

УДК 551.763:551.14(234.86)

Д. П. Найдин, А. С. Поляков

**УПЛОТНЕНИЕ ОСАДКОВ И МОЩНОСТЬ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
В ГОРНОМ КРЫМУ**

Мощность — один из важнейших параметров характеристики осадочной толщи. Мощности стратонов — обязательный компонент любой самой простой стратиграфической колонки. Рутинные структурные исследования не обходятся без привлечения данных о мощностях. «Анализ мощностей» является основой предложенного В. В. Белоусовым метода изучения геологического развития различных по своему тектоническому положению регионов.

Если не забывать об исторической направленности настоящего геологического исследования, то возникает вопрос: когда формируется та мощность, которую измеряют в поле? Каков возраст мощности? При ответе на поставленный вопрос необходимо выяснить соотношение между мощностью осадков и мощностью отложений, между первоначальной мощностью отложений и их ныне измеряемой мощностью.

Вопрос о первоначальной мощности отложений (ПМО) в той или иной форме и объеме возникает при исследованиях, привлекающих данные о мощностях. Особенно велика роль ПМО при изучении процессов, для которых обязательна хотя бы приближенная оценка их темпа. Подобные процессы рассматриваются, например, в седиментометрическом методе геохронологии [4].

При определении ПМО выясняется степень уплотнения [12, 14—16, 18—21, 25, 27, 29] осадка, приводящая к сокращению его мощности. Это сопоставлено у англоязычных и франкоязычных авторов.

Различают механическое уплотнение (сокращение пористости и проницаемости в результате перераспределения зерен осадка) и химическое уплотнение (растворение зерен, их цементация флюидами). Соотношение между обоими видами уплотнения различно на различных стадиях литификации (окаменения по Л. Б. Рухину [7]) отложений. Для известняков последовательность стадий уплотнения следующая: илы — мел — известняки [31].

Один из приемов определения ПМО состоит в оценке изменения в процессе уплотнения очертаний какого-либо объекта, первоначальные размеры и форма которого заведомо известны. Такими объектами могут быть норы и ходы беспозвоночных — червей, раков и др., прижизненное поперечное сечение которых было круглым [14, 23].

Материал. В карбонатных разрезах верхнего мела Горного Крыма [1, 3, 11] достаточно обычны прямые или слегка согнутые трубчатые образования овально-эллиптического поперечного сечения, длинная ось которого достигает 10—16 мм, редко больше (L на рис. 1 и в табл. 1). Подобные трубки обнаружены также в песчаных известняках и карбонатных песчаниках верхнего альба.

Трубчатые образования хорошо выражены в ритмично построенных толщах, в которых каждый ритм включает два пласта: мергель (глинистый мергель), известняк (мелоподобный мергель) либо мелоподобный мергель/мел (известняк). В Крыму подобная ритмичность охватывает преимущественно сеноман и кампан [5]. Иногда при определенных условиях обнаженности обломки трубок длиной до 10—12 мм вываливаются из вмещающих отложений.

Наиболее четко трубчатые образования «проявляются» у границы разделов, несколько отличающихся друг от друга цветом элементов ритма.

Таблица 1
Результаты прямых измерений степени уплотненности меловых пород Крыма по деформациям ходов

№ п/п	L	l	K _c	
Образец 750, верхний альб, песчаник	1	29,2	13,4	1,48
	2	11,8	8,1	1,21
	3	10,5	7,0	1,22
	4	10,9	6,1	1,34
	5	14,6	10,0	1,21
	6	11,8	8,0	1,21
	7	15,7	10,4	1,23
	8	13,5	7,0	1,39
	9	14,7	9,0	1,28
	10	11,3	6,3	1,34
	11	12,4	8,0	1,24
	12	12,4	7,5	1,28
	13	14,0	10,1	1,18
	14	13,0	9,2	1,19
	15	14,4	8,4	1,31
	16	14,0	10,2	1,17
	17	12,7	6,5	1,40
	18	16,6	6,1	1,65
	19	15,3	7,3	1,45
	20	12,0	7,5	1,26
	21	13,0	6,4	1,42
	22	12,4	10,6	1,08
	23	15,5	8,1	1,38
	24	15,1	6,5	1,52
	25	13,1	9,7	1,16
	26	13,6	7,4	1,36
	27	14,0	7,0	1,41
		Среднее	1,34	
Образец 801, кампан, известняк	1/1	13,2	11,2	1,18
	2	11,0	5,8	1,90
	1/2	13,8	9,8	1,41
	3	10,8	7,2	1,50
	4/1	16,0	8,0	2,00
	4/2	16,0	7,5	2,13
	5	12,4	5,6	2,21
	6	16,2	8,6	1,88
	7	10,0	6,7	1,49
	8	10,7	8,6	1,24
9	22,2	11,2	1,98	
10	18,7	10,0	1,87	
		Среднее	1,76	

Примечание. L — длина большой оси эллипса, равная 2a, мм; l — длина малой оси эллипса, равная 2b, мм; K_c для обр. 750 — $\sqrt{a/b}$; для обр. 801 — a/b.

обильный органогенный карбонатный детрит: их цемент — как поровый, так и базальный. По мнению Н. А. Соловевой, изучавшей шлифы, в формировании породы принимал участие обломочный материал из

Трубки представляют слепки ходов, проделанных в верхних горизонтах осадка червями или другими червеподобными бесскелетными организмами. Ходы были параллельны или почти параллельны поверхности дна. Не исключено, что некоторые ходы могли иметь иную ориентировку, вплоть до вертикальной. Поперечное сечение тела передвигающегося организма и, следовательно, оставленного им хода могло быть только круглым или почти круглым. Именно на этом утверждении основываются наши дальнейшие расчеты.

Реконструкции следов эндобентосных организмов, когда их поперечное сечение показано овально-эллиптическим (как, например, на фиг. 11 в работе Г. Ферроу [23]), нам представляются нереальными.

На основании просмотра литературы по ихнофоссилиям [17, 22—24, 28, 30 и др.] мы относим крымские трубки-слепки к ихнороду Planolites Nicholson. Слепки напоминают формы из верхнего мела США, отнесенные к роду Planolites Д. Боттьером [17, фиг. 7.3] и Р. Фреем и Д. Говардом [24, фиг. 5.7, 5.10, 10.11, 15, 16.9, 18, 19.4]. На нашем материале прослеживаются родовые признаки, приводимые в указанных работах. Однако, если Д. Боттьер [17, с. 291] отмечает отсутствие ветвления у представителей рода Planolites, то, по Р. Фрею и Д. Говарду [24, с. 384], оно изредка проявляется. Среди крымских трубок-слепков ветвление наблюдается крайне редко (рис. 1).

Мы приводим результаты изучения двух серий трубок-слепков. Первая серия (табл. 1, обр. 750) собрана из полимиктовых карбонатных песчаников верхнего альба, обнажающихся близ базы МГУ в с. Прохладном. Песчаники содержат

двух источников сноса: первый (близкий) поставлял продукты разрушения карбонатных построек, второй (дальний) — аркозовый материал.

Вторая серия трубок-слепков (табл. 1, обр. 801) происходит из кампанских известняков, вскрытых в верховьях оврага Аксудере. Известняки микритовые фораминиферово-кокколитовые, содержат единичные зерна кварца, плагиоклазов и глауконита. Цементация выражена значительно слабее по сравнению с обр. 750. Визуально отложения, заполняющие трубки, ничем не отличаются от вмещающей их породы. Под поляризационным и электронным микроскопами в трубке-слепке (экз. 801/8) наблюдается неравномерное, пятнистое распределение раковин фораминифер, характеризующихся значительной раскристаллизацией CaCO_3 . Участки, лишенные фораминифер и сложенные, очевидно, округлыми пеллетами или ходами илоедов, представлены микритовым известняком.

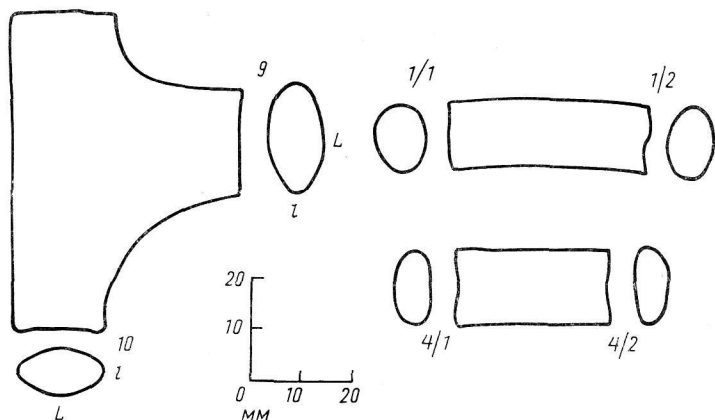


Рис. 1. Зарисовки обломков трубок-слепков ходов (обр. 801, кампан, овраг Аксудере): L — длинная ось поперечного сечения; l — короткая; цифры — номера экземпляров в табл. 1

Проведение исследования и обсуждение результатов. Уплотнение или уменьшение мощности осадков (K_c) обычно выражают отношением между его первоначальной (h_0) и современной (h) мощностями: $K_c = h_0/h$. В литературе величину этого отношения чаще всего называют степенью уплотненности (сжатия) или коэффициентом уплотнения (сжатия). В данной статье мы будем использовать термин «степень уплотненности», поскольку термин «коэффициент уплотнения» заимствован из механики грунтов и рассчитывается по результатам компрессионных испытаний. Степень уплотненности отражает механическое уплотнение осадочного материала и зависит от его природы и глубины залегания. Она непосредственно связана с пористостью, коэффициентом пористости, объемным весом скелета (объемный вес породы или осадка естественного сложения при условии заполнения всех пор воздухом) и с другими используемыми показателями. Обычно принимают, что уплотнение (механическое) происходит без бокового расширения при постоянстве твердой фазы.

Существуют два способа определения степени уплотненности осадочных пород. Первый основан на изменении с глубиной физических свойств осадков. Например, используя значения пористости или объем-

ного веса скелета отложений до уплотнения и после уплотнения, степень их уплотненности может быть рассчитана с помощью простых выражений:

$$K_c = (1 - n) / (1 - n_0); \quad (1)$$

$$K_c = \delta / \delta_0, \quad (2)$$

где n_0 — пористость осадка до уплотнения, n — пористость породы после уплотнения, δ_0 — объемный вес скелета осадка до уплотнения и δ — объемный вес скелета породы после уплотнения. Определение пористости или объемного веса скелета осадков и пород не представляет трудностей [8, 13]. Первоначальные значения n_0 и δ_0 обычно подбирают по результатам изучения аналогичных по составу современных осадков. При восстановлении первоначальной мощности пород используются также кривые или обобщенные законы изменения физических свойств отложений с глубиной их залегания, полученные для соответствующих типов отложений в конкретном районе.

Второй способ состоит в прямых измерениях деформаций отложений или заключенных в них объектов в результате уплотнения. Например, можно оценить деформацию вмещающих пород вокруг какого-либо недеформируемого, несжимаемого включения или деформацию объекта, первоначальная форма которого известна [16]. В качестве деформируемых объектов можно рассматривать ходы (трубки, слепки) и норы эндобентосной фауны, имеющие в большинстве случаев первоначально круглое сечение. Если состав вмещающих и заполняющих слепок пород одинаков, то происходит простое сплющивание слепка без бокового расширения, и он приобретает форму эллипса. В этом случае отношение максимальной полуоси эллипса (a) к минимальной (b) будет представлять собой степень уплотненности [16], т. е.

$$K_c = a/b. \quad (3)$$

Если материал, заполняющий ход, несжимаем, то заполняющая масса может рассматриваться как масса, сохраняющая свой объем, и, следовательно, поперечное сечение объекта остается величиной постоянной с боковым расширением; тогда $\pi R^2 = \pi ab$, $R = \sqrt{ab}$ и

$$K_c = \sqrt{ab}/b = \sqrt{a/b}. \quad (4)$$

Оценка степени уплотненности двух серий крымских образцов была выполнена двумя указанными способами.

Учитывая особенности состава пород, степень уплотненности в верхнеальбских песчаниках по деформациям трубок рассчитывалась как квадратный корень из отношения максимальной полуоси эллипса хода и минимальной ($\sqrt{a/b}$), а в кампанских известняках — как отношение полуосей эллипса (a/b).

Результаты прямых измерений, представленные в табл. 1, показали, что средние значения степени уплотненности песчаников верхнего альба (1,34) существенно ниже, чем известняков кампана (1,76).

Уплотнение пород по изменению их физических свойств оценивалось на микро- и макроуровнях. В первом случае использовались значения пористости, полученные с помощью автоматического анализа структуры изображений при увеличении в 1000 раз под растровым электронным микроскопом (РЭМ) [9]. Во втором определялись пористость и объемный вес скелета для образцов.

Под РЭМ было исследовано два образца. Первый представлял собой одиночный ход в верхнеальбских песчаниках. Второй образец — слепок и вмещающий его кампанский известняк. Количественному анализу были подвергнуты РЭМ-изображения: 1) заполнения хода в верхнеальбском песчанике (рис. 2, а); 2) заполнение хода в кампанском известняке (рис. 2, в) и 3) кампанского известняка, вмещающего слепок (рис. 2, д). Полученные результаты (табл. 2) показали, что более ли-

Таблица 2

Результаты автоматического анализа микроструктуры меловых пород Крыма по РЭМ-изображениям*

Параметры структуры	Обр. 750/1, верхний альб	Обр. 801/8, кампан, известняк	
	ход	ход	вмещающая порода
Пористость, %	14,6	26,0	16,3
Общая площадь пор, мкм ²	1094,19	1938,83	1213,78
Общий периметр пор, мкм	1190,75	3239,50	2580,87
Число пор	31	56	58
Средний диаметр поры, мкм	5,27	5,31	4,27
Средняя площадь поры, мкм ²	21,86	22,15	14,37
Средний периметр поры, мкм	38,41	57,84	44,49

* Анализ выполнен ведущим специалистом кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ В. Н. Соколовым.

тифицированными являются отложения верхнего альба. В кампанских известняках различие пористости между материалом, слагающим слепок и вмещающим породу, очевидно, связано с нарушением первоначального осадка организмами. Пористость современных морских песков, рассчитанная по РЭМ-изображениям, составляет примерно 35%. В качестве современных аналогов кампанских известняков можно принять глубоководные фораминиферово-кокколитовые осадки восточной части Средиземного моря, залегающие в интервале 20—160 см от поверхности дна [6]. В среднем их пористость, рассчитанная по РЭМ-изображениям, составляет около 50%. Значения степени уплотненности, полученные по результатам изучения микропористости, составили: 1,31 — для слепка в верхнеальбском песчанике; 1,48 — для слепка в кампанском известняке и 1,68 — для кампанского известняка, вмещающего ход. При интерпретации этих данных необходимо учитывать, что пористость отложений, полученная путем анализа РЭМ-изображений, обычно занижена по отношению к пористости, рассчитываемой для образцов. Низкое значение степени уплотненности кампанского известняка, заполняющего трубку-слепок, скорее всего связано с тем, что обрабатывалось изображение наиболее разрыхленного участка хода.

Макропористость осадков и пород изучалась на образцах ненарушенного сложения и рассчитывалась по формуле $n = ((\gamma - \delta) / \gamma) 100\%$, где n — пористость, γ — удельный вес и δ — объемный вес скелета. Объемный вес скелета осадка или породы вычислялся по формуле $\delta = \Delta / (1 + 0,01 W)$, где Δ — объемный вес осадка или породы при естественной влажности и ненарушенном сложении, а W — естественная влажность [8, 13]. Объемный вес литифицированных пород измерялся методом парафинирования, а осадков — методом режущих колец или

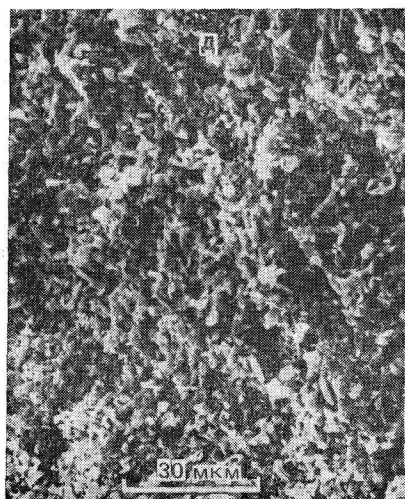
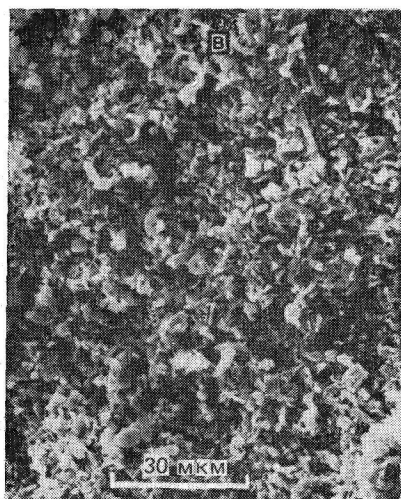
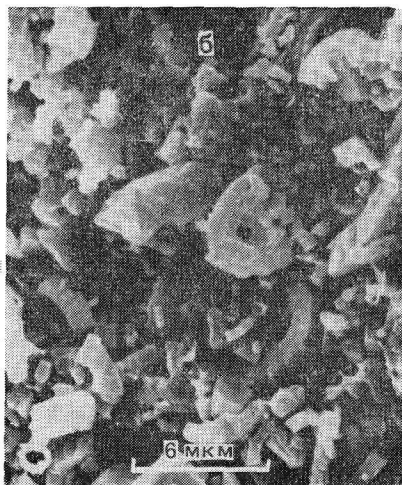
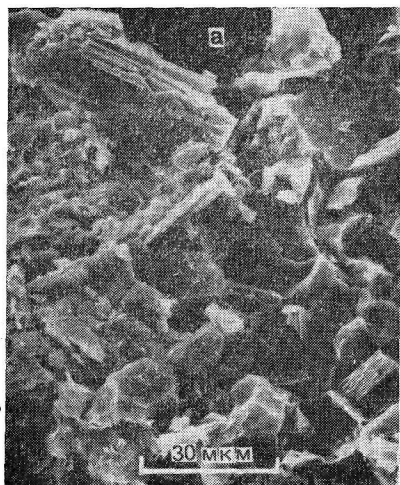


Рис. 2. Микростроение меловых пород Горного Крыма: а — верхнеальбский карбонатный песчаник, заполняющий ход (обр. 750/1), б—д — кампанский микритовый известняк (обр. 801/8), заполняющий (б, в) и вмещающий (г, д) ходы

γ-метрическим методом [2]. Удельный вес определялся с помощью пикнометров [13].

Исходные данные для расчетов степени уплотненности меловых отложений Крыма по физическим свойствам приведены в табл. 3. Используя эти данные, либо через пористость, либо через объемный вес скелета можно оценить степень уплотненности рассматриваемых пород. В качестве первоначальных характеристик верхнеальбских песчаников были

Таблица 3

Показатели физических свойств меловых отложений Крыма

Свойства отложений	Образец 750/1, верхний альб, песчаник	Образец 801/8, кампан, известняк	
	ход	ход	вмещающая порода
Объемный вес, г/см ³	2,45	2,20	2,23
Естественная влажность, %	0,5	1,0	1,0
Удельный вес, г/см ³	2,75	2,80	2,80
Объемный вес скелета, г/см ³	2,44	2,18	2,21
Пористость, %	11	22	21
CaCO ₃ , %	60	90	90

приняты пористость (48%) и объемный вес скелета (1,40 г/см³) голоценовых песков, распространенных на шельфе Болгарии [10]. Используя выражения (1) и (2), получим соответствующие значения K_c , равные 1,71 и 1,74. Пористость современных карбонатных осадков океана по данным различных авторов [27, 31] изменяется от 65 до 75%. Примерно такие же значения пористости имеют глубоководные фораминиферо-кокколитовые осадки Восточного Средиземноморья [6]. Для расчета степени уплотненности кампанских известняков их первоначальная пористость была принята нами за 70%, а объемный вес скелета 0,85 г/см³. Подставив эти значения в выражения (1) и (2), мы смогли определить степень уплотненности кампанского известняка по пористости ($K_c = 2,60 \div 2,63$) и объемному весу скелета ($K_c = 2,56 \div 2,60$) соответственно как для материала, слагающего трубку-слепок, так и для вмещающих пород.

Результаты оценки уплотнения меловых пород Крыма, выполненной разными способами, показывают, что степень уплотненности, рассчитанная по изменению микропористости, минимальна, а вычисленная по изменению пористости и объемного веса скелета образцов — максимальна (табл. 4). Промежуточные значения имеет K_c , определенная по деформации ходов. Исключим из дальнейшего анализа данные, полученные по РЭМ-изображениям, так как они явно занижены из-за эффекта масштаба исследований. Различия в степени уплотненности между верхнеальбским песчаником и кампанским известняком связаны с особенностями состава этих пород. Как для песчаника, так и для известняка значения K_c , полученные по изменению физических свойств, существенно выше значений K_c , полученных по прямым измерениям деформаций слепков. Это связано с тем, что показатели физических свойств образцов отражают общую литификацию пород (механическое уплотнение + цементация), тогда как деформация слепков фиксирует в основном их уплотнение.

Поскольку цементация отложений не вызывает изменения их мощности, то для восстановления ПМО, особенно содержащих карбонатный

материал, лучше всего пользоваться прямыми измерениями деформаций следов, оставленных эндобентосными организмами.

Таким образом, зная величины K_c , рассчитанные по деформациям ходов Planolites, можно восстановить первоначальную мощность изученных меловых пород Крыма при условии, что после отложения они не размывались или не подвергались воздействию каких-либо иных процессов, нарушающих общий ход уплотнения. Первоначальная мощность верхнеальбского песчаника в этом случае будет в 1,34 раза больше современной, а кампанского известняка в 1,76 раза.

Таблица 4
Значения степени уплотненности меловых пород Крыма, полученные разными методами

Способ определения	Значения степени уплотненности		
	образец 750/1, верхний альб, песчаник	образец 801/8, кампан, известняк	
		ход	ход
По деформации ходов	1,34	1,76	—
По изменению микропористости	1,31	1,48	1,68
По изменению пористости	1,71	2,60	2,63
По изменению объемного веса скелета образцов	1,74	2,56	2,60

Примечание. Уменьшение мощности осадка при уплотнении относительно первоначальной мощности составляет 25% для $K_c = 1,34$ и 43% для $K_c = 1,76$.

Однако, определив ПМО, не менее важно установить, хотя бы примерно, когда, при каких условиях литогенеза сформировалась сегодняшняя мощность пород. Попытаемся это сделать на примере рассмотренных пород, используя закон уплотнения карбонатных осадков Риккена, имеющий вид [29]

$$NCd = (100 - K)(100 - n)(100 - C) / 10\,000, \quad (5)$$

где NCd , %, — стандартизированная бескарбонатная фракция, представляющая собой процентное содержание бескарбонатной части осадка в его первоначальном до уплотнения объеме; n , %, — пористость уплотненной породы; K , %, $= 10 - (100b/a)$ и представляет собой процент потери мощности осадка при уплотнении по отношению к его первоначальной мощности, который определяется по деформациям ходов (a и b — полуоси эллипса) и легко рассчитывается через K_c ($K = 100 - 1/K_c$); C , %, — объем карбонатного материала в породе, выраженный в процентах по отношению к объему всей твердой фазы породы и численно равный примерно процентному содержанию в породе $CaCO_3$.

Этот закон справедлив при соблюдении двух условий: 1) NCd не изменяется в процессе литогенеза, т. е. делается допущение о том, что бескарбонатная часть осадка практически не преобразуется при его захоронении; 2) удельный вес карбонатной и бескарбонатной фракций равен $2,7 \text{ г/см}^3$.

Величина стандартизированной бескарбонатной фракции осадка зависит от его состава. Для песчаника она будет равна (табл. 3, 4)

$$NCd = (100 - 25)(100 - 11)(100 - 60) / 10\,000 = 27\%, \quad (6)$$

а известняка

$$NCd = (100 - 43)(100 - 22)(100 - 90) / 10\,000 = 4,4\%. \quad (7)$$

Определив значения NCd , рассчитаем содержание $CaCO_3$ в осадке, не испытывавшем уплотнения. Для этого в математическое выражение (5) закона уплотнения карбонатных осадков подставим значения $n = n_0$ и $K = 0$.

Из уравнений $27 = (100 - 0)(100 - 48)(100 - C) / 10\,000$, $4,4 = (100 - 0)(100 - 70)(100 - C) / 10\,000$ найдем первоначальное содержание $CaCO_3$ в верхнеальбском песке ($C = 48\%$) и в кампанском карбонатном илу ($C = 85,3\%$).

Используя закон уплотнения карбонатных осадков, можно также рассчитать, при какой пористости завершилась деформация ходов. Поскольку уплотнение отложений в основном происходит до их цементации, то возможно допустить, что механическое уплотнение не приводит к существенным изменениям первоначального содержания $CaCO_3$. Тогда, подставив в выражение (5) соответствующие значения NCd , C и K , из уравнений $27 = (100 - 25)(100 - n)(100 - 48) / 10\,000$; $4,4 = (100 - 43)(100 - n)(100 - 85,3) / 10\,000$ определим пористость, при которой завершилось уплощение ходов в отложениях верхнего альба ($n = 30\%$) и кампана ($n = 47,5\%$). Примерно такие же величины пористости были получены с помощью выражения (1), в которое были введены значения K_c и n_0 соответственно для верхнеальбского песчаника ($K_c = 1,34$, $n_0 = 48\%$) и кампанского известняка ($K_c = 1,76$, $n_0 = 70\%$).

Таблица 5

Схема литификации меловых пород Крыма

Стадии литогенеза	Преобладающие процессы	Пористость, %	Содержание $CaCO_3$, %
Диагенез	дегидратация, биотурбация осадка	48/70*	48/85,3
	механическое уплотнение, частичное растворение и раскристаллизация	30/47	48/85,3
Катагенез	растворение, раскристаллизация, цементация	11/22	60/90

* Числитель — обр. 750/1, знаменатель — обр. 801/8.

Заключение. Проведенное исследование дает возможность в самом общем виде представить схему литификации меловых пород Горного Крыма (табл. 5). Верхнеальбские карбонатные песчаники и кампанские микритовые известняки сохранили отпечатки процессов седиментогенеза, диагенеза и катагенеза.

Седиментационные особенности изученных пород предопределили не только степень их уплотнения (1,34 для карбонатного песчаника и 1,76 для микритового известняка), но и процессы постседиментационного преобразования осадков, приведших к формированию этих пород.

Ведущими процессами диагенеза являются дегидратация и уплотнение осадков. Эта стадия диагенеза запечатлена в породах меловой

системы Горного Крыма сплюснутыми ходами Planolites, имевшими первоначально круглое сечение. Их сплюсывание было вызвано механическим уплотнением, которое могло происходить лишь в осадках и отложениях, в которых слагающие их частицы еще не имели между собой достаточно прочных связей и могли сравнительно легко перемещаться относительно друг друга, создавая более плотную упаковку. Сжатие органогенных илов кампана могла способствовать дезагрегированность крупных кокколлитов до частиц размером менее 1 мкм, которые, как и планктонные фораминиферы, очень чувствительны к растворению [31]. Уменьшение в объеме биогенного кальцита растворением компенсировалось раскристаллизацией крупных кокколлитов и раковин фораминифер. В результате описанных процессов на стадии диагенеза в отложениях сформировались жесткие и достаточно прочные контакты между зернами, препятствовавшие дальнейшему уплотнению. Завершение механического сжатия следует связывать с завершением деформаций слепков, созданных организмами в придонных осадках, до эллипсоидных сечений, наблюдаемых ныне в разрезах. Примерные расчеты показали, что формирование этих сечений завершилось при пористости около 30% в верхнеальбских и около 47% в кампанских отложениях. Известно, что при максимальной упаковке частиц пористость песка составляет 28—26% [8] и дальнейшее его механическое уплотнение практически невозможно, так как для этого необходимо разрушение самих частиц, требующее очень больших давлений. Следовательно, сплюсывание ходов в песках верхнего альба могло произойти сравнительно быстро. По данным Э. Гамильтона [27], карбонатные осадки в центральной части Тихого океана превращаются в мел на глубине 145—400 м от дна, а на глубине 850—970 м мел имеет пористость 49,5—47,5% (скв. 64). Следовательно, уплотнение ходов в карбонатных отложениях кампана при скорости их накопления около 2 см в 1000 лет происходило в течение миллионов лет.

Таким образом, на стадии диагенеза из верхнеальбских песков, уплотнившихся на 25% их первоначальной мощности, образовался слабосцементированный песчаник, а уплотнение фораминиферово-кокколлитовых илов на 43% к образованию мела.

Дальнейшее преобразование пород происходило на стадии катагенеза. Переход к стадии катагенеза, очевидно, следует связывать с завершением уплотнения отложений и началом их раскристаллизации и цементации. Он фиксируется формой эллипсоидальных сечений трубчатых слепков. Отсутствие в них трещин свидетельствует об устойчивости пород к сжатию.

Раскристаллизация и цементация, являющиеся основными процессами катагенеза, подтверждаются увеличением содержания CaCO_3 с 48 до 60% в верхнеальбском песчанике и с 85,3 до 90% — в кампанском известняке. Дополнительным источником кальция могли служить поровые воды, поступавшие из соседних пластов. Изменения в содержании пород CaCO_3 хорошо согласуются с изменениями их пористости. Уменьшение пористости с 30 до 11% в песчанике вызвано в основном цементацией порового пространства, тогда как в микритовом известняке при пористости 22% цементация выражена очень слабо, а ее уменьшение происходило в основном за счет раскристаллизации крупных кокколлитов.

Таким образом, на стадии катагенеза за счет раскристаллизации и цементации слабосцементированные песчаники верхнего альба были преобразованы в песчаный известняк ($\text{CaCO}_3 > 50\%$), а кампанский мел преобразовался в микритовый известняк.

Несмотря на упрощенность схемы, она представляет возможность подойти к оценке возраста не только мощности, но и цемента меловых пород Крыма. Формирование мощности рассматриваемых пород происходило на стадии диагенеза, а образование цемента главным образом на стадии катагенеза, т. е. возраст цемента значительно моложе возраста мощности. Чем медленнее скорость протекания диагенетических процессов, тем больше разница между возрастом мощности пород и возрастом осадков. Возраст мощности верхнеальбских песчаников (песчанистых известняков), по-видимому, соизмерим с возрастом песков, тогда как возраст мощности микритовых известняков кампана может отличаться от возраста биогенных илов.

В начале статьи мы отметили, что без оценки ПМО невозможно решать седиментометрические задачи. Подобной непосредственной связи ПМО с задачами стратиграфии и палеогеографии как будто бы нет. Между тем некоторые процессы, происходящие в осадках, а затем и в отложениях, протекают различно по мере их развития во времени. Следовательно, их результаты запечатлеваются в осадочной колонке на различных стратиграфических уровнях. Так, в некоторых случаях подобными маркерами могут быть типы цементации [26].

Палеогеографию, т. е. физико-географические условия прошлого, мы реконструируем, пользуясь единственным доступным нам источником информации — отложениями, породами. Реконструкция — это как бы прокручивание ленты фильма в обратном порядке вплоть до начальных кадров — осадконакопления, и часть этих кадров может быть восстановлена с помощью исследования уплотнения осадков и мощности отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР. М., 1969. Т. VIII: Крым. Часть 1: Геологическое описание.
2. Горбачев Ю. И. и др. Измерение объемной массы (плотности) донных отложений γ -методом//Океанология (София). 1983. № 2.
3. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М., 1960.
4. Найдин Д. П. Перерывы и стратиграфия//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1987. Т. 62. вып. 6.
5. Найдин Д. П. Астрономические вариации, флюктуации климата и ритмичность карбонатных толщ. Статья 2//Изв. вузов. Сер. Геол. и разв. 1990. № 6.
6. Поляков А. С., Соколов В. Н. Количественная характеристика микростроения плейстоцен-голоценовых осадков Нильского конуса выноса//Геология континентальной террасы окраинных и внутренних морей. М., 1989. С. 11—18.
7. Рухин Л. Б. Окаменение осадочных отложений//Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол., геогр. и геол. 1953. Т. 8, № 1, вып. 3.
8. Сергеев Е. М. и др. Грунтоведение. М., 1971.
9. Соколов В. Н. Количественный анализ структуры грунтов//Инж. геол. сегодня: теория, практика, проблемы. М., 1988. С. 174—185.
10. Сорокин В. М. и др. Строение позднечетвертичных отложений шельфа в пределах Нижнекамчатского прогиба (Болгария)//Геол. эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. София, 1990. С. 217—248.
11. Стратиграфия СССР: Меловая система. Полутом 1. М., 1987.
12. Хайцер Л. Л. К вопросу о вычислении первичной мощности осадочных толщ//Литол. и полезные ископ. 1971. № 2.
13. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., 1966.
14. Baldwin B. Ways of deciphering compacted sediments//J. Sediment. Petrol. 1971. Vol. 41, N 1. P. 293—301.
15. Beaudoin B., Arnaud M., Desmason Y., Truyol V. Ammonites as indicators of compaction and carbonate transfer in host-sediments (Dogger, South France)//Geochronique. 1989. N 30. P. 34—35.
16. Beaudoin B., Cojan I., Fries G., Maillart J., Parize O., Pinault M., Truyol V. Mesure directe de la compaction dans les sédiments//Notes et mém. 1987. N 21. P. 235—247.

17. Bottier D. J. Trace fossils and paleoenvironments of two Arkansas Upper Cretaceous discontinuity surfaces//J. Paleontol. 1985. Vol. 59, N 2. P. 282—298.
18. Brown P. R. Compaction of fine-grained terrigenous and carbonate sediments. A review//Bull. Can. Petrol. Geol. 1969. Vol. 17, N 4. P. 486—495.
19. Chandra S. K., Bhattacharyya A., Sarkar S. Compaction in limestones: a reappraisal//J. Geol. Soc. India. 1983. Vol. 24, N 2. P. 72—92.
20. Chilingarian G. V. Compactional diagenesis//Sediment. Diagenesis. Dordrecht, 1983. P. 57—167.
21. Conybeare S. E. B. Influence of compaction on stratigraphic analysis//Bull. Can. Petrol. Geol. 1967. Vol. 15, N 3. P. 331—345.
22. Ekdale A. A., Bromley R. G. Comparative ichnology of shelf-sea and deep-sea chalk//J. Paleontol. 1984. Vol. 58, N 2. P. 322—332.
23. Farrow G. E. Bathymetric zonation of Jurassic trace fossils from the coast of Yorkshire, England//Palaeogeogr., Palaeocl., Palaeoecol. 1966. Vol. 2, N 2. P. 103—151.
24. Frey R. W., Howard J. D. Trace fossils from the Panther Member, Star Point Formation (Upper Cretaceous), Coal Creek Canyon, Utha//J. Paleontol. 1985. Vol. 59, N 2. P. 370—404.
25. Caillard C., Jautee E. The use of burrows to detect compaction and sliding in fine-grained sediments: an example from the Cretaceous of S. E. France//Sedimentology. 1987. Vol. 34, N 4. P. 585—593.
26. Goldstein R. H. Cement stratigraphy of Pennsylvanian Holder Formation, Sacramento Mountains, New Mexico//Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 1978. Vol. 72, N 4. P. 425—438.
27. Hamilton E. Variations of density and porosity with depth in deep-sea sediments//J. Sedimentary Petrology. 1976. Vol. 46, N 2. P. 280—300.
28. Kennedy W. J. Trace fossils in carbonate rocks//Study Trace Fossils. Berlin, 1975. P. 377—398.
29. Ricken W. The carbonate compaction law: a new tool//Sedimentology. 1987. Vol. 34, N 4. P. 571—584.
30. Savdra C. E., Bottjer D. J. Trace-fossil model for reconstructing oxygenation histories of ancient marine bottom waters: application to Upper Cretaceous Niobrara Formation, Colorado//Palaeogeogr., Palaeocl., Palaeoecol. 1989. Vol. 74, N 1/2. P. 49—74.
31. Schlanger S. O., Douglas R. G. The pelagic ooze-chalk-limestone transition and its implications for marine stratigraphy//Pelagic Sediments: Land and Sea. Oxford, 1974. P. 117—148.

Поступила в редакцию
28.12.91

УДК 551.8:551.762(470.62/67)

А. Н. Стафеев, С. Б. Смирнова, А. И. Гущин, З. И. Казакова, Н. В. Короновский

ЛАНДШАФТНЫЕ ОБСТАНОВКИ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Среднеюрские песчано-глинистые отложения широко распространены в Восточном Предкавказье. По данным бурения и сейсморазведки они трансгрессивно залегают на породах палеозойского фундамента или пермо-триаса на глубинах от 1 до 5 км на территории Скифской плиты и на глубинах свыше 8—10 км в Терско-Каспийском краевом прогибе. На протяжении многих десятилетий среднеюрские отложения являются одним из важнейших объектов исследования в Восточном Предкавказье в связи с их нефтегазоносностью. Однако палеогеографическая обстановка их формирования изучена недостаточно.

В предлагаемой статье на основе комплексного анализа геолого-геофизических материалов, данных спорово-пыльцевого, генетического, аутигенно-минералогического и текстурного анализов делается попытка реконструкции ландшафтных обстановок и палеогеографических ус-