

М. А. САТИАН, Г. М. МКРТЧЯН

СТРОНЦИЙ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ВЕРХНЕГО МЕЛА АРМЯНСКОЙ ССР

I. Введение

Распределению стронция в породах, водах и атмосфере посвящена обширная литература, отражающая повышенный интерес к геохимии этого элемента особенно в осадочном процессе. Однако для Малого Кавказа такие данные единичны. При изучении стронция в карбонатных породах верхнего мела был отобран каменный материал, предельно отражавший основные типы и мощности карбонатных пород верхнего мела Иджеванского, Прикуринского (армянская часть Еревано-Вединского и Разданского прогибов, позволяющий более достоверно судить о содержаниях стронция в карбонатных породах верхнего мела Сомхето-Карабахской и Еревано-Ордубадской интравенных синклинальных зон Малого Кавказа.

Спектральным количественным методом (А. К. Русанов, В. М. Алексеева, В. Г. Хитров, 1960) проанализировано 220 образцов пород. Каждый из образцов пород был предварительно изучен петрографически, гранулометрически, минералогически и проанализирован спектрально-графически полуколичественным методом.

При составлении выборочных совокупностей в группы объединялись петрографо-минералогически сходные разновидности карбонатных пород, в зависимости от содержания в них CaCO_3 , структурных особенностей главной породосоставляющей массы и гранулометрических особенностей некарбонатной примеси.

II. Краткая характеристика разрезов верхнего мела.

Иджеванский и Прикуринский прогибы (Сомхето-Карабахская зона)

В верхнемеловом разрезе выделяются:

а) осадочно-пирокластические накопления среднего-верхнего альба-сеномана, участками нижнего турона суммарной мощностью до 300—400 м.

б) вулканогенно-терригенная толща верхнего турона—сантона,

в) известняковая толща верхнего сенона.

Вулканогенно-терригенная толща представлена лавами преимущественно андезитово-базальтового состава, в кровле местами линзами, туфобрекчиями, реже туфами, вулканомиктовыми песчаниками. В виде линз в ней развиты органогенно-детритовые и биогермные известняки, максимум накопления которых приходится на позднее туронское и позднее сантонское время. Суммарная мощность колеблется от 140 до 1100 м. Известняковая толща верхнего сенона складывается микро-

и криптозернистыми, реже фораминиферовыми известняками суммарной мощностью от 200 до 600 м. Отложения дания-палеоцена маломощны (до 50 м) и распространены не повсеместно. Представлены органо-генно-детритовыми и биогермными известняками (М. А. Сатян, 1960).

Еревано-Вединский и Разданский прогибы (Еревано-Ордубадская зона)

Разрез верхнего мела Еревано-Вединского прогиба почти повсеместно начинается известняковой толщей сеномана?—турона суммарной мощностью до 300 м (В. Л. Егоян, 1955; М. А. Сатян, Ж. О. Степанян, Л. С. Чолахян, 1968).

Отложения нижнего коньяка представлены в осевой части прогиба лавами, яшмами, туфами, реже вулканомиктовыми песчаниками и органо-генно-обломочными известняками. Их возрастные аналоги в прибортовых зонах имеют граувакково-терригенный состав. По данным бурения (М. А. Сатян, Ж. О. Степанян, Л. С. Чолахян, 1968), суммарная мощность толщи достигает 1260 м (неполная, скв. № 1—Чатма). Верхнеконьякские отложения сложены граувакковыми песчаниками, алевролитами с редкими линзами органо-генно-детритовых известняков суммарной мощностью до 300 м. Отложения сантона-верхнего сенона мощностью до 600 м сложены известняками микро- и криптозернистыми, редко фораминиферовыми.

Отложения дания-палеоцена представлены органо-генно-обломочными известняками с прослоями алевролитов, реже песчаников, изредка глин. Суммарная мощность 200—400 м, участками до 800 м.

Формационная принадлежность изученных комплексов приведена в табл. 1.

III. Характер распределения содержаний стронция в породах

Проверка гипотез о логнормальном и нормальном распределении содержаний стронция показала, что стронций распределяется преимущественно нормально (табл. 2).

Проверка гипотез о равенстве параметров распределения содержаний стронция в породах (табл. 3) показала, что дисперсии содержаний стронция в карбонатных породах в пределах одной формации оказываются однородными, а средние величины содержания стронция в породах отличаются в большинстве случаев незначительно.

Более значимо различие в дисперсии, а также различие в среднем содержании стронция в известняках разных формаций.

IV. Обсуждение результатов

Объективная оценка параметров распределения стронция в породах может быть произведена лишь с учетом методики отбора проб, методики выявления в породах стронция. В нашем случае опробованы были не валовые пробы, а единичные образцы породы с известными для каждого петрографо-минералогическими параметрами, позволяющими произвести их группировку. К сожалению, не представляется возможным сопоставить полученные результаты с опубликованными о логнормальном распределении стронция в осадочных формациях кайнозоя юго-западной Ферганы (В. В. Бурков и др., 1964), ввиду различия методики отбора проб (составление в последнем случае валовых) и методики анализа (фотометрия пламени). Остается не изученным влияние аналитической ошибки на порядок распределения стронция в породах, все более значительное при низких значениях содержаний стронция (кларковых).

Формации верхнего мела Армянской ССР

Таблица 1

Прогибы	В о з р а с т о л д ш				
	Турон	Коньяк	Сантон	Верхний сенон	Даний-палеоцен
Иджеванский, Прикуринский	Вулканогенно-терригенная, морская мелководная формация (базальт-липаритовая для эффузивных составных),			Известняковая пелитоморфная геосинклинальная морская, сравнительно глубоководная формация	Известняковая рифовая морская мелководная формация
Еревано-Вединский	Известняковая рифовая морская мелководная формация	Кремнисто-вулканогенная морская троговая формация	Граувакковая терригенная морская мелководная формация	Известняковая пелитоморфная геосинклинальная морская, сравнительно глубоководная формация	Терригенно-карбонатная флишеидная морская, мелководная формация
Разданский	Отсутствуют, либо весьма маломощны	Граувакковая терригенная морская мелководная формация		Известняковая пелитоморфная геосинклинальная морская, сравнительно глубоководная формация	Терригенно-карбонатная морская мелководная формация

Результаты проверки гипотезы о нормальном распределении содержания стронция

Формация	Порода	n	$\bar{x}$	$\bar{s}^2$	$\bar{\gamma}_1$	$\bar{\gamma}_2$	$\bar{\gamma}_1/\sqrt{\bar{\gamma}_1^2}$	$\bar{\gamma}_2/\sqrt{\bar{\gamma}_2^2}$
Вулканогенно-терригенная	Известняк органо-генно-обломочный. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	4	0,034	$(0,007)^2$	0,1	-2,94	0,08	-1,22
Известняковая пелитоморфная глубоководная. Верхний сенон	Известняк пелитоморфный. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	30	0,054	$(0,018)^2$	0,7	-0,4	2	-0,4
	Известняк пелитоморфный. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	7	0,045	$(0,018)^2$	1,02	-0,2	1,1	-0,10
	Известняк доломитистый	2	0,034	$(0,003)^2$	0	-2,9	0	-0,8
	Известняк кремнистый	6	0,036	$(0,009)^2$	0,05	-1,9	0,05	-0,9
Известняковая рифогенная. Даний-палеоцен	Известняк орг. обл. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	5	0,005	$(0,063)^2$	0,1	-1,6	0,09	-0,7
Известняковая рифовая (турон)	Известняки орг. обл. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	33	0,049	$(0,03)^2$	0,1	-1,6	0,2	-1,7
	Известняки орг. обл. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	13	0,068	$(0,03)^2$	-0,3	-2,8	-0,4	-2,05
Кремнисто-вулканогенная и граувакковья (коньяк)	Известняк орг. обл. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	4	0,099	$(0,03)^2$	0,03	-2,8	0,02	-1,1
	Известковистые силициты	4	0,036	$(0,055)^2$	-0,1	-1,5	-0,08	-0,6
Известняковая глубоководная (сантон—в. сенон)	Известняк пелитоморфный. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	49	0,058	$(0,021)^2$	1	-0,5	1	-0,6
Терригенно-карбонатная, флишоподная (даний—палеоцен)	Известняк орг. обл. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	22	0,070	$(0,035)^2$	0,01	-0,5	0,02	-0,4
	Известняк орг. обл. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	24	0,074	$(0,031)^2$	0,6	-2,9	1,2	-2,9
Известняковая пелитоморфная	Известняк пелитоморфный. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	79	0,058	$(0,021)^2$	0,1	-1,5	0,25	-1,8

Примечание: n—число проб, $\bar{x}$ —среднее арифм., $\bar{s}^2$ —дисперсия, $\bar{\gamma}_1$ —асимметрия, $\bar{\gamma}_2$ —эксцесс.

Таблица 3

Проверка гипотезы равенства параметров распределения стронция в породах

Возраст	Породы	Зона	F	F _{5%}	t	t _{5%}
Турон	Известняки. CaCO ₃ > 70% — < 70%	ЕО	1.0	2.3	1.9	2.0
Коньяк	Известняки-силициты	ЕО	3.4	9.3	2.0	2.4
Коньяк	Силициты-гравузки	ЕО	5.3	5.4	0.1	2.3
Даний-палеоц.	Известняки: CaCO ₃ > 70% — < 70%	ЕО	1.3	2.0	0.3	2.0
Даний-палеоц.	Известняки (< 70%) — алевролиты	ЕО	1.5	3.4	1.7	2.1
Даний-палеоц.	Известняки (> 70%) — алевролиты	ЕО	1.2	3.5	1.3	2.1
В. сенон	Известняки: CaCO ₃ > 70% — < 70%	СК	1.0	2.5	1.1	2.0
В. сенон	Известняки (> 70%) — силициты	СК	4.0	4.5	2.4	2.0
В. сенон	Известняки (< 70%) — силициты	СК	4.0	5.1	1.1	2.2
Турон—коньяк	Известняки	ЕО	1.0	3.5	1.8	2.1
Турон—даний	Известняки (> 70%)	ЕО	1.3	1.9	2.1	2.0
Турон—даний	Известняки (< 70%)	ЕО	1.1	2.5	0.6	2.0
Коньяк—даний	Известняки (< 70%)	ЕО	1.1	8.6	1.4	2.1
Сенон	Известняки (ЕО)—известняки (СК)		1.4	1.8	0.9	2.0

Таким образом, полученные нами результаты о преимущественно-нормальном распределении стронция в породах можно рассматривать как предварительные, требующие дальнейшей проверки.

Средние содержания известняков находятся в большинстве случаев в пределах кларковых значений (0,045% — по А. П. Виноградову, 1962, для земной коры; 0,064% — для известняков по К. Турекьяну и К. Велдеполю, 1961). Таковы известняки известняковой рифовой формации турона, пелитоморфной формации сантона-верхнего сенона (табл. 6).

Таблица 4

Содержание стронция в породах верхнего мела Иджеванского прогиба

Вулканогенно-терригенная формация (турон, коньяк, сантон)	Известняки органично-детритовые, сод. CaCO ₃ < 70%	0.025	0.032	0.035	0.042			
Известняковая пелитоморфная формация (верхний сенон)	Известняки крип-то- и микрозернистые и мелкофораминиферовые, сод. CaCO ₃ > 70%	0.026 0.039 0.048 0.068 0.093	0.031 0.040 0.049 0.069 0.10	0.036 0.042 0.052 0.071 0.072	0.036 0.043 0.052 0.072 0.072	0.037 0.043 0.059 0.072 0.072	0.038 0.045 0.065 0.074 0.074	0.038 0.047 0.065 0.074 0.074
	Известняки крип-то- и микрозернистые и мелкофораминиферовые, сод. CaCO ₃ < 70%	0.017	0.030	0.045	0.055	0.058	0.065	
	Известняки окрем-нелые	0.026	0.026	0.035	0.038	0.044	0.048	
	Известняки доломитистые	0.031	0.035					
	Известняки био-гермные, CaCO ₃ > 70%	0.0014	0.0020	0.0020	0.0054	0.038		

Ниже кларка содержание стронция в известняках в составе вулканогенно-терригенной формации (в 1,5—2 раза), в биогермных известняках дания-палеоцена северной Армении (в 10 раз). Выше кларка содержания стронция в известняках кремнисто-вулканогенной и граувакковой формаций, в известняках флишеидной формации дания-палеоцена.

Очевидно тяготение повышенных концентраций стронция к терригенно-карбонатной формации дания-палеоцена, накопившейся в условиях морских мелководных с повышенной соленостью морского бассейна (М. А. Сатиан, Ж. О. Степанян, 1966). Породы нормально соленых водоемов верхнего мела содержат кларковые или ниже, чем кларковые, содержания Sr. В накоплении стронция в известняках разных типов вулканогенно-осадочных формаций подмечается тенденция к сравнительно повышенной концентрации этого элемента в известняках и кремнисто-известковистых породах кремнисто-вулканогенной формации Вединского офиолитового пояса, в составе которой обнаружены основные щелочные породы (тешениты и др.).

Однообразие петрографо-минералогического состава глубоководных известняков сочетается с малой дисперсией и сходными средними содержаниями стронция на обширных площадях интрагеосинклиналей. Наибольшее сходство установлено в дисперсии и в среднем содержании стронция в известняках сравнительно глубоководной известняковой пелитоморфной формации Сомхето-Карабахской и Еревано-Ордубадской интрагеосинклинальных зон, наибольшее же различие обнаруживается при сравнении мелководных известняков дания-палеоцена этих двух зон (0,006% — содержание стронция в Иджеванском прогибе, 0,070—0,074% — для известняков Еревано-Вединского прогиба). Убедительным доводом для объяснения этих фактов может быть предположение о различии климата в дании-палеоцене на юге и на севере Малого Кавказа, существенно повлиявшем на соленость мелководных морских заливов. С другой стороны, при обширной морской трансгрессии, каковой была трансгрессия сантона-верхнего сенона на Малом Кавказе, климатическая зональность должна была быть менее отчетливой и практически не влиять на солевой состав глубоководных морских водоемов.

В геохимии стронция известна избирательная концентрация этого элемента карбонатными раковинами организмов.

Полученные данные показывают, что не все биогермные известняковые накопления концентрируют стронций. Так, биогермные преимущественно водорослевые литотамниевые известняки дания-палеоцена Иджеванского прогиба содержат стронция в 10 раз меньше кларкового.

Содержание стронция в известняках меняется в зависимости от количества, размерности и состава терригенной примеси. Увеличению в известняках глинистой примеси сопутствует некоторое повышение содержания стронция. При увеличении содержания алевро-псаммитовой примеси содержание стронция снижается. Вероятно, перераспределение стронция в песчанистых, обычно органогенно-обломочных известняках (мелководных), происходит активнее, чем в известняках пелитоморфных, сравнительно глубоководных.

Низкое содержание стронция в доломитистых известняках нижнего кампана Иджеванского прогиба и ассоциация доломитистых известняков в разрезе с вулканитами — еще одно подтверждение вулканогенно-осадочного (а не седиментационного) источника магния в породах, видимо, привнесенного в процессе литификации осадков.

Минералы стронция установлены в песчаниках и известняках дания-палеоцена Еревано-Вединского прогиба. В изученных формациях, несущих черты гумидных условий осадконакопления, стронций рассеян в карбонатах, полевых шпатах и сорбирован, видимо, на глинистых минералах. Концентрации стронция—мелкие прожилки, гнезда, линзы стронцианита, целестина—обнаружены в отложениях семиаридной терригенно-карбонатной формации дания-палеоцена, карбонатные породы которой характеризуются несколько повышенными (в 1,2—1,5 выше кларкового) содержанием стронция и высокой частотой встречаемости рассеянного целестина. При прочих благоприятных условиях (циркуляция нагретых вод, наличие структурно-литологических ловушек) этот комплекс пород, включая и терригенные разности, мог быть источником выщелачивания стронция и его внутриформационного переотложения.

Таблица 5

Содержание стронция в породах верхнего мела Еревано-Вединского прогиба

Известняковая рифовая формация (турон)	Известняки органогенно-детритовые, сод. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	0.0060 0.020 0.040 0.069 0.087	0.0093 0.020 0.041 0.074 0.089	0.010 0.022 0.043 0.076 0.098	0.014 0.023 0.052 0.076 0.098	0.016 0.026 0.054 0.083 0.083	0.016 0.032 0.063 0.083 0.083
	Известняки органогенно-детритовые, сод. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	0.014 0.074	0.015 0.076	0.050 0.076	0.054 0.098	0.065 0.10	0.065 0.12
Кремнисто-вулканогенная и граувакковая формации (коньяк)	Известняки органогенно-детритовые, сод. $\text{CaCO}_3 < 70\%$	0.069	0.078	0.12	0.13		
	Известковистые силициты	0.0096	0.033	0.048	0.056		
	Песчаники известковистые	0.022	0.024	0.024	0.030	0.041	0.085
Известняковая пелитоморфная формация (сантон-верхний сенон)	Известняки крипто и микрозернистые и мелкофораминиферные, сод. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	0.0038 0.033 0.041 0.051 0.068 0.076 0.081	0.027 0.035 0.045 0.055 0.068 0.076 0.089	0.029 0.035 0.048 0.060 0.071 0.076 0.089	0.029 0.036 0.048 0.062 0.072 0.076 0.096	0.032 0.039 0.049 0.062 0.072 0.079 0.096	0.033 0.040 0.050 0.065 0.074 0.081 0.11
	Известняки* органогенно-детритовые, сод. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	0.022 0.051 0.074	0.037 0.056 0.085	0.044 0.058 0.085	0.047 0.059 0.11	0.047 0.060 0.13	0.048 0.069 0.13
Терригенно-известняковая фациальная формация (даней-палеоцен)	Известняки органогенно-детритовые, сод. $\text{CaCO}_3 > 70\%$	0.030 0.058 0.074 0.11	0.035 0.062 0.085 0.13	0.043 0.062 0.089 0.14	0.045 0.063 0.096	0.045 0.063 0.098	0.051 0.063 0.10
	Алевродиты известковистые	0.050	0.062	0.12			

Таблица 6

Среднее содержание стронция в карбонатных породах верхнего мела Армянской ССР

Зона	Формации и породы	Среднее содержание стронция
Сомхето-Карабахская	Вулканогенно-терригенная (турон-сантон) Известняки органогенно-обломочные ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,034
	Известняковая пелитоморфная (верхний сенон)	0,054
	Известняки крипто- и микрозернистые ($\text{CaCO}_3 > 70\%$)	0,045
	Известняки крипто-микрозернистые ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,036
	Известняки кремнистые ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,034
	Известняки доломитистые ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	
Ереван-Ордубадская	Известняковая рифогенная (даний-палеоцен)	0,006
	Известняки биогермные ($\text{CaCO}_3 > 70\%$)	
	Известняковая рифогенная (сеноман-турон)	0,049
	Известняки органогенно-обломочные ($\text{CaCO}_3 > 70\%$)	0,068
	Известняки органогенно-обломочные ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	
	Кремнисто-вулканогенная и граувакковая (верхний турон-коньяк)	0,099
	Известняки органогенно-детритовые ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,036
	Известковистые силициты ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,038
	Песчаники граувакковые (CaCO_3 30—50%)	
	Известняковая пелитоморфная (сантон-верхний сенон)	0,058
	Известняки пелитоморфные ($\text{CaCO}_3 > 70\%$)	
	Терригенно-карбонатная флишoidная (даний-палеоцен)	0,070
	Известняки орг.—обл. ($\text{CaCO}_3 > 70\%$)	0,074
	Известняки орг.—обл. ($\text{CaCO}_3 < 70\%$)	0,041
	Алевриты известковистые ($\text{CaCO}_3 < 50\%$)	

ЛИТЕРАТУРА

- Виноградов А. П. Среднее значение химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. «Геохимия», № 7, 1962.
- Бурков В. В., Подпорина Е. К. Стронций. «Минералогия, геохимия и главные типы месторождений». Изд. АН СССР, 1962.
- Бурков В. В., Подпорина Е. К., Радионов Д. А. О распределении стронция в осадочных породах юго-западной Ферганы. В сб. «Редкие элементы в осадочных и метаморфических породах». М., изд. «Наука», 1964.
- Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиз, 1960.
- Русанов А. К., Алексеева В. М., Хитров В. Г. Количественное спектральное определение редких и рассеянных элементов. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Сатян М. А. Литология и палеогеография меловых отложений междуречья Инджа-су, среднего течения Агстев и Гасансу. Автореф. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер. наук, Ереван, 1960.
- Сатян М. А., Степанян Ж. О. О фациях и палеогеографии отложений дания-палеоцена Еревано-Ведикского прогиба. Изв. АН Арм. ССР, сер. «Науки о Земле», № 1—2, 1966.
- Сатян М. А., Степанян Ж. О., Чолахян Л. С. Новые данные о верхне-меловой вулканогенно-осадочной толще юго-западной части Малого Кавказа. БМОИП, отд. геол. т. XVIII, № 3, 1968.
- Turekjan K., Kand Wadepohl K. N. «Distribution of the elements in some major units of the Earths, Crust». —Bull. Geol. sos. America, 2, 1961.