesae*. Хотя зональные комплексы смежных зон четко различаются между собой, в одном из разрезов Уэльса первое появление *C. lundgreni* было отмечено в верхней части зоны *C. ellesae*. Поэтому вполне возможно, что уровень подошвы гомера в стратотипическом разрезе окажется соответствующим нижней части, а не основанию, зоны *C. lundgreni*.

Можно также считать проблематичным обоснование подошвы лудфордского подъяруса лудлова по границе граптолитовой зоны *Saetograptus leintwardinensis* (см. рис. 3). ТГСГ определена на уровне границы верхнебриджвудской и нижнейлейтвардинской свит в карьере Саннихилл на площади Лудлов (Holland, Bassett, 1989; см. рис. 1, 3). Пограничные отложения горсти-лудфорда в этом разрезе не имеют граптолитовой характеристики (Cocks et al., 1984; Bassett, 1985; Holland, Bassett, 1989). *S. leintwardinensis* встречен в базальных нижнейлейтвардиновых слоях за пределами стратотипического разреза. Поэтому утверждение о том, что ТГСГ совпадает с подошвой зоны *S. leintwardinensis* основано на результатах латеральной корреляции. В подстилающих верхнебриджвудских слоях нет граптолитов, хотя в других разрезах на площади Лудлов известно, что нижнебриджвудская свита содержит граптолиты, соответствующих зоне *Pristiograptus tumescens* – *Saetograptus incipiens*. Биостратиграфический уровень границы маркируется исчезновением большого числа таксонов брахиопод и изменением их количественных соотношений. Нет каких-либо отчетливых изменений конодонтовых ассоциаций, но значительно меняются комплексы спор вблизи границы формаций (Melchin et al., 2004).

Несмотря на отмеченные недостатки многих из утвержденных к 1985 г. границ подразделений МСШ силура, серьезная ревизия в последние годы коснулась лишь подошвы лландовери и основания венлока. На полевой сессии МПСС на о. Готланд в 2005 г. на обсуждение был поставлен вопрос о проведении в ближайшее время ревизии границ остальных общих подразделений силура. Однако в целях сохранения стабильности шкалы до 33-й сессии МГК было принято решение не вносить каких-либо изменений в определение стратотипов и биоэональных маркеров других границ МСШ силура, требующих специальных исследований.

Распознавание и корреляция границ общих подразделений силура на территории России

С наибольшей точностью границы силурийской системы, ее ярусов и подъярусов распознаются по граптолитам в пелагических и гемипелагических отложениях раз-

личных регионов России. Наиболее широко распространены черносланцевые толщи с граптолитами лландовери, слагающие трансгрессивные последовательности восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы (Лемвинско-Сакмарская зона Урала), островов Российской Арктики, северного и южного обрамления Сибирской платформы и Колымо-Омолонского региона. С различной степенью детальности региональные зональные схемы разработаны на Северном Кавказе, Урале, Новой Земле, Таймыре, о. Котельный, в Горном Алтае и Колымо-Омолонском регионе. В последние годы новые биостратиграфические данные получены по скважинам Калининградской области.

Венлокские отложения с граптолитами занимают значительно меньшие площади по сравнению с лландоверийскими, и последовательные разрезы в протяженных стратиграфических интервалах почти не известны. Исключение составляют Новая Земля, Таймыр и Южный Урал, где установлены фрагменты зональной последовательности венлока. Достаточно полная венлокская последовательность недавно изучена по материалам скважин Калининградской области (Koren et al., 2005).

Горстийские и нижнелудфордские граптолитовые комплексы, включающие кукуллограптовую и сэтограптовую фауны, известны в разрезах Калининградской области, Сакмаро-Лемвинской зоны Урала, Пай-Хоя, Новой Земли и Таймыра. Они дают надежные реперы межрегиональной корреляции нижних границ подъярусов лудлова. Значительно менее распространены средне- и позднелудфордские граптолиты, и вмещающие их непрерывные разрезы, чрезвычайно редки. Лудфорд представляет собой трудный интервал для прослеживания стандартных зон по граптолитам. Наиболее полная лудфордская последовательность изучена по разрезам курсалинской свиты на северных склонах Алайского хребта (Koren; Suyarkova, 2004). Именно эта последовательность положена в основу стандартной граптолитовой зональности верхнего лудлова — низов пржидоли (см. рис. 4).

Пржидольские граптолитовые комплексы наиболее детально изучены на разрезах токауского горизонта Прибалхашья, Казахстана и в Южном Тянь-Шане (Корень, 1986; Koren; Suyarkova, 1997). На территории России на отдельных стратиграфических уровнях в единичных местонахождениях известны позднепржидольские граптолиты, позволяющие уверенно распознавать на Пай-Хое и Полярном Урале границу силура и девона.

Силурийские конодонты в разрезах на территории России изучены слабо. Их находки известны лишь на некоторых стратиграфических уровнях в лландоверийских и венлокских отложениях отдельных регионов (Урал, Северная Земля, о. Котельный, Сибирская платформа, Северо-Восток России) (Мянник, 1999). Ни в одном из этих регионов непрерывная последовательность зональных подразделений по этой группе пока не разработана. До настоящего времени силурийские разрезы России не были опробованы на хитинозоа, что является большим пробелом в биостратиграфических исследованиях по этому стратиграфическому интервалу.

Для биозонального расчленения карбонатных шельфовых фаций широко используются брахиоподы, остракоды, в меньшей степени кораллы и криноидеи.

Биостратиграфические подразделения по брахиоподам и остракодам выделены в разрезах Восточно – Европейской платформы, западного и восточного склонов Урала, Арктических островов, Сибирской платформы и ее обрамления. Границы биостратиграфических подразделений по бентосным группами обычно проводятся по смене комплексов, характеризующих смежные толщи, и отражают в большей степени фациальные, чем эволюционные изменения. По критериям определения границ эти подразделения являются комплексными зонами, зонами совместного распространения таксонов, реже — зона-

ми распространения или частичного распространения видов-индексов. Они необходимы для внутрибассейновых межфациальных корреляций. Некоторые подразделения или маркированные уровни дают возможность более широких межрегиональных корреляций отложений, сформировавшихся в сходных фациальных обстановках. Обычно разрешающая способность корреляций по этим группам достигает уровня подъяруса или регионального горизонта, реже выделяются более дробные единицы. Сделаны также попытки выделения маркирующих уровней по смене видов брахиопод в филогенетической последовательности (Cocks et al., 1984). Например, выделенные в лландовери Уэльса уровни смены видов родов *Stricklandia* и *Eocoelia* распознаются и на Сибирской платформе. Для биостратиграфического расчленения верхнего силура Арктических островов и западного склона Урала использованы рубежи эволюционного развития представителей семейства Atyrididae (Модзалевская, 1985). Зональные остракодовые ассоциации на некоторых стратиграфических уровнях (руддан и телич Сибири, лудлов-пржидоли европейских регионов) датированы граптолитами, реже конодонтами, что повышает пространственную и хронологическую ценность межрегиональных корреляций.

Заключение

Большое значение для уточнения и обоснования границ биостратиграфических зон, подъярусов и ярусов имели активные международные исследования по динамике биоразнообразия и изучению биологических событий. Распознавание причинно-следственных связей событий и соответственно интеграция биотических (граптолиты, конодонты) и абиотических параметров сделали определение и корреляцию границ руддана, шейнвуда, гомера, горсти, лудфорда и пржидоли более обоснованными (Koren', 1987; Walliser, 1995; Melchin et al., 1998; Jeppsson, 1998). Существенно возросла роль седиментологических и геохимических исследований в пределах палеоконтинентов и палеобассейнов. Это привело к детальному изучению эвстатических изменений, построению кривых глобальных колебаний уровня моря и созданию палеогеографических реконструкций. Большое стимулирующее значение в исследованиях по этому направлению имели симпозиум и полевая сессия МПСС в Рочестере, США, в 1996 г. Изучение связи динамической стратиграфии с атмосферными, океаническими и тектоническими изменениями привело к более обоснованному выделению циклов силурийского седиментогенеза (Landing, Johnson, 1998, 2003). По уточненным данным в раннем силуре прослежено пять крупных и один менее значительный уровень высокого стояния моря, в позднем силуре — три крупных уровня высокого стояния уровня моря. Приблизительная амплитуда изменения уровня моря колеблется от 30 до 70 м. Две из показанных на рис. 7 кривых уровня моря основаны на карбонатных шельфовых фациях (Ross, Ross, 1996; Landing, Johnson, 1998), третья — на сланцевых глубоководных толщах (Loydell, 1998). Их некоторое расхождение скорее всего связано с неточностями корреляции двух типов магнофаций. В раннем силуре предполагается три эпизода оледенения (Johnson, 1996; Eriksson, Calner, 2005).

По разрезам силура практически на всех континентах проведены или проводятся детальные геохимические исследования с целью изучения соотношений изотопов кислорода, углерода и стронция. Особенно интересные результаты получены по пограничным отложениям ордовика и силура в Балтоскандии, Чехии, США (Невада) и Китае. Интерес к этому направлению исследований был отчетливо продемонстрирован на полевой сессии МПСС на о. Готланд в 2005 г. В многочисленных презентациях по хеомстратиграфии (приблизительно четверть всех докладов) была показана возможность использо-

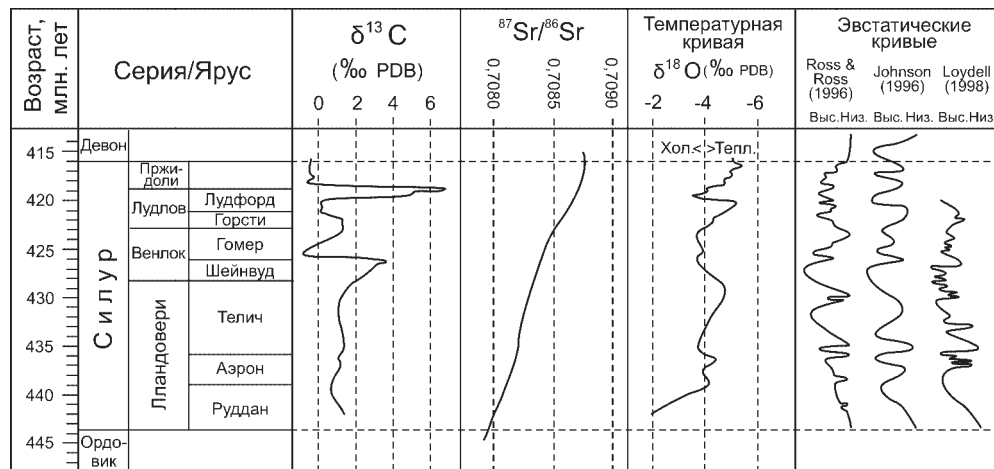


Рис. 7. Кривые, показывающие соотношение стабильных изотопов и колебания уровня моря для силурийского периода (Melchin et al., 2004).

вания позитивных изменений в соотношениях изотопов ^{13}C для корреляции венлокских отложений Невады, Оклахомы, Айовы, Теннесси, Огайо, Невады, Нью-Йорка в пределах палеоконтинента Лаврентия (Eriksson, Calner, 2005). Особенно это касается интервала событий *larpworthi*, *Ireviken* и *murchisoni* в пограничных слоях лландовери-венлока. Проведенные исследования привели к ревизии стратиграфии силура Аппалачского бассейна и межконтинентальной корреляции. По разрезам Балтоскандии установлены четыре пика изменения соотношения изотопов ^{13}C , увязанные с граптолитовыми зонами *D. triangulatus*, *M. riccartonensis*, *Col. ludensis*, *Ncl. kozlowskii*, которые используются для датировки отложений и корреляции разрезов (Eriksson, Calner, 2005). Значительные аномалии в содержании изотопов ^{13}C обнаружены в пограничных разрезах венлока и лудлова (события *Мульде* и *lundgreni*) Балтоскандии и запада Восточно – Европейской платформы. В силуре Арктической Канаде проведены хеостратиграфические исследования по разрезам руддана-нижнего телича (Eriksson, Calner, 2005). Полученные здесь кривые изотопов ^{13}C обнаруживают большое сходство с установленными в глобальном масштабе. Позитивные пики (нижний и верхний аэрон) соответствуют низкому стоянию уровня моря, событиям вымирания фауны, изменениям глобальной продуктивности и климата, эпохам рифообразования и интервалам отсутствия рифовых построек (верхний руддан, нижний аэрон и верхний телич). Детальные исследования на о. Готланд показали, по крайней мере, пять позитивных пиков соотношения изотопов ^{13}C , которые распознаются в глобальном масштабе (Eriksson, Calner, 2005). Геохимическое опробование верхнесилурийских разрезов в интервале событий *Лау* и *podoliensis* (лудфорд) было проведено в Пражском бассейне. Позитивный пик обнаружен в зоне *kozlowskii* (= *podoliensis*) и верхах зоны *siluricus* (Eriksson, Calner, 2005).

Многие из опубликованных в последние годы кривых изменений соотношений изотопов ^{18}O показывают сходную тенденцию незначительного уменьшения этих соотношения в течение силурийского периода (рис.7), как результат возможного глобального потепления климата (Melchin et al., 2004). Отчетливо прослеживаются позитивные пики в раннем и позднем аэроме и раннем венлоке, что связывается с эпизодами оледенения, следы которого найдены в Южной Америке (Landing, Johnson, 1998). Обнаруженные позитивные пики в позднем гомере и лудфорде соответствуют регрессиям, но без каких-

либо следов оледенения. Большинство данных, однако, известно только по разрезам Балтоскандии, поэтому рано говорить о глобальных трендах.

На 2006–2008 гг. МПСС планирует постановку проекта «Интегрированная силурийская стратиграфия», в котором основное внимание будет уделено интенсификации комплексных исследований. Предполагается, что эти исследования по проекту будут основываться на уточненных зональных схемах по различным группам ископаемых остатков, на секвенс- и циклостратиграфических построениях с учетом кривых изменений стабильных изотопов. Будут продолжены работы по изучению закономерностей изменения силурийской биоты с широким использованием всех групп в избранных непродолжительных стратиграфических интервалах, созданию палеогеографического атласа по палеоконтинентам и террейнам и составлению корреляционных схем силурийских отложений для крупных регионов.

Литература

- Корень Т.Н. 1986. Граптолиты // Токрауский горизонт верхнего силура. Серия Балхашский сегмент. Ред. И.Ф. Никитин, С.М. Бандалетов. Алма-Ата: Наука. С. 86–138.
- Модзалевская Т.Л. 1985. Брахиоподы силура и раннего девона европейской части СССР. М.: Наука. 129 с.
- Мяник П. 1999. Конодонты ордовика и силура // Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля. Ред.: Р.Г. Матухин, В.Вл. Меннер. Новосибирск: СНИИГГиМС. С. 110–119.
- Постановления МСК и его постоянных комиссий 1976. Ред.: Б.С. Соколов, В.Н. Верещагин. Л.: ВСЕГЕИ. Вып. 16. 88 с.
- Постановления МСК и его постоянных комиссий 2002./ А.И. Жамойда (ред.). СПб: ВСЕГЕИ. Вып. 33. 55 с.
- Aldridge R.J., Jeppsson, L., Dorning K.J. 1993. Early Silurian oceanic episodes and events // J. Geol. Soc. London. Vol. 150. P. 501–513.
- Bassett M.G. 1985. Towards a «Common Language» in stratigraphy // Episodes. No.8. P. 87–92.
- Bassett M.G., Cocks L.R.M., Holland C.H., Warren P.T. 1975. The type Wenlock Series // Inst. Geol. Sci. (London). Rep. No. 75/13. 19 p.
- Brett C., Baird G.C. (eds). 1997. Palaeontological events: Stratigraphic, ecological and evolutionary implications. N. Y. Columbia Univ. press. P. 92–451.
- Cocks L.R.M., Holland C.H., Rickards R.B., Strachan I. 1971. A correlation of Silurian rocks in the British Isles // J. Geol. Soc. London. Vol. 127. P. 103–136.
- Cocks L.R.M., Woodcock N.H., Rickards R.B. et al. 1984. The Llandovery Series of the type area // Bull. Brit. Mus. Nat. History (Geol.). Vol. 38. P. 131–182.
- De Permentier J., Verniers J. 2002. Chitinozoans from the global stratigraphical sections and points (GSSR) of the bases of the Aeronian and the Telichian (Llandovery) in Wales, UK // Abstr. Intern. C.I.M.P. Sympos. «Palaeozoic Palynology in the third Millenium». Lille. P. 16.
- Eriksson M.E., Calner M. (eds.). 2005. The Dynamic Silurian Earth // Field guide and Abstr. Subcomm. Silurian Stratigr. Field Meeting. 99 p.
- Geologic time scale 2004. / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith et. al. Cambridge Univ. Press. 500 p.
- Holland C.H., Bassett M.G. (eds.). 1989. A global standard for the Silurian System // Nat. Mus. Wales. Geol. Ser. (Cardiff). No. 9. 325 p.
- Jeppsson L. 1997. A new latest Telichian, Sheinwoodian and Early Homerian (Early Silurian) standard conodont zonation // Transact. Roy. Soc. Edinburgh. Earth Sci. Vol. 88. P. 91–114.
- Jeppsson L. 1998. Silurian oceanic events: summery of general characteristics // E. Landing, M.E. Johnson, eds. Silurian cycles: linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic and tectonic changes. N. Y. State Mus. Bull. Vol. 491. P. 57–239.
- Jeppsson L., Aldridge R.J., Dorning K.J. 1995. Wenlock (Silurian) oceanic episodes and events // J. Geol. Soc. London. Vol. 152. P. 487–498.

- Johnson M.E. 1996. Stable cratonic sequences and a standard for Silurian eustasy // B.J. Witzke, G.A. Ludvigson, J. Day (eds.). Paleozoic sequence stratigraphy; Views from the North American Craton. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. No. 306. P. 203–211.
- Koren' T.N. 1987. Graptolite dynamics in Silurian and Devonian time // Bull. Geol. Soc. Denmark. Vol. 35. P. 149–159.
- Koren' T.N., Lenz A., Loydell D.K. et al. 1996. Generalized graptolite zonal sequence defining Silurian time intervals for global paleogeographic studies // *Lethaia*. No. 29. P. 59–60.
- Koren' T.N., Suyarkova A.A. 1997. Late Ludlow and Pridoli monograptids from the Turkestan-Alai Mountains, South Tien Shan // *Palaeontographica*. Abt. A. Bd. 247. S. 59–90.
- Koren' T.N., Suyarkova A.A. 2004. The Ludlow (Upper Silurian) neocucullograptid fauna from the Southern Tien Shan, Kyrgyzstan // *Alcheringa*. No. 28. P. 333–387.
- Koren' T.N., Suyarkova A.A., Zagorodnykh V.A. 2005. Silurian graptolite succession of the Kaliningrad district, northwest Russia: new information from drill-cores // T. Koren', I. Evdokimova, T. Tolmacheva (eds.). The Sixth Baltic Stratigr. Conf., August 23–25, St. Petersburg: Abstracts. St. Petersburg. P. 53–56.
- Landing E., Johnson M.E., eds. 1998. Silurian cycles – linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic and tectonic changes // N. Y. State Mus. Bull. Vol. 491. 327 p.
- Landing E., Johnson M.E. eds. 2003. Silurian lands and seas: Paleontology outside of Laurentia. N. Y. State Mus. 400 p.
- Loydell D.K. 1991. The biostratigraphy and formational relationships of the upper Aeronian and lower Telychian (Llandovery, Silurian) formations of western mid-Wales // *Geol. J.* No. 26. P. 44–209.
- Loydell D.K. 1998. Early Silurian sea-level changes // *Geol. Mag.* Vol. 135. P. 447–471.
- Märss T., Fredholm D., Talimaa V. et. al. 1995. Silurian vertebrate biozonal scheme // *Geobios Mém. Spec.* No. 19. P. 369–372.
- Märss T., Miller C.G. 2004. Thelodonts and distribution of associated conodonts from the Llandovery – lowermost Lochkovian of the Welsh Borderland // *Palaeontology*. Vol. 47. Pt. 5 P. 1211–1266.
- Mabillard J.E., Aldridge R.J. 1985. Microfossil distribution across the base of the Wenlock Series in the type area // *Palaeontology*. Vol. 28. Pt. 1. P. 89–100.
- Martinsson A., Bassett M.G., Holland C.H. 1981. Ratification of standart chronostratigraphical divisions and stratotypes for the Silurian System // *Lethaia*. Vol. 14. P. 168.
- Melchin M., Cooper R.A., Sadler P.M. 2004. The Silurian System. F. Gradstein, J. Ogg, A. Smith. (eds.). A geologic time scale. Cambridge Univ. Press. P. 188–201.
- Melchin M.J., Koren' T.N., Storch P. 1998. Global diversity and survivorship patterns of Silurian graptolites // N. Y. State Mus. Bull. Vol. 491. P. 165–182.
- Melchin M.J., Williams S.H. 2000. A restudy of the akidograptine graptolites from Dob's Linn and a proposed redefined zonation of the Silurian stratotype: *Palaeontology Down Under 2000* // *Geol. Soc. Australia. Abstracts*. Vol. 61. 63 p.
- Mullins G.L. 2000. A chitinozoan morphological lineage and its importance in Lower Silurian stratigraphy // *Palaeontology*. Vol. 43. P. 359–373.
- Mullins G.L., Aldridge R.J. 2004. Chitinozoan biostratigraphy of the basal Wenlock Series (Silurian) Global Stratotype Section and point // *Palaeontology*. Vol. 44. P. 731–781.
- Mullins G.L., Loydell D.K. 2001. Integrated Silurian chitinozoans and graptolite biostratigraphy of the Banwy River section and Point // *Palaeontology*. Vol. 47. P. 745–773.
- Ross C.A., Ross J.R.P. 1996. Silurian sea-level fluctuation. // B. J. Witzke, G.A. Ludvigson, J. Day, eds. Paleozoic sequence stratigraphy; views from the North American Craton // *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. No. 306. P. 187–192.
- Silurian times. 1995. // *Newsletter Silurian Subcomm.* No. 2. 47 p.
- Verniers J. 1999. Calibration of Wenlock Chitinozoa versus graptolite biozonation in the Wenlock of Builth Wells district (Wales, U.K.), compared with other areas in Avalonia and Baltica // *Boll. Soc. paleontol. ital.* Vol. 38. P. 359–380.
- Verniers J., Nestor V., Paris F. et. al. 1995. A global Chitinozoa biozonation for the Silurian // *Geological Magazine*. Vol. 132. P. 651–666.

- Verniers J., Vandenbroucke T., Vanmeirhaeghe J. et al. 2003. A restudy of the chitinzoans of the Ordovician/Silurian GSSR at Dob's Linn, Scotland (UK) and correlation with other sections on Avalonia in northern England and Belgium // *INSUGEO. Ser. Correl. Geol.* No. 18. P. 179–181.
- Walliser O.H. 1964. Conodonten des Silurs // *Abh. des Hessischen Landesamtes Bodenforsch. Wiesbaden.* Bd. 41. S. 1–106.
- Walliser O.H., ed. 1995. *Global events and event stratigraphy in the Phanerozoic.* Berlin: Springer. P. 173–224.
- Williams S.H. 1983. The Ordovician-Silurian boundary graptolite fauna of Dob's Linn, southern Scotland // *Palaeontology.* Vol. 26. P. 605–639.