

начальником палеонтологического отряда Степановой Т.И. Всем названным коллегам автор выражает благодарность за предоставленный материал.

Исследования проводились при поддержке РФФИ (грант 02-05-96432) и программы "Ведущие научные школы", грант НШ-85.2003.5

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пилосова О.Э. Сравнительная характеристика классификаций карбонатных пород // Тезисы докладов третьего Уральского литологического совещания. Екатеринбург, 1998. С. 72-75.
2. Погромская О.Э. Литобиомикрофацции карбонатных пород верхнего девона Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 282 с.
3. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. В 2 т. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. Т. 2. 420 с.
4. Хворова И.В. Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы. М.: АН СССР, 1958. 170 с.
5. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture/Classification of Carbonate Rocks. (ed. by W.E. Ham) / Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1962. P. 108-121.
6. Embry A.F., Klovan J.E. A late Devonian reef traction north-eastern Banks Island, Northwest Territories // Bull. Can. Petrol. Geol., 1971. V. 19. P. 730-781.
7. Flugel E. Microfacies analysis of limestones. Berlin-Heidelberg-NewYork, (Springer-Verlag), 1982. 633 p.

УДК 551.3.051

В.П. Алексеев

### К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ТЕРРИГЕННОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ БЛОКЕ

Скорость является одной из важнейших характеристик любого процесса, в том числе и геологического. Важнейшей обобщающей сводкой в области скорости геологических процессов является работа [2], имеющая одновременно и характер справочника. Наиболее детально вопросы, связанные с изучением скорости осадконакопления, рассмотрены С.И. Романовским [5, 6]. Не преследуя целью охват проблемы в целом, изложим лишь некоторые соображения, базирующиеся на наших многолетних исследованиях сероцветных терригенных (угленосных) толщ, преимущественно юрского возраста.

В качестве исходного положения нами принимается наблюдаемое существенное различие в скоростях современного и древнего осадконакопления. Для первого (континентальные осадки) наиболее характерны величины, измеряемые от нескольких сотен и (в основном) до первых тысяч Б ( $1Б = 1$  бубная =  $1$  м/млн лет =  $1$  мм/тыс. лет) [2]. Скорости же древнего осадконакопления, оцениваемые соотношением мощностей конкретных осадочных толщ и геологическим временем их образования, изменяются обычно в пределах 5–50 Б. Скорости более 100 Б уже характеризуют сверхбыструю, лавинную (по А.П. Лисицыну) седиментацию и присущи только ограниченным областям с особым механизмом осадконакопления. Такое различие на уровне примерно двух порядков ( $n \cdot 10^2$ , где  $n$  изменяется в достаточно широком диапазоне, но в основном имеет значения 0,5-2) естественным образом приводит к признанию наличия и высокой значимости перерывов в осадконакоплении. Классическая схема осадконакопления, объясняющая обилие скрытых перерывов или *диветем* (гр. *diastems*) дана Дж. Баррелом (1917). На принципиальное значение перерывов при рассмотрении истории геологического развития любого региона, в частности, указано Д.В. Наливкиным (1974). С общих позиций явления перерывов в разрезе, включая выпадающие из стратиграфической последовательности интервалы – *гиатусы* (лат. *hiatus*) – рассмотрены К. Даибаром и Дж. Роджерсом (1962). В крайнем случае инъеक्टивного седиментогенеза все это может привести к такому "седиментологическому парадоксу", когда "...вся свита, сложенная турбидитами, образовалась в течение перерыва в осадконакоплении" [6], поскольку время "чистой" седиментации

составляет ничтожные доли процента от общего, "стратиграфического" времени ее образования. К такому же выводу пришли Л.Н. Кулямин и Л.С. Смирнов (1973), определившие время непосредственного формирования песчаных отложений саблинской свиты (кембрий Северо-Запада России) в 100 суток, при общей длительности соответствующего ей хронологического периода в десятки миллионов лет.

В то же время во многих осадочных толщах внутриконтинентального и прибрежно-морского генезиса, ярким примером которых являются угленосные формации, отмечаются разрезы значительной мощности без сколько-нибудь достоверно установленных перерывов "стратиграфического" характера. В этом случае причины, приводящие к несоответствию скоростей накопления осадков, выраженных в мощности наблюдаемых толщ, которая соотнесена с продолжительностью соответствующих стратиграфических подразделений, следует, по нашему мнению, искать в самом механизме осадконакопления. Для анализа ситуации приведем некоторые схемы, выдержавшие "проверку временем" и имеющие отчетливо модельный характер (рис. 1). Из них следует непреложное обстоятельство: суммарная мощность того или иного интервала (серия слоев, комплекс слоев, стратиграфический горизонт) будет всегда значительно меньше суммы мощностей слагающих этот интервал "составных частей" (слоев, слоев и т. д.) Естественно, что период времени в обоих случаях будет одинаков.

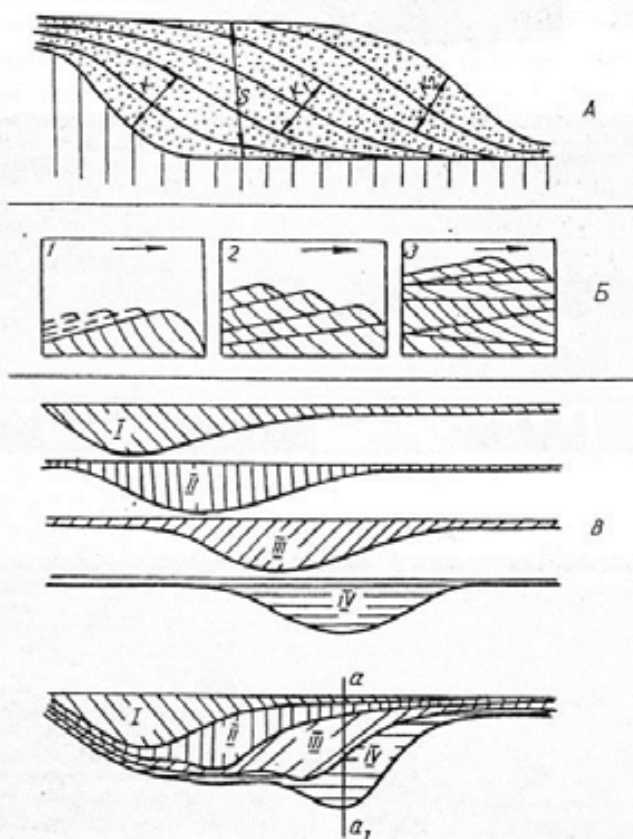


Рис. 1. Модели, иллюстрирующие процесс осадконакопления и формирующиеся комплексы отложений:

А – схема соотношения между "геологической" или седиментологической мощностью ( $k + k_1 + k_2$ ) и действительной, или наблюдаемой, мощностью (S) осадков (по Д.В. Наливкину, 1933);

Б – образование косослоистых серий в осадке: 1 – передвигание одного косослоистого песчаного вала; 2 – наплывание косослоистых валов на оставшиеся части валов, идущих впереди; 3 – конечный результат – группа налегающих друг на друга косослоистых серий (по Л.Н. Ботвинкиной, 1965);

В – смещение во времени зон расположения максимальных мощностей (по Дж. Гиллули, 1949; из [5]). В результате максимальные мощности разреза, просуммированные по отдельным этапам (I + II + III + IV), будут значительно больше, чем мощность всех отложений в зоне максимальной мощности разреза а – а<sub>1</sub>. Соответственно скорость осадконакопления, рассчитанная по линии максимальной мощности а – а<sub>1</sub>, будет все больше занижаться для этапов III, II и I последовательности



Проиллюстрируем приведенные модели на примере лишь одного образца, изображение которого приведено на рис. 2. Как видно, здесь можно в реальной "миниатюре" наблюдать все те механизмы, которые представлены на рис. 1. Теперь попытаемся (оценить конкретные время и скорость осадконакопления. Опираясь прежде всего на детальную сводку [1], и с учетом более новых данных [3, 4], будем с высокой степенью уверенности считать, что чередование светлых и темнокрасневших *грунт* слоев соответствует смене сезонов и в сумме отвечает одному году. В левой части образца черточками показаны просчитанные по обрзу комплексы слоев. В сумме их 22.

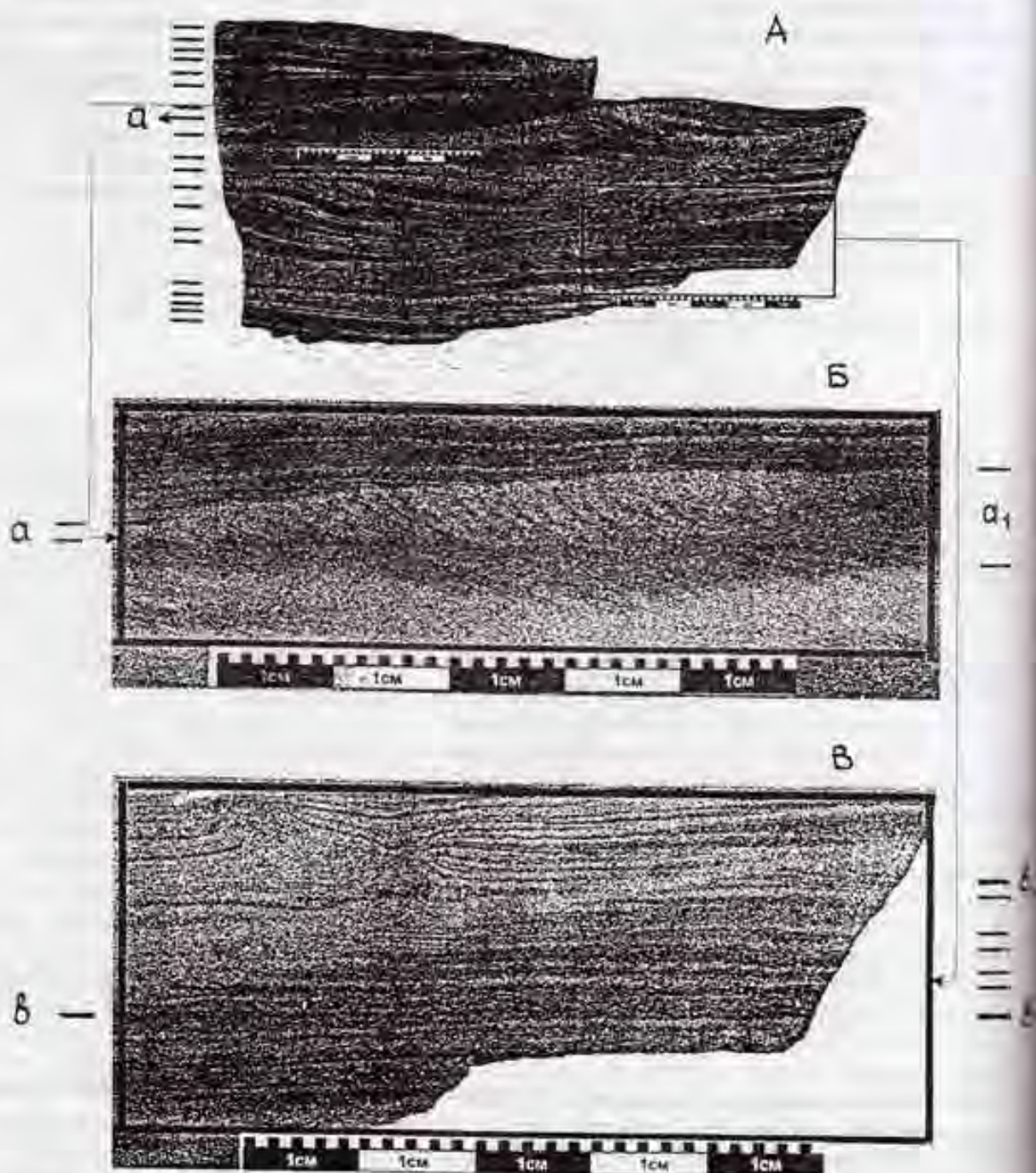


Рис. 2. Крупнозернистый диавролит со сложной полого-косоволнистой слоистостью, подчеркнутой тонким растительным детритом. Коркинская свита Челябинского бурогоугольного бассейна (верхний урнез).

А - общий вид образца; слева - марки слоев (серии); наклонные выходы (з) которых соответствует одному году (см. текст); Б - фрагмент, иллюстрирующий последовательное накопление слоев для интервала "а" - "а<sub>1</sub>" в течение нескольких самостоятельных паводков (лет); В - фрагмент с датировкой комплексов слоев и интервалов "б" - "в", "видимому" из разреза на левой части образца вследствие внутреннего перемыва



Только для констатации факта отметим, что "выпавшие" в основном разрезе слои ( $a_1 - a_2$  и  $b_1 - b_2$ ) соответствуют 6 годам. Именно эта цифра в качестве одного из основных ритмов чередующегося, более высокого, порядка приводится в работе [1]. Такая же, шестилетняя, и более частая - 11-летняя ритмичность - намечается и в целом по образцу. Впрочем, это требует более тщательного изучения и значительно большего объема исходных данных.

В целом можно (естественно, принимая предложенные позиции) говорить о накоплении отложений суммарной мощностью 8 см в течение примерно 40 лет, то есть скорость накопления осадков составляла примерно 2 мм в год, или 2 000 Б. Эта цифра соответствует нижней границе значений, характерных для современного осадконакопления на континентах [2]. Главным же выводом из приведенных конкретных данных следует, что при непрекращающемся в целом непрерывном процессе осадконакопления в погребенное состояние переходит, т. е. закрепляется в разрезе только часть осадков. В данном случае это определяется внутренними (по отношению к системе осадконакопления) факторами. "Работая" в двух вариантах, как это описано для образца (см. рис. 2), они могут соответствовать модели I (см. рис. 1, А) - это верхний интервал образца "в", т. е. продвижению; или модели II (см. рис. 1, В) - это нижний слой образца "а", т. е. смещение и межслоевой размыв. Естественно, возможно и их сочетание. В целом на уровне стратоседиментогенеза [6] перечисленное даст двукратное и более сокращение измеряемой мощности по сравнению с первично накопившимся осадком.

Продвигаясь по пути повышения уровня организации геологических процессов, вплоть до стратоседиментогенеза или слособразования [6], мы имеем дело с автономно управляемыми процессами, наиболее удачно названными Дж. Бирбауэром автоциклическими [8]. Наиболее детально они разобраны на примере аллювиальных отложений. В данном случае система седиментации существенно подобна осцилляционной структуре колебаний тока [7]. В условиях равномерного прогибания области осадконакопления (в "внутри" одного этапа развития речной долины возможно и без такового) образуется простая цикличность даже при отсутствии каких-либо других, "вотмущающих" факторов. Примеров такой цикличности бесконечно много, на рис. 3 приводятся один из них, имеющий отчетливо модельный характер.

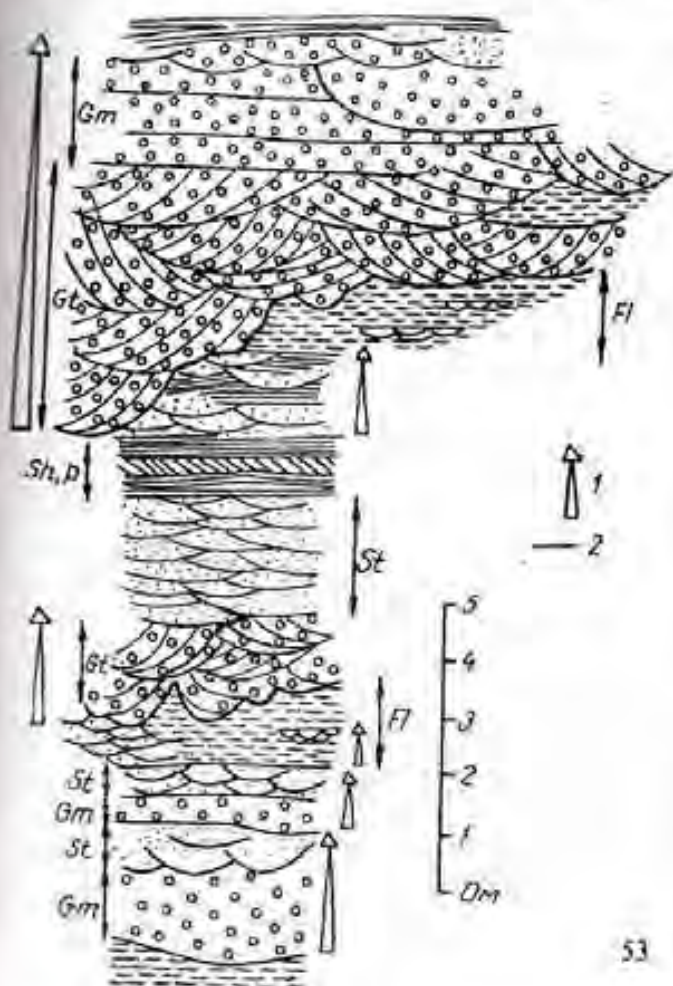


Рис. 3. Внутреннее строение русловых песчаных тел, интерпретируемых как отложения песчаной разветвленной реки, и их эрозионные взаимоотношения [3]:

1 - уменьшение размера зерен, 2 - эрозионная поверхность.  
 G - гравий, S - песок, F - алеврит;  
 слоистость: m - массивная, l - косая крытообразная (троггва); p - косая плоскопараллельная, t - мульдобразная (табулярная) в гравелитах и песчанках, f - ламинирано-волнистая (лингондная), h - тонкая горизонтальная.



Автоциклическими процессами контролируется цикличность самого низкого порядка – в угленосных толщах эти элементарные литоциклы (I порядка), или ЭЛЦ, обычно имеют мощность 5 – 15 м; в других отложениях, особенно двухчленного чередования, – существенно меньшую (первые метры). Фактически – это перстративная фаза аллювиальной аккумуляции, в ставшем классическим понимании Е.В. Шанцера (1966) и полностью соответствующим моделям, показанным на рис. 1, А. Б. Если принять сокращение мощности при перемыве отложений (аналогично для разобранный выше образца) в 3 – 5 раз, то скорость осадконакопления будет составлять в этом случае 300-700 Б.

Если принять (предельно усредненно) мощность ЭЛЦ равной 10 м, а скорость – 500 Б, то получится, что он должен был накапливаться в течение 20 тыс. лет. Без особых комментариев укажем, что именно с астрономической периодичностью в 21 тыс. лет, соответствующей циклам прецессии пунктов равнодействия, во многих работах и связывается проявление геологической цикличности низких порядков (в том числе, и прежде всего – в угленосных толщах).

Следующий уровень организации, удачно названный *циклосодедментогенезом* [6], вызывается уже *внешними* по отношению к системе седиментации факторами. Дж. Бирбауэром [8] они названы *аллоциклическими*, к ним отнесены в первую очередь региональные тектонические движения, вызывающие изменения в балансе энергетики осадочного процесса. Для аллювиальных отложений – это изменение угла наклона поверхности, изменения в питающей провинции, величины расхода воды и т. п. Если автоциклическость лучшим образом проявилась в поперечном разрезе речных долин, то аллоциклическость контролируется в продольном протяжении (констративный аллювий Е.В. Шанцера) и прослеживается на большом пространстве, в том числе за пределами седиментационного бассейна. Этому уровню соответствуют и достаточно масштабные межслоевые перерывы в виде перестроения осадков (по сути соответствующие диастемам Баррела). Характер их проявления хорошо виден в верхней части рис. 3, где грубозернистыми пачками наполовину и даже больше срезаются нижезалегающие слои. Здесь мы подходим уже к реализации собственно внешних по отношению к системе, полностью *наложенных* факторов, что в целом должно являться темой особого рассмотрения. Для общей характеристики того, что скорость осадконакопления зависит и от времени, охваченного наблюдениями, приведем лишь данные Г. Рейнека (1960), имеющиеся в работе [2] (см. таблицу).

Зависимость между продолжительностью периода наблюдений и вычисленным значением скорости седиментации на примере ваттов северной части ФРГ [3]

Скорость седиментации		Период, охваченный наблюдениями
см/1 000 лет	мм/1 000 лет (Б)	
220	2 200	1 900 лет
1150	11 500	4 года
$1,45 \cdot 10^4$	$1,45 \cdot 10^5$	8 дней
$2,1 \cdot 10^6$ (слой песка)	$2,1 \cdot 10^7$	Несколько секунд (эксперимент)

Остается только подчеркнуть удивительное сходство приведенной цифры в 2 200 Б для достаточно длительного периода наблюдений (см. таблицу) с результатом, полученным для рассмотренного выше образца, имеющего принципиально сходный генезис с отложениями, для которых проводились наблюдения.

С.И. Романовским общая формула, по которой следует оценивать скорости осадконакопления, представлена в виде [5]

$$v = \frac{H}{(T - T^*)pk}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сокращение первоначальных мощностей слоев – это своего рода усредненная мера уплотнения осадочной толщи;  $H$  – максимальная мощность отложений в границах выделенного стратиграфического подразделения;  $T$  – временная продолжительность этого подразделения;  $T^*$  – суммарное время перерывов в осадконакоплении;  $p$  – мера, учитывающая интенсивность межслоевых размывов в процессе формирования слонстой толщи.

Им же предложено, что лучше пользоваться упрощенной формулой

$$v = \frac{H}{T p}, \quad (2)$$



которая вносит лишь систематическую ошибку (всегда в сторону занижения), чем опираться на эмпирические величины  $T^*$  и  $k$ , приводящие к принципиально не устранимому "шуму" в расчетах.

Анализ вероятности сохранения слоя в разрезе, определяемый коэффициентом  $p$ , выполнен А.Н. Колмогоровым (1949). Подробный разбор такой модели слоенакопления с оценкой вероятности сохранения (закрепления) слоев в разрезе проведен С.И. Романовским [5]. Нам прежде всего интересуют аспект сохранения системы седиментации в состоянии равновесия (соответствующего перерыву в седиментации) или же в режиме постоянного осадконакопления. Воспользуемся формулой [6]

$$T = \frac{nh_p}{v}, \quad (3)$$

где  $h_p$  — глубина размыва осадков под действием активной гидродинамики;  $n$  — частота таких размывов.

В этом случае при  $nh_p = v T$  может быть практически сколь угодно велико. Например, если  $h_p = 0,01$  м,  $n = 100$ , а  $v = 1 \text{ м} / 10^6$  лет, то  $T = 10^6$  лет, т. е. в течение 1 млн лет осадконакопление существует, и граница между слоями будет иметь стратиграфический смысл [6]. Собственно стратиграфическими, или седиментационными, границы будут при соблюдении соотношения  $nh_p < v$ .

$$\frac{nh_p}{v} < 1.$$

Проверим применимость приведенных формул, используя сведения, изложенные выше. Так, для конкретного образца, показанного на рис. 2, показатели будут следующими:  $T = 40$  лет,  $n = 4$ ,  $h_p = 20$  мм,  $v = 2$  мм/год. Подставив эти значения в формулу (3), получим:

$$40 = \frac{4 \cdot 20}{2},$$

тем самым подтвердив концептуальную правильность формулы.

Подставив в формулу (3) значения известных показателей, характерных для формирования элементарных литоциклов или ЭЛЦ (см. выше), получим:

$$20 \text{ тыс. лет} = \frac{nh_p}{0,5 / \text{тыс. лет}}$$

В этом случае произведение  $nh_p$  должно соответствовать 10, что может означать следующее: или допускается один полный размыв ЭЛЦ средней мощностью 10 м, или же может проявиться два размыва на 1/2 мощности ЭЛЦ ( $n = 2$ ,  $m = 5$  м), и т. д. Все это вполне соответствует представлениям об автоциклических процессах, разобранных выше (см. рис. 3).

Продолжив эти рассуждения, определим, какие должны быть скорость осадконакопления и частота размывов при соблюдении условия:

$$\frac{nh_p}{v} < 1$$

для значительных интервалов времени, например 5 млн лет. Если сохранить  $h_p = 10$  м, то при  $v = 500$  м/млн лет  $n$  должно быть  $< 250$ , а при  $v = 50$  м/млн лет  $n < 25$ . Именно последние цифры опять же предельно удачно соответствуют конкретно наблюдаемым показателям для полнокомпенсированных угленосных толщ. Так, скорость осадконакопления для большинства раннемезозойских угленосных формаций составляет именно 30-70, в среднем 50 Б, а примерно соответствующие ярусам свиты мощностью 300-500 м имеют, как правило, по 25-30 ЭЛЦ. Тем самым режим седиментации как минимум удерживается на границе "седиментационного равновесия", исключая крупные стратиграфические несогласия.

Теперь обратимся к формуле (2) и попробуем рассчитать скорость осадконакопления для значительных временных интервалов осадконакопления. Пусть  $H = 350$  м, а  $T = 5$  млн лет (показатели, характерные для большинства раннемезозойских угленосных формаций). Тогда без

учета внутрислоевых перерывов  $p$  скорость осадконакопления будет равна 70 м / млн лет. Если  $p$ , рассчитанная из модели флишевого слоенакопления, принимается за 0,7 [5], то  $v \cong 100$  м / млн лет (что, кстати, соответствует граничной скорости лавинной седиментации). Если же рассчитать  $p$  путем деления условной единицы времени на количество допускаемых размывов ( $n = 25$  : см. выше), то

$$v = \frac{350}{5 \cdot 0,04} = 1750 \text{ м/млн лет.}$$

Как видим, при достаточно высокой условности расчетов эта цифра удивительно близка к полученному иными способами значению оптимальной скорости осадконакопления около 2 000 Б.

Подводя итоги, в качестве основных *выводов* установим следующее:

1. Скорость накопления терригенных осадков во внутриконтинентальных условиях не изменялась существенно на протяжении геологического времени и составляла (в среднем) около 2 мм/год, или 2 000Б.

2. Скорость осадконакопления, "снимаемая" с геологических разрезов полнокомпенсированных угленосных толщ, составляет величину порядка 50-70 Б. Такое несоответствие цифрам, указанным в п. 1, объясняется тем, что "геологическая" скорость соответствует *закрепленным* в геологической истории осадкам.

3. Такое закрепление, в соответствии с механизмом слоеобразования, происходит в условиях проявления многократных внутри- и межслоевых размывов, генерируемых *внутри* автономно развивающейся системы осадконакопления. Такие внутри- и межслоевые перерывы соответствуют диастамам Дж.Баррела и описаны моделью слоенакопления А.Н. Колмогорова.

4. Явления перерывов (гиатусов) в терригенных толщах проявляются при наложении *внешних* причин по отношению к системе осадконакопления (прежде всего тектонических). Для основных частей большинства угленосных толщ такие перерывы не характерны.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жемчужников Ю.А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 72 с (Труды ГИН АН СССР, вып. 86).
2. Кужал З. Скорость геологических процессов: Пер. с чешск. М.: Мир, 1987. 246 с.
3. Обстановки осадконакопления и фации: Пер. с англ. / Под ред. Х.Г.Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с.; Т. 2. 384 с.
4. Рейнек Г.-Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления (с рассмотрением терригенных кластических осадков): Пер. с англ. М.: Недра, 1981. 439 с.
5. Романовский С.И. Седиментологические основы литологии. Л.: Недра, 1977. 408 с.
6. Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.
7. Седиментология: Пер. с польск. М.: Недра, 1980. 646 с.
8. Beerbower J.R. Cyclothem and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation. Kansas, Geol. Surv., Bull., 1964. V. 169(1). P. 31-42.