

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА СВЯЗИ МЕЛОВОГО АНОКСИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ С ВУЛКАНИЗМОМ В ПОРОДАХ СМАГИНСКОГО КОМПЛЕКСА П-ОВА КАМЧАТСКИЙ МЫС

Д.П. Савельев, О.Л. Савельева, Е.В. Карташева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006,  
e-mail: savelyev@kscnet.ru*

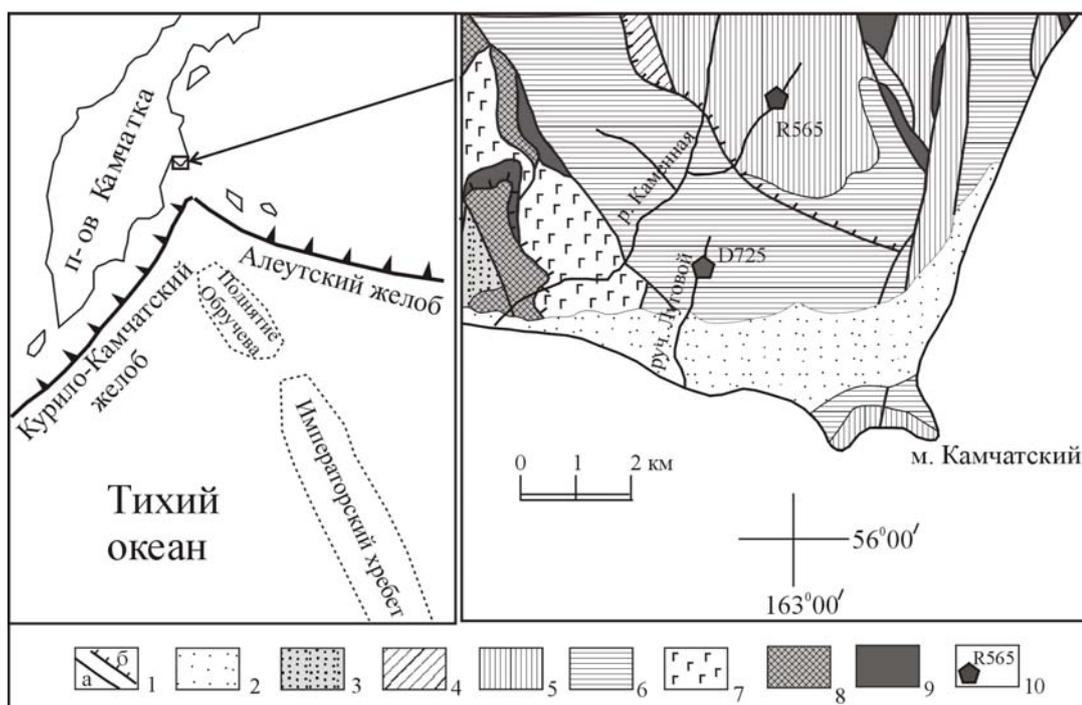
### Введение

Океанские аноксические события (oceanic anoxic events – OAE) являются одной из важных черт, отражающих характер осадконакопления в океанах в юрско-меловое время. В пелагических осадках Тетиса и Палеопацифики они фиксируются появлением на определенных стратиграфических уровнях прослоев черных сланцев или обогащением отдельных горизонтов органическим веществом. Сохранность органического вещества в осадках связана с обеднением кислородом либо придонной воды, либо слоя кислородного минимума в толще воды. Временные интервалы, когда такие условия возникают на большей площади океанов Земли, достаточно кратковременны, именно эти события и называются OAE. Наиболее детально меловые OAE изучены в разрезах Средиземноморской области [напр., 20, 21], они зафиксированы в скважинах глубоководного бурения (материалы ODP и DSDP). Менее изучены признаки OAE в обрамлении Пацифики. Ближайшие к нашему региону разрезы меловых отложений с обогащенными органикой горизонтами известны в Японии [25, 33], на Сахалине [24], а также по данным DSDP на возвышенности Шатского [22]. На Камчатке отложения, фиксирующие одно или два меловых OAE, обнаружены только в смагинском комплексе п-ова Камчатский Мыс [12].

Возникновение OAE обычно связывается с повышением биопродуктивности планктона [3, 19, 27] или существованием застойных аноксических условий на дне водоема. Для открытых океанических бассейнов наиболее вероятна первая причина. В свою очередь, вспышки биопродуктивности могут быть вызваны разными причинами – резким повышением сноса питательных веществ с прилегающей суши [3], климатическими колебаниями [19], апвеллингом глубинных вод, богатых питательными веществами, связанным с вулканической деятельностью [27]. В нашей статье мы обсуждаем геохимические данные, характеризующие меловой палеоокеанический комплекс п-ова Камчатский Мыс и свидетельствующие о непосредственной связи одного из меловых OAE с вулканической деятельностью.

### Исходные данные

В южной части п-ова Камчатский Мыс развиты образования офиолитовой ассоциации мелового возраста [2, 4, 18]. Они включают гипербазиты, габбро, долериты, базальты и вулканогенно-осадочные породы (Рис.1). Вулканокластические, туфогенные и кремнистые отложения, пакеты яшм и известняков с потоками базальтов объединены в смагинскую свиту [2, 4, 17]. Возраст свиты определен как альб-сеноманский по комплексам радиолярий, выделенных из яшм [2, 4, 6]. Некоторые исследователи считают, что палеоокеанические образования (яшмы, известняки, базальты типа MORB и OIB, гиалокластиты) представляют собой олистолиты и тектонические пластины в туфокремнистом матрице более молодого, сантон-кампанского возраста [7, 16, 18]. Поэтому смагинские образования следует называть более общим термином «комплекс», а не «свита». Пакеты ритмичного переслаивания яшм и известняков в ассоциации с подушечными базальтами сформировались на подводной вулканической возвышенности [18].



**Рис. 1.** Геологическая схема участка работ по [2]. 1 – разрывные нарушения (а – недифференцированные, б – надвиги); 2 – рыхлые четвертичные отложения различного генезиса; 3 – морские плиоцен-эоплейстоценовые отложения ольховской свиты; 4 – терригенные турон-кампанские отложения пикежской свиты; 5, 6 – альб-сеноманские отложения смагинской свиты (5 – нижней подсвиты, 6 – верхней подсвиты); 7 – подушечные базальты; 8 – долериты и габбро ранне-мелового комплекса; 9 – гипербазиты и серпентинитовый меланж; 10 – точки опробования пород (R565 – опробованный разрез карбонатно-кремнистых пород с прослоями углей).

Состав базальтов свидетельствует, что формирование данной возвышенности было связано с деятельностью мантийного плюма [10, 11].

Нами был детально описан разрез одного из карбонатно-кремнистых пакетов смагинского комплекса в верхнем течении левого притока р. Каменной (точка R565,  $56^{\circ}03'.353$  с.ш.,  $163^{\circ}00'.376$  в.д.). Отложения представлены ритмичным переслаиванием красно-бурых радиоляриевых яшм и розовых известняков. Разрез содержит два тонких прослоя пород, обогащенных органическим веществом. По соотношению органических и минеральных веществ один из этих прослоев соответствует горючим сланцам (зольность 46 %), а другой – сапропелевым углям (зольность 27%). Углистые породы были опробованы также в двух других обнажениях: одно – на том же левом притоке р. Каменной, другое – на ручье Луговом, также в разрезе кремнисто-карбонатных пород (точка D725). Высокая доля водорода в керогене свидетельствует о происхождении этих углей и горючих сланцев из фитопланктона [12]. Опробованная нами слоистая пачка яшм и известняков смята в изоклиналильные складки. Интервал, заключенный между двумя углистыми прослоями, содержит около 50 ритмов (яшма+известняк), детальное описание разреза приведено в работе [13]. Разрез был опробован послойно – в пробу отбирался отдельно образец из каждого слоя яшмы и кремнистого известняка.

### Методы исследования

Из части отобранных образцов были изготовлены прозрачные шлифы, а из углистых прослоев – аншлифы. В шлифах в известняках и яшмах аллотигенных обломков не выявлено, наблюдались скелеты радиолярий, незначительная примесь глинистого вещества и гидроокислов железа, тончайшие микропрослои, сложенные гидроокислами железа и марганца. В аншлифах углистых пород наблюдалась алевритовая примесь, в составе обломков определен кварц (видимо, остатки перекристаллизованных скелетов

радиолярий), апатит (детрит костей рыб), угловатые обломки цветного силиката, видимо, клинопироксена.

Часть проб яшм и кремнистых известняков была растворена для извлечения объемных форм радиолярий с целью уточнения возрастного интервала. Удалось выделить хорошие комплексы, результаты определений будут представлены в отдельной публикации (Т.Н. Палечек и др.). В нерастворимом остатке в пробе из кремнистого прослоя, близкого к слою углей, отмечен пирит. Примеси кристаллокластов, так же как и в шлифах, выявлено не было.

Пробы массой 50-150 г были издроблены до размера частиц 5 мм и затем истерты до пудры. Пробы из углистых прослоев были затем озолены в Химической лаборатории ОАО «Камчатгеология». Содержание петрогенных окислов и примесных элементов в 19 пробах было определено в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе «S4 PIONEER». В трех пробах яшм методом ISP-MS было определено содержание редкоземельных элементов в Аналитическом центре ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). В 6 пробах известняков было определено соотношение изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  (в валовых пробах) (лаборатория ГИН РАН, аналитик Б.Г. Покровский).

### Результаты исследования

Усредненные результаты геохимических исследований представлены в табл. 1, а содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в яшмах приведены в табл. 2.

**Таблица 1.** Средний химический состав пород изученного разреза и средние содержания микроэлементов в них

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
зола углей	46.9	0.83	10.14	15.56	0.33	9.6	3.66	0.67	3.23	1.02	2.92
яшмы	62.3	0.11	1.67	3.13	0.13	18.2	0.76	0.08	0.57	0.11	0.02
известняки	16.0	0.09	1.40	2.75	0.23	43.3	0.53	0.06	0.53	0.21	0.03

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Mo	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	U
зола углей	5735	426	1651	1700	4266	326	139	321	266	208	11	17367	94	122
яшмы	20	242	15	55	32	0	16	72	28	17	1	135	8	0
известняки	29	33	19	39	67	2	17	247	42	10	4	65	2	0

Примечание. FeO\*=FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, содержания петрогенных окислов и серы приведены в масс. %, микроэлементов – в г/т.

**Таблица 2.** Содержания редкоземельных элементов в яшмах смагинского комплекса г/т

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
R-565-28	9.3	4.1	2.1	8.1	1.7	0.4	1.8	0.3	1.7	0.4	1.0	0.1	0.8	0.1
R-565-47	14.6	8.2	3.5	14.0	3.1	0.7	3.1	0.5	2.7	0.5	1.5	0.2	1.3	0.2
R-565-97	33.8	19.7	11.9	49.8	12.0	2.7	11.1	1.7	8.9	1.7	4.3	0.6	3.8	0.5

Содержания SiO<sub>2</sub> и CaO в известняках и яшмах показывают, что яшмы насыщены карбонатным материалом (кроме слоев, непосредственно подстилающих верхний пласт углей; анализ, сделанный по одному из них, исключен из таблицы при усреднении, поскольку на его характеристики влияет близость углей), а известняки являются в значительной мере кремнистыми. Невысокое содержание остальных петрогенных окислов в известняках и яшмах подтверждает сделанный по шлифам вывод об отсутствии значимой аллотигенной примеси. В отличие от них, минеральная составляющая (зола) углей и горючих сланцев значительно обогащена как петрогенными окислами (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO\* (FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), так и микроэлементами, по которым контраст-

ность составов еще нагляднее. Содержания V, Ni, Cu, Zn, Ba, Zr, Mo, Y, As, Cr, U в золе углей в 10-100 раз превышают содержания этих элементов в яшмах и известняках изученного разреза (за исключением слоев, непосредственно примыкающих к углистым прослоям). Концентрации некоторых рудных элементов (V, Ni, Cu, Zn) достигают в золе углей десятых долей процента ( $n \times 1000$  г/т). Возможные причины такой геохимической аномалии рассмотрены при обсуждении результатов исследования.

### **Обсуждение результатов**

Петрогенные окислы. Содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$  в яшмах и кремнистых известняках зависит от соотношения биогенных кремненакопления и карбонатакопления в результате отложения скелетов радиолярий и наннопланктона. Колебания содержаний этих окислов по разрезу связаны с первичным ритмичным осадконакоплением, вызванным колебаниями климата [13]. В углистых прослоях карбонаты почти отсутствуют, поэтому кальций связан, видимо, в силикатных минералах.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  имеют очень низкие концентрации в морской воде. В осадочных породах они имеют в основном обломочное происхождение и могут поступать в осадок из двух источников: 1) терригенный континентальный снос – речной или эоловый, 2) вулканогенный. В изученном разрезе содержание этих окислов распределено очень контрастно. Яшмы и известняки содержат 0.5-2.5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 0.05-0.17%  $\text{TiO}_2$ , эти окислы заключены, видимо, в глинистой примеси в породах, их низкое содержание говорит об отсутствии или очень слабом влиянии терригенного сноса. В то же время, зола углистых прослоев имеет содержания этих окислов 8-12% и 0.6-0.9% соответственно. Такое контрастное обогащение отдельных прослоев не характерно для терригенного осадконакопления. Терригенные обломки, поступающие в океан, могут разноситься на тысячи километров и достигать подножия срединно-океанического хребта, но они обычно более или менее равномерно распределены по разрезу, и обогащение отдельных прослоев носит скорее статистический характер и выражено в различии гранулометрии обломков. Учитывая образование изученной нами ассоциации на подводной возвышенности, резко контрастное обогащение углистых прослоев  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  можно связать с кратковременными вспышками вулканической деятельности.

Содержания  $\text{MgO}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  обычно также связывают с обломочной примесью в осадках [30, 32]. Однако, в связи с достаточно высоким содержанием ионов Mg и K в морской воде, их извлечение и концентрация в осадке могут быть связаны с деятельностью планктонных микроорганизмов. Эту возможность подтверждает состав сухого вещества современного океанского фитопланктона (12000 г/т K и 8000 г/т Mg) [14] и состав минеральных компонентов современных водорослей (3.9% K и 0.83% Mg) [8]. Поэтому обогащение окислами калия и магния углистых прослоев может быть связано с двумя источниками – вулканогенным и органическим.

Достаточно однозначно органический источник имеет аномалия  $\text{P}_2\text{O}_5$  [32]. Это подтверждается и петрографическим изучением углей в аншлифах: вытянутые, без кристаллографических очертаний образования фосфата (заверенные микронзондовым анализом) являются, видимо, костным детритом. Повышенная биопродуктивность планктона также является причиной высокой концентрации фосфора в осадке [32].

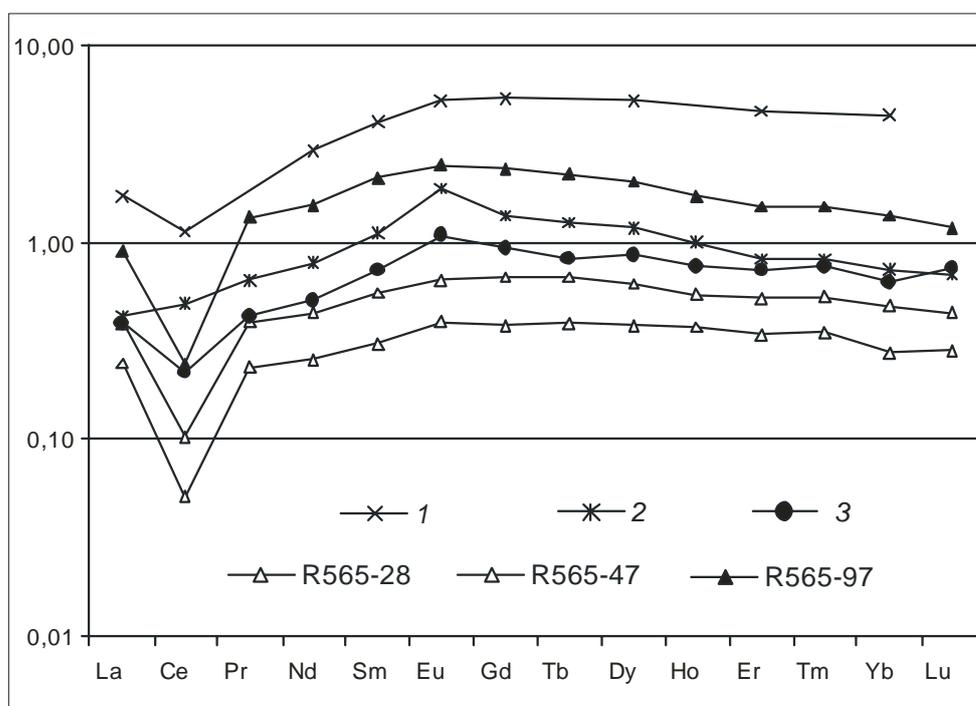
Обогащение железом осадка может происходить в результате нескольких процессов. Кроме вулканогенного источника, важную роль могут играть гидротермальный и гидрогенный [9, 34]. Важную роль в осаждении железа играют окислительно-восстановительные условия, поэтому повышенные концентрации  $\text{FeO}$  в углистых прослоях могут быть вызваны связыванием железа в пирите в условиях недостатка кислорода при ОАЕ.

Микроэлементы. Из микроэлементов достаточно однозначно связаны с обломочным источником Nb, Gf и Zr [30]. В изученном нами разрезе зола углистых прослоев в 10-20 раз обогащена Zr по сравнению с известняками и яшмами, что подтверждает вы-

воды о синхронных угленакоплению кратковременных вспышках вулканической активности, сделанные по аномалиям  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$ . Nb в яшмах и известняках наблюдается на пределе порога чувствительности метода или ниже, поэтому сложно оценить количественно его аномалии в углистых прослоях, однако их наличие фиксируется. Это позволяет сделать вывод о геохимических особенностях вулканогенной примеси – скорее всего, она имеет внутриокеанический источник, а не островодужный, поскольку островодужная пирокластика обеднена Nb.

Обогащение осадка некоторыми микроэлементами связано непосредственно с жизнедеятельностью планктона. Элемент, указывающий на высокую биопродуктивность – Ва [34]. В наиболее богатом органическим веществом прослое изученного нами разреза содержание бария в золе 56000 г/т, что говорит о сверхвысокой биопродуктивности фитопланктона, которая и привела к накоплению сапропелевого ила, превратившегося в сапропелевый уголь.

К элементам, которые попадают в осадок главным образом с органическим веществом, относятся Ni, Cu, Zn [34]. Показательно, что именно эти элементы и наблюдаются в золе углистых прослоев в концентрациях, на два порядка превышающих их содержания в известняках и яшмах. Аноксические условия способствовали их закреплению в осадке [34].



**Рис 2.** Спектры редкоземельных элементов в яшмах смагинского комплекса.

Нормирование всех анализов выполнено по PAAS [15]. 1 – радиоляриевые илы из экваториальной зоны Тихого океана [23], 2 – Гавайский толеитовый базальт (стандарт BHVO-1), содержания РЗЭ взяты из [5], 3 – современные карбонатные илы из экваториальной зоны Тихого океана [5], R565-28, R565-47, R565-97 – яшмы смагинского комплекса, номера соответствуют табл. 2, залитые треугольники (R565-97) – кремнистая порода вблизи прослоя сапропелевых углей.

U, V и Mo чувствительны к окислительно-восстановительным условиям – они накапливаются в осадке в условиях обеднения кислородом [34]. Поэтому высокие концентрации этих элементов в углистых прослоях можно объяснить аутигенным обогащением осадка в аноксических условиях.

Содержания редкоземельных элементов определены нами пока только в трех образцах – двух красных яшмах из середины разреза и серой кремнистой породы, близкой к верхнему пласту углей (табл. 2, рис. 2).

В осадочных породах содержания РЗЭ в значительной степени контролируются аллотигенной обломочной примесью, также они тесно связаны с фосфатом костного детрита рыб [30]. Яшмы имеют спектры распределения РЗЭ, характеризующиеся Се минимумом и обогащением тяжелыми и промежуточными редкоземельными элементами (рис. 2) (нормирование выполнено на PAAS – постархейский средний глинистый сланец Австралии [15]). Сходный спектр имеют пелагические радиоляриевые илы из экваториальной зоны Тихого океана [23] (рис. 2). Это подтверждает сделанный ранее вывод об удаленности и изолированности области осадконакопления от источников терригенного материала. Спектр образца, отобранного вблизи верхнего слоя углей (рис. 2, проба R565-97), отличается большим содержанием редкоземельных элементов и несколько более сильным обогащением промежуточными редкими землями. Возможное объяснение этого явления – влияние внутриплитного вулканизма. Подобное влияние установлено для современных донных карбонатных илов вблизи Гавайских о-вов [1, 5]. Эти осадки наследуют повышенную роль промежуточных редких земель (особенно Eu) от состава базальтов Гавайских вулканов (рис. 2).

Итак, обогащение некоторыми элементами углистых прослоев связано непосредственно с вулканогенной примесью, а другие элементы накапливаются в углях из-за аноксических условий и повышенной биопродуктивности планктона. Но сами вспышки биопродуктивности планктона и, как следствие, эпизоды аноксии, могут быть вызваны интенсивной вулканической деятельностью. Косвенно об этом свидетельствует изменение изотопного состава известняков. Розовые известняки из середины разреза характеризуются достаточно высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (2.5-2.9‰), что обычно для интервалов ОАЕ в целом [напр., 33]. Наряду с этим, в известняке, непосредственно контактирующем с нижним углистым прослоем, наблюдается отрицательный сдвиг ( $\delta^{13}\text{C} = 1.9\%$ ), а в кремнисто-карбонатных линзах внутри углистого пласта из другого разреза наблюдается еще более резкий сдвиг ( $\delta^{13}\text{C} = -0.3\%$ ). Такие кратковременные негативные экскурсии на фоне позитивных зафиксированы в связи с некоторыми ОАЕ во многих разрезах земного шара [28]. Отрицательные сдвиги происходят синхронно и вызваны глобальными изменениями изотопного состава углерода в поверхностном слое морской воды. Наиболее вероятной причиной таких резких изменений являются вспышки вулканизма при формировании крупных магматических провинций, приводящие к выделению огромного количества изотопно легкого  $\text{CO}_2$  из базальтовых магм в гидросферу и атмосферу [26]. Кроме того, излияния базальтов вызывали усиление теплового потока, что способствовало подъему к поверхности океана глубинных вод, богатых изотопно легким углеродом и питательными микроэлементами [31]. Это, в свою очередь, вызывало увеличение биопродуктивности фитопланктона [27]. В нашем случае, учитывая петрографические и геохимические данные, вспышки биопродуктивности планктона и образование прослоев, обогащенных органикой, связаны скорее с местными вспышками вулканизма. В составе смагинского комплекса этот факт зафиксирован присутствием редких потоков базальтов и постоянной ассоциацией кремнисто-карбонатных пакетов с железистыми аргиллитами (гиалокластитамы по М.Ю. Хотину [17]). Возможно, именно примесь местного гиалокластического, а не удаленного пирокластического материала фиксируется в углистых прослоях. Но следы ОАЕ фиксируются по всему миру на одних и тех же стратиграфических рубежах (наши прослои соответствуют событиям сеноманского времени, Т.Н. Палечек, устная информация). Можно предположить, что местные эпизоды вулканической активности синхронизированы с активностью мантийных плюмов в других регионах. ОАЕ на границе сеноманского и туронского ярусов (ОАЕ 2) обычно связывают с вулканической активностью в Карибской области [29]. В целом этот массовый, но импульсный вулканизм инициирует климатические изменения, биотические кризисы и океанские аноксические события [26]. Причинами таких синхронизированных по всей Земле вспышек могут быть глубинные мантийные процессы или астрономические явления.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН (№ 06-III-A-08-333) и РФФИ № 07-05-00080, а также Российско-Германского проекта KALMAR.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойко Т.Ф., Лисицына Н.А., Бутузова Г.Ю.* Редкоземельные элементы и литолого-фациальная зональность океанских осадков (транстихоокеанский профиль). Сообщение 1. Зональность распределения редкоземельных элементов в осадках // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 3. С. 3-13.
2. *Бояринова М.Е.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист 0-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2007.
3. *Гаврилов Ю.О., Копачевич Л.Ф.* О геохимических, биохимических и биотических следствиях эвстатических колебаний // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1996. Т. 4. № 4. С. 3-14.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист 0-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
5. *Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане / Под ред. И.И. Волкова. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука, 2006. 310 с.
6. *Зинкевич В.П., Казимиров А.Д., Пейве А.А. и др.* Новые данные о тектоническом строении полуострова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285. № 4. С. 954-958.
7. *Зинкевич В.П., Константиновская Е.А., Цуканов Н.В. и др.* Аккреционная тектоника Восточной Камчатки. М.: Наука, 1993. 272 с.
8. *Кизильштейн Л.Я.* Геохимия и термохимия углей. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2006. 288 с.
9. Кобальтбогатые руды Мирового океана / Министерство Природных ресурсов Российской Федерации, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 167 с.
10. *Портнягин М.В., Савельев Д.П., Хёрнле К.* Плюмовая ассоциация меловых океанических базальтов Восточной Камчатки: особенности состава шпинели и родоначальных магм // Петрология. 2005. Т. 13. № 6. С. 626–645.
11. *Савельев Д.П.* Внутриплитные щелочные базальты в меловом аккреционном комплексе Камчатского полуострова (Восточная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 14-20.
12. *Савельев Д.П., Ландер А.В., Пронина Н.В., Савельева О.Л.* Первая находка углистых пород в меловых палеоокеанических комплексах Восточной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2 (Выпуск 10). С. 102-104.
13. *Савельева О.Л.* Альб-сеноманская карбонатно-кремнистая ассоциация Восточной Камчатки: влияние климата на седиментацию // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 5. С. 3-7.
14. *Савенко В.С.* Элементарный химический состав океанского планктона // Геохимия. 1988. № 8. С. 1084-1089.
15. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
16. *Федорчук А.В., Вишневецкая А.С., Извеков И.Н., Румянцева Ю.С.* Новые данные о строении и возрасте кремнисто-вулканогенных пород полуострова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1989. № 11. С. 27-33.
17. *Хотин М.Ю.* Эффузивно-туфово-кремнистая формация Камчатского Мыса. М.: Наука, 1976. (Труды ГИН; Вып. 281). 196 с.
18. *Хотин М.Ю., Шапиро М.Н.* Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования // Геотектоника. 2006. № 4. С. 61-89.
19. *Bellanca A., Claps M., Erba E. et al.* Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian-Cenomanian Cison section (Venetian region, northern Italy): sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1996. V. 126. P. 227-260.

20. *Bersezio R., Erba E., Gorza M., Riva A.* Berriasian-Aptian black shales of the Maiolica formation (Lombardian Basin, Southern Alps, Northern Italy): local to global events // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 180. P. 253-275.
21. *Coccioni R., Galeotti S.* The mid-Cenomanian Event: prelude to OAE 2 // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 190. P. 427-440.
22. *Dumitrescu M., Brassell S.C.* Compositional and isotopic characteristics of organic matter for the early Aptian Oceanic Anoxic Event at Shatsky Rise, ODP Leg 198 // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2006. V. 235. P. 168-191.
23. *Elderfield H., Hawkesworth C.J., Greaves M.J.* Rare earth element geochemistry of oceanic ferromanganese nodules and associated sediments // *Geochimica et Cosmochimica acta*. 1981. V. 45. № 4. P. 513-528.
24. *Hasegawa T., Pratt L.M., Maeda H. et al.* Upper Cretaceous stable carbon isotope stratigraphy of terrestrial organic matter from Sakhalin, Russian Far East: a proxy for the isotopic composition of paleoatmospheric CO<sub>2</sub> // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 189. P. 97-115.
25. *Hasegawa, T.* Cenomanian-Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1997. V. 130. P. 251-273.
26. *Kuroda J., Ogawa N.O., Tanimizu M. et al.* Contemporaneous massive subaerial volcanism and late cretaceous Oceanic Anoxic Event 2 // *Earth and Planetary Science Letters*. 2007. V. 256. P. 211-223.
27. *Larson R.L., Erba E.* Onset of the mid-Cretaceous greenhouse in the Barremian–Aptian: Igneous events and the biological, sedimentary, and geochemical responses // *Paleoceanography*. 1999. V. 14. P. 663-78.
28. *Menegatti A.P., Weissert H.* High-resolution  $\delta^{13}\text{C}$  stratigraphy through the early Aptian «Livello Selli» of the Alpine Tethys // *Paleoceanography*. 1998. V. 13. № 5. P. 530-545.
29. *Orth Ch.J., Attrep Jr.M., Quintana L.R. et al.* Elemental abundance anomalies in the late Cenomanian extinction interval: a search for the source(s) // *Earth and Planetary Science Letters*. 1993. V. 117. P. 189-204.
30. *Plank T., Langmuir Ch.H.* The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // *Chemical Geology*. 1998. V. 145. P. 325-394.
31. *Price G.D.* New constraints upon isotope variation during the early Cretaceous (Barremian–Cenomanian) from the Pacific Ocean // *Geol. Mag.* 2003. V. 140(5). P. 513–522.
32. *Rachold V., Brumsack H.-J.* Inorganic geochemistry of Albian sediments from the Lower Saxony Basin NW Germany: palaeoenvironmental constraints and orbital cycles // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2001. V. 174. P. 121-143.
33. *Takashima R., Kawabe F., Nishi H., Moriya K., Wani R., Ando H.* Geology and stratigraphy of forearc basin sediments in Hokkaido, Japan: Cretaceous environmental events on the north-west Pacific margin // *Cretaceous Research*. 2004. V. 25. P. 365-390.
34. *Tribouillard N., Algeo T.J., Lyons T., Riboulleau A.* Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update // *Chemical Geology*. 2006. V. 232. P. 12-32.

## **GEOCHEMICAL EVIDENCES FOR THE RELATIONSHIP BETWEEN CRETACEOUS ANOXIC EVENTS AND VOLCANISM IN ROCKS FROM SMAGIN COMPLEX ON THE KAMCHATSKY MYS PENINSULA**

**D.P. Savelyev, O.L. Savelyeva, E.V. Kartasheva**

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky  
e-mail: savelyev@kscnet.ru*

We studied geochemical composition of the paleo-oceanic sedimentary rocks from the Cretaceous Smagin complex on the Kamchatsky Mys Peninsula. These data confirm that jasper and limestone have been formed at a large distance from the terrigenous source. Sapropel beds formation is connected with Oceanic Anoxic Events due to increase in volcanic activity. Unusually high concentrations of ore elements in coals and black shales are likely to be connected with their delivery to the sediments in association with organic matter.