

ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.242.2 (470.5)

О ВРЕМЕНИ РАСКРЫТИЯ УРАЛЬСКОГО ПАЛЕООКЕАНА
(биостратиграфические и геохимические данные)

**В.Н. Смирнов, Г.Н. Бороздина, Л.И. Десятниченко*,
К.С. Иванов, Т.Ю. Медведева**, И.Ф. Фадеичева***

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620151, Екатеринбург, Почтовый пер., 7, Россия

** ФГУП „Уральская геологическая опытно-методическая экспедиция“,
620144, Екатеринбург, ул. Вайнера, 55, Россия*

*** Департамент государственного контроля в сфере природопользования по УрФО,
620144, Екатеринбург, ул. Вайнера, 55, Россия*

В процессе региональных геологических исследований Среднего Урала на основе находок руководящих форм конодонтов датированы осадочно-вулканогенные толщи западного склона, сформировавшиеся в условиях континентального рифтогенеза, эволюция которого в дальнейшем привела к разрыву континентальной плиты и зарождению океана, и развитые на восточном склоне Урала вулканические комплексы основания островной дуги, заложение которой свидетельствует о существовании зрелой океанической структуры. Таким образом, установлен достаточно узкий возрастной интервал, в пределах которого находится время раскрытия океана. Согласно полученным данным, формирование рифтогенных толеитовых вулкаников западного склона, непосредственно предшествовавшее разрыву континентальной коры и превращению континентального рифта в океанический, произошло не ранее среднеордовикской эпохи. Образование же островодужных вулканических комплексов восточного склона началось в позднем ордовике. Это позволяет сделать заключение, что раскрытие океана на Среднем Урале произошло на рубеже среднего и позднего ордовика.

Палеоокеан, континентальный рифтовый вулканизм, островодужный вулканизм, конодонты, возраст, ордовик, Урал.

**THE TIME OF OPENING OF THE URALIAN PALEO-OCEAN:
BIOSTRATIGRAPHIC AND GEOCHEMICAL DATA**

V.N. Smirnov, G.N. Borozdina, L.I. Desyatnichenko, K.S. Ivanov, T.Yu. Medvedeva, and I.F. Fadeicheva

In the course of regional geological surveys of the Central Urals guide conodonts were found. On the basis of these findings, we dated the volcanosedimentary deposits of the western slope formed under the conditions of continental rifting (leading ultimately to the rupture of the continental plate and to the birth of an ocean) and the volcanic complexes developed on the eastern slope of the Urals at the base of an island arc, whose origin suggests the existence of a mature oceanic structure. Thus, a sufficiently narrow age interval has been established to time the ocean opening. According to the data obtained, the rift-related tholeiitic volcanic rocks of the western slope had formed immediately before the continental crust was broken and the continental rift transformed into oceanic, as late as the Middle Ordovician. The island-arc volcanic complexes of the eastern slope began to form in the Late Ordovician. This implies that the paleo-ocean in the Central Urals opened at about the time of Middle-Late Ordovician transition.

Paleo-ocean, continental rift volcanism, island-arc volcanism, conodonts, age, Ordovician, Urals

ВВЕДЕНИЕ

Уральский подвижный пояс прошел полный цикл геодинамического развития от утонения и разрыва континентальной коры с образованием океанического бассейна до схождения континентальных плит и формирования эпиокеанического коллизионного орогена. По результатам исследований последних десятилетий были установлены основные этапы развития Урала и определены их временные рамки [1—6 и др.], однако некоторые важные для понимания истории геологического развития возрастные рубежи пока еще слабо обоснованы фактическим материалом и нуждаются в уточнении. К числу таких недостаточно изученных относится оценка времени раскрытия Уральского палеоокеана. Считается, что разрыв континентальной коры и превращение тем самым континентального рифта в океанический произошли на

протяжении ордовика [5—8 и др.]. Более точной оценки возраста этого события на территории Среднего Урала до настоящего времени не было, поскольку надежно датированных комплексов пород, океанический генезис которых не вызывал бы сомнений, здесь пока не установлено. В процессе региональных геологических исследований, проведенных авторами на протяжении последнего десятилетия в северной части Среднего Урала (бассейн верховьев рек Ляля и Тура и их притоков Ньясьма, Выя, Ис, Именная), удалось получить многочисленные новые данные о составе, возрасте и характере геологических взаимоотношений разных типов пород, позволяющие достаточно точно определить момент возникновения океанической структуры.

Изученный район (см. рис. 1) располагается в зоне сочленения двух принципиально различающихся по геологическому строению частей Урала, разделенных зоной Главного Уральского разлома (ГУР). Территория, расположенная к западу от ГУР, сложена осадочными и вулканогенными толщами, образование которых практически все исследователи в настоящее время связывают с завершающими стадиями континентального рифтогенеза, предшествовавшими разрыву континентальной плиты. Ассоциации пород, развитых к востоку от ГУР, представлены комплексами Платиноносного пояса Урала и Тагильской вулканогенной зоны. Формирование этих ассоциаций, по мнению большинства исследователей, было так или иначе связано с существованием палеозойской островной дуги, возникновение которой свидетельствует о наличии к этому времени достаточно зрелой океанической структуры. Анализ палеомагнитных данных показал, что направления меридианов в ордовике, установленные по осадочным породам западного склона Урала и вулканитам, которые слагают фрагмент островодужной постройки (Тагильская зона) в пределах восточного склона, одинаковы. Это позволяет предполагать, что они были связаны с одним и тем же океаническим бассейном, скорее всего, относительно небольшой ширины (500—1000 км) [9, 10]. В результате проведенных авторами исследований удалось датировать как осадочно-вулканогенные толщи западного склона, образование которых предшествовало зарождению океана, так и вулканические комплексы островной дуги, развитые в пределах восточного склона Урала, что позволило установить сравнительно узкий возрастной диапазон, в пределах которого находится время раскрытия океана.

КОНТИНЕНТАЛЬНО-РИФТОВЫЕ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ ТОЛЩИ ЗАПАДНОГО СКЛОНА

Согласно наиболее широко распространенным сейчас представлениям об истории развития Уральского подвижного пояса в рифейское и вендское время на территории современного западного склона (палеоконтинентального сектора) Урала протекали процессы ареального (рассеянного) континентального рифтогенеза. В конце кембрия—начале ордовика произошло образование единой общеуральской линейной континентально-рифтовой структуры, эволюция которой на протяжении ордовика привела к началу океанического спрединга [5, 8, 11, 12].

В изученном районе вулканогенно-осадочные толщи рифтогенного этапа представлены колпаковской, пальничнинской и вуйской свитами (рис. 1). Нижняя часть разреза (колпаковская, пальничнинская и базальные слои вуйской свиты) представлена преимущественно осадочными породами, метаморфизо-

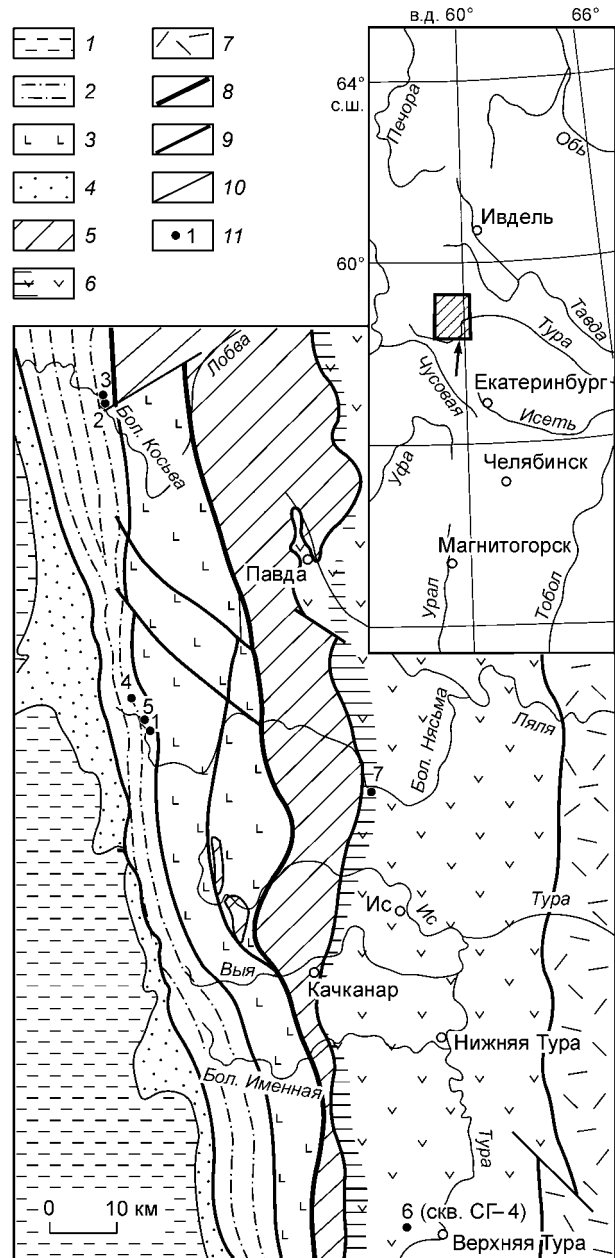
Химический состав некоторых типичных разновидностей вулканических пород, мас. %

Компонент	Вуйская свита				Кабанский комплекс					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	50,39	53,90	48,83	56,46	46,06	50,82	53,62	65,21	69,48	72,46
TiO ₂	0,88	1,12	1,24	0,84	1,23	1,32	1,40	0,80	0,53	0,23
Al ₂ O ₃	17,53	16,05	13,10	15,78	17,24	16,52	16,52	14,78	13,74	13,87
Fe ₂ O ₃	1,94	4,94	1,63	4,55	2,35	2,96	3,50	3,69	2,11	1,28
FeO	8,07	5,38	9,73	3,96	8,20	7,02	6,63	3,18	2,35	1,91
MnO	0,19	1,19	0,19	0,15	0,15	0,11	0,14	0,18	0,06	0,03
MgO	4,04	4,01	8,31	3,14	9,71	6,14	3,70	1,31	1,20	1,12
CaO	6,36	3,48	8,99	4,19	12,11	7,86	4,90	2,15	1,88	0,91
Na ₂ O	3,86	4,42	2,62	5,00	1,63	4,30	5,70	6,67	6,76	5,98
K ₂ O	1,52	1,08	0,09	0,81	0,29	0,16	0,24	0,14	0,13	0,72
P ₂ O ₅	0,15	0,29	0,09	0,24	—	—	0,16	0,22	0,16	0,05
П.п.п.	3,67	4,08	4,25	2,92	1,83	1,22	2,85	0,95	1,54	1,24
Сумма	98,60	98,94	99,07	98,04	100,80	98,43	99,36	99,28	99,94	99,80

Примечание. 1 — метатрахибазальт (гавайит), 2 — метатрахиандезибазальт (муджиерит), 3 — метабаза́лт (натриевый толеит) с реликтами спилитовидной структуры, 4 — метаандезибазальт натриевой толеитовой серии спилитовидный; 5 — долерит, 6 — базальт микропорфировый плагиоклазовый спилитовидный, 7 — андезибазальт афировый спилитовидный, 8 — дацит порфировый плагиоклазовый, 9 — риодацит порфировый плагиоклазовый, 10 — риолит порфировый плагиоклазовый.

Рис. 1. Схема геологического строения бассейна верховьев рек Ляля и Тура с точками находок руководящих групп фауны.

1 — вендские осадочные комплексы чехла Русской платформы; 2 — рифтогенные терригенные и терригенно-карбонатные толщи раннесреднеордовикского возраста (колпаковская и пальничнинская свиты); 3 — рифтогенные вулканогенно-осадочные толщи среднеордовикского возраста (выйская свита); 4 — позднеордовикско-силурийские осадочные комплексы шельфа пассивной окраины континента; 5 — блоки пород Платиноносного пояса Урала (дунит-клинопироксенит-габбровые массивы платиноносного типа и вмещающие их метавулканиды); 6, 7 — комплексы Тагильской вулканогенной зоны: 6 — вулканогенные толщи, ассоциирующие с ними интрузивные и осадочные породы барьерной зоны островной дуги (штриховка — участки развития пород кабанского комплекса), 7 — вулканиты задугового (вторично-спредингового) моря; 8 — плоскость Главного Уральского разлома (коллизийного шва); 9 — прочие разрывные нарушения; 10 — ненарушенные геологические границы; 11 — места сбора фаунистических остатков. На врезке — схема расположения изученного района.



ванными в зеленосланцевой фации (хлорит-слюдисто-кварцевыми и слюдисто-кварцевыми, иногда углеродистыми или известковистыми сланцами, слюдястыми кварцитопесчаниками и кварцитами с редкими линзами мраморизованных известняков). По гранулометрическому составу терригенные породы соответствуют главным образом металавролитам и метааргиллитам, значительно меньше распространены метапесчаники. Грубообломочные разновидности редки. Лишь в северной части района (р. Бол. Косьва) среди кварцитопесчаников колпаковской свиты присутствуют прослои мелко- и среднегалечниковых конгломератов прибрежно-морского генезиса. В значительном объеме конгломераты представлены также в составе козинской свиты — аналога колпаковской свиты в южной части Среднего Урала [13]. Это позволяет предполагать, что формирование изученного разреза началось на сравнительно небольшом удалении от береговой линии. В дальнейшем отложение осадочного материала происходило на значительном расстоянии от источников сноса, что свидетельствует об увеличении ширины рифтовой долины. Рифтогенные комплексы, образование которых предшествовало формированию изученных вулканогенно-осадочных толщ, на Среднем Урале не известны. На Южном Урале они представлены олистостромами и субщелочными эффузивами позднекембрийско-тремадокского возраста, отвечающими времени заложения рифтовой впадины [5, 13, 14].

В верхней части колпаковской свиты среди осадочных пород появляются прослои вулканитов, количество которых вверх по разрезу постепенно увеличивается. В выйской свите они становятся преобладающим типом пород. Среди вулканических образований резко преобладают базальтоиды (70—75 % объема вулканогенных толщ), в значительно меньшем количестве присутствуют породы среднего состава, крайне незначительно (не более 1—2 %) распространены кислые разновидности. По химическому составу они представлены преимущественно породами нормальной щелочности (таблица и рис. 2), на диаграмме AFM (рис. 3) располагающимися в поле толеитовой серии (около 80 % имеющихся анализов). Оставшиеся 20 % приходятся на долю пород субщелочного состава. Кроме того, некоторое, относительно небольшое, количество анализов отвечает породам известково-щелочной серии, не характерным для рифтогенных обстановок. Скорее всего, эти разновидности принадлежат линзам и блокам островодужных вулканитов, тектонически перемещенным с территории восточного склона в процессе коллизии.

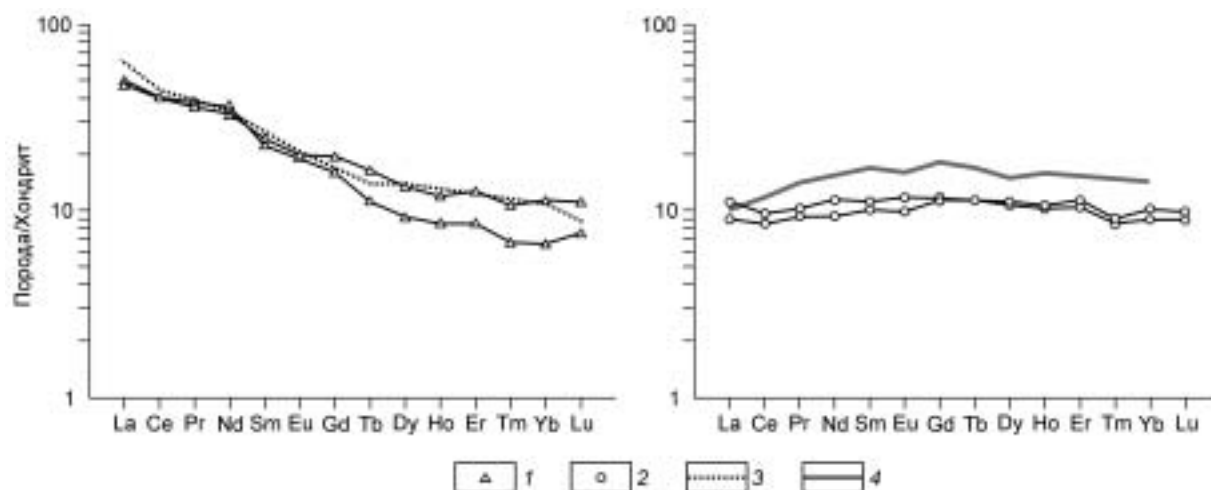


Рис. 4. Графики нормированного по хондриту распределения РЗЭ в базальтах выйского комплекса.

Толиты: 1 — калиево-натриевые, 2 — натриевые, 3 — вулканического центра Бойна, Афарская рифтовая впадина [19]; 4 — среднее содержание РЗЭ в базальтах срединно-океанических хребтов [20]. Анализы выполнены методом ICP-MS в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва).

базальтов выйской свиты содержаниями РЗЭ (90—95 г/т) и максимальной величиной La/Yb (6—11), по количеству и составу редких земель полностью аналогичны толеитам современных рифтовых структур, находящихся на стадии преобразования из континентальных в океанические, таких как Афарская рифтовая впадина (рис. 4). Сменяющие их в процессе эволюции вулканизма толеиты натриевого ряда при близком количестве тяжелых лантаноидов отличаются значительно более низким содержанием элементов легкой части спектра, что определяет субгоризонтальное положение графика распределения РЗЭ в этих породах (см. рис. 4). По уровню содержаний редкоземельных элементов (33—36 г/т) натриевые толеиты выйского комплекса сопоставимы с базальтами срединно-океанических хребтов, однако не имеют характерного для последних дефицита легких лантаноидов, наличие которого является наиболее надежным критерием отнесения базальтов к океаническому типу. По-видимому, эту разновидность базальтов следует рассматривать в качестве образований субокеанического типа, формирование которых было связано с периодом, непосредственно предшествовавшим раскрытию океана. Пород, полностью аналогичных по составу базальтам срединно-океанических хребтов, в составе выйского комплекса на изученной территории не обнаружено. Таким образом, время формирования выйской свиты можно рассматривать как нижний возрастной рубеж начала процесса раскрытия Уральского палеоокеана.

Вопрос о возрасте рифтогенных толщ пока окончательно не решен. Достаточно надежно датирована на основании находок фаунистических остатков только пальничнинская свита. В карбонатных породах верхней части разреза этой свиты (см. рис. 1, точка 1, правый берег р. Пальничная в 9 км выше ее устья) определены криноидеи *Bystrowicrinus ex gr. positus* (Yelt.), *Fascicrinus cf. flabellatus* Yelt. et Stuk., *Sokolovicrinus mirus* Milicina и цистоидеи *Hemicosmites* sp. карадокского яруса [13]. Позднее такой же фаунистический комплекс был собран в 40 км севернее (т. 2, правый берег р. Бол. Косьва в устье р. Мал. Косьва). Кроме того, в прослоях кремнистых алевролитов среди вулканогенных пород верхов пальничнинской свиты нами обнаружен комплекс конодонтов (*Periodon cf. aculeatus* (Hadding), *Oistodus aff. venustus* Stauffer, *Prioniodus* sp.), характеризующий возрастной интервал лланвирнский—карадокский ярусы среднего ордовика (т. 3, правый берег р. Бол. Косьва в 400 м ниже устья р. Фарковка). Конодонты *Falodus* sp. indet. этого же возраста удалось обнаружить также в прослое кремнистых алевролитов нижней части разреза (т. 4, вершина безымянной горки на правом берегу р. Пальничная в 8 км севернее горы Пальничной), а характерные для всего ордовика виды *Subcordylodus*(?) sp. и *Panderodus* sp. — в известняковом прослое из средней части разреза пальничнинской свиты (т. 5, правый берег р. Пальничная в 7 км выше ее устья). Перечисленные фаунистические находки свидетельствуют о среднеордовикском возрасте пальничнинской свиты, возраст же верхней части ее разреза, содержащей прослой известняков с криноидеями и цистоидеями, может быть определен более точно, как карадокский. Залегающие стратиграфически выше пальничнинской свиты вулканические толщи завершающих этапов рифтогенеза (войская свита) не имеют точной возрастной привязки, поэтому в качестве нижнего возрастного рубежа времени раскрытия палеоокеана следует принять возраст верхней части пальничнинской свиты, т. е. карадокский век среднего ордовика.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА СРЕДНЕГО УРАЛА

Территория восточного склона в пределах рассматриваемой части Урала сложена тремя сменяющимися друг друга в латеральном направлении ассоциациями пород. Непосредственно к востоку от зоны ГУР располагаются блоки Платиноносного пояса Урала (зональные дунит-клинопироксенит-габбровые массивы платиноносного типа и вмещающие их высокометаморфизованные вулканиты), которые одними исследователями трактуются как остатки палеозойской океанической рифтовой долины [8], другими — как фрагменты зоны субдукции, глубинных горизонтов или аккреционной призмы островной дуги этого же возраста [21—23]. Далее к востоку располагаются слабометаморфизованные преимущественно вулканогенные образования барьерной зоны островной дуги (западная часть Тагильской зоны) и задугового бассейна (восточная часть Тагильской зоны). Очевидно, что время заложения островной дуги надежно определяет верхний предел времени раскрытия океана, поскольку процессы субдукции и формирование островодужных построек становятся возможными только после образования достаточно зрелой океанической структуры. Таким образом, задача сводится к датировке вулканогенных толщ, слагающих основание островодужных построек. В изученном районе эти образования представлены породами кабанского базальт-риолитового комплекса (и одноименной свиты), протягивающимися в виде полосы шириной от 1 до 12 км вдоль западной границы Тагильской зоны (фронтальная часть палеодуги). Комплекс представляет собой контрастную ассоциацию вулканических пород основного и кислого состава (спилитовидные базальты, андезитбазальты, дациты и риодациты). По химическому составу вулканиты кабанского комплекса относятся к низкокалийевому типу пород известково-щелочной петрохимической серии (см. таблицу и рис. 3), типичному для ранней стадии развития островных дуг, чем они принципиально отличаются от рассмотренных выше рифтогенных образований западного склона, представленных субщелочными и толеитовыми разновидностями.

Возраст кабанского комплекса долгое время оставался проблематичным, однако в последние годы в пределах полосы распространения пород кабанской свиты удалось обнаружить руководящие формы конодонтов, позволяющие уверенно датировать эти образования. В пачке яшмоидов среди вулканитов верхней части свиты в опорном разрезе Уральской сверхглубокой скв. СГ-4 (см. рис. 1, т. 6) на глубине 5059,91 м нами обнаружен позднеордовикский комплекс конодонтов: *Paroistodus venustus* (Stauffer), *Dapsilodus* sp., *Panderodus* sp., *Hamarodus*(?) sp., *Drepanoistodus subrectus* Br. et Mehl, *Semiacoistodus* sp. В правом борту долины р. Бол. Нясьма в 20 км ниже пос. Верх. Ис (см. рис. 1, т. 7, в 500 м к югу от пересечения русла реки автомобильной дорогой, соединяющей газокompрессорную станцию „Нясьма“ с пос. Верх. Ис) в прослоях яшмоидов среди афировых базальтов нижней части свиты собран комплекс конодонтов: *Acodus* cf. *unicostatus* Br. et Br., *A.* cf. *curvatus* Br. et Br., *Paltodus* cf. *deboliti* Rexroad, *Drepanodus* sp., *Distacodus* sp., *Panderodus unicostatus* (Br. et Mehl), *P.* cf. *spasovi* Drygant, *P.* cf. *gracilis* (Br. et Mehl), *P.* cf. *recurvatus* (Br. et Mehl), *Oistodus* cf. *parallelus* Pander., *O.* cf. *venustus* Stauffer. Распространение присутствующих в этом списке видов *Oistodus parallelus* и *O. venustus* ограничено верхним ордовиком, все остальные виды, широко развитые в верхнем ордовике, переходят в нижний силур. Выявленные комплексы конодонтов и датировка перекрывающих рассматриваемые образования островодужных флишoidов павдинской свиты (средний лландовери—ранний венлок [24—26 и др.]) свидетельствуют о позднеордовикском или позднеордовикско-раннелландоверийском возрасте кабанской свиты и одноименного вулканического комплекса, который и должен быть принят в качестве верхнего возрастного рубежа при оценке времени раскрытия океана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отсутствие на Среднем Урале надежно датированных комплексов пород океанического генезиса существенно затрудняет определение времени существования Уральского палеоокеана. Установить момент возникновения палеоокеанической структуры в этом случае можно только на основе косвенных данных: по возрасту пород, образование которых происходило заведомо до и после начала океанического спрединга. Результаты проведенных авторами исследований позволили получить достаточно узкий возрастной интервал, в пределах которого находится время раскрытия океана. Согласно полученным данным, формирование толеитовых вулканитов западного склона, непосредственно предшествовавшее разрыву континентальной плиты и превращению континентального рифта в океанический, произошло не ранее карадокского яруса среднего ордовика. Образование же островодужных вулканических комплексов, свидетельствующее о существовании в это время достаточно зрелой океанической структуры, началось в позднем ордовике. Это позволяет заключить, что раскрытие палеоокеана на Среднем Урале произошло на рубеже среднего и позднего ордовика (возможно, в конце среднеордовикской или в начале позднеордовикской эпох).

Авторы выражают признательность В.А. Наседкиной, П. Мяннику, М.П. Снигиревой и В.М. Богоявленской за помощь в изучении конодонтов.

Исследования проводятся в рамках программы РАН „Центрально-Азиатский подвижный пояс: геодинамика и этапы формирования земной коры“ при частичной поддержке РФФИ (грант 05-05-64201) и программы „Научные школы“.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тектоника Урала** / А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечехин и др. М., Наука, 1977, 120 с.
2. **Перфильев А.С.** Формирование земной коры Уральской эвгеосинклинали. М., Наука, 1979, 188 с.
3. **Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С. и др.** Формирование земной коры Урала. М., Наука, 1986, 248 с.
4. **Иванов К.С.** Основные черты геологической истории (1,6—0,2 млрд лет) и строение Урала. Екатеринбург, Ин-т геологии и геохимии УРО РАН, 1998, 252 с.
5. **Пучков В.Н.** Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа, Даурия, 2000, 145 с.
6. **Добрецов Н.Л.** Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской складчатой области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 5—27.
7. **Иванов К.С.** Развитие Сакмарской зоны Южного Урала в ордовике (Уральскому палеоокеану 480 млн лет) // Докл. АН СССР, 1988, т. 299, № 2, с. 428—432.
8. **Семенов И.В.** Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург, УРО РАН, 2000, 362 с.
9. **Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С.** Реконструкция ордовикского Уральского океана на палеомагнитной основе // Геология и геофизика, 1992 (4), с. 17—22.
10. **Свяжина И.А., Пучков В.Н., Иванов К.С., Петров Г.А.** Палеомагнетизм ордовика Урала. Екатеринбург, УРО РАН, 2003, 133 с.
11. **Иванов С.Н.** О байкалидах Урала // Докл. АН СССР, 1977, т. 237, № 5, с. 1144—1147.
12. **Иванов С.Н.** О байкалидах Урала и Сибири // Геотектоника, 1981, № 5, с. 47—63.
13. **Стратиграфия и фауна ордовика Среднего Урала** / В.Г. Варганов, Н.Я. Анцигин, В.А. Наседкина и др. М., Недра, 1973, 228 с.
14. **Иванов К.С., Пучков В.Н.** Геология Сакмарской зоны Урала (новые данные). Свердловск, УНЦ АН СССР, 1984, 87 с.
15. **Бочкарев В.В., Язева Р.Г.** Субщелочной магматизм Урала. Екатеринбург, УРО РАН, 2000, 256 с.
16. **Каретин Ю.С.** Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Екатеринбург, УРО РАН, 2000, 277 с.
17. **Разваляев А.В., Поникаров В.П.** Эволюция земной коры в областях активного континентального рифтогенеза // Геотектоника, 1980, № 3, с. 3—15.
18. **Казьмин В.Г.** Рифтовые структуры Восточной Африки — раскол континента и зарождение океана. М., Наука, 1987, 205 с.
19. **Barberi F., Ferrara G., Santacroce R. et al.** A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallization, the Boina center (Afar rift, Ethiopia) // J. Petrol., 1975, v. 16, № 1, p. 22—56.
20. **Балашов Ю.А.** Геохимия редкоземельных элементов. М., Наука, 1976, 267 с.
21. **Ефимов А.А.** Платиноносный пояс Урала: тектонометаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечественная геология, 1999, № 3, с. 31—39.
22. **Иванов К.С., Шмелев В.Р.** Платиноносный пояс Урала — магматический след раннепалеозойской зоны субдукции // Докл. РАН, 1996, т. 347, № 5, с. 649—652.
23. **Язева Р.Г., Бочкарев В.В.** Платиноносный пояс Урала и Тагильская палеодуга: соотношение магматизма и геодинамики // Геотектоника, 2003, № 2, с. 75—86.
24. **Дианова Т.В.** Вулканогенные горные породы восточной части Павдинского района // Материалы по петрографии и геологии главной (западной) вулканогенной зоны восточного склона Среднего Урала. Свердловск, УФ АН СССР, 1958, с. 3—139.
25. **Бороздина Г.Н., Иванов К.С., Петров Г.А.** Новые данные по биостратиграфии района Уральской сверхглубокой скважины // Ежегодник-1996 Ин-та геологии и геохимии УРО РАН. Екатеринбург, ИГТ УРО РАН, 1997, с. 7—9.
26. **Иванов К.С., Снигирева М.П.** Биостратиграфия и палеогеография позднеордовикско-силурийских островодужных комплексов Тагильской мегазоны Урала по данным бурения Уральской сверхглубокой скважины СГ-4 // Палеогеография венда—раннего палеозоя Северной Евразии. Екатеринбург, УРО РАН, 1998, с. 203—216.