

А. Б. ВИСТЕЛИУС

## К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ СЛОЕОБРАЗОВАНИЯ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 13 I 1949)

1. Для решения вопроса о механизме слоеобразования важно знание процессов формирования мощностей слоев и возникновения слоя определенного литологического состава. Для решения последней задачи необходимо выявить, как происходит смена слоев различного состава в геологическом разрезе, т. е. подчиняется ли она зависимости некоторого определенного типа или же появление каждого следующего слоя несколько не обусловлено составом предыдущего. Рассмотрению этого вопроса посвящена настоящая заметка.

Исследование проведено нами на материале послойных описаний разрезов мелового флиша по реке Хев-грдзели (Кахетия) и в карьере «Орел» на Новороссийском побережье. Описания были произведены Н. Б. Вассоевичем, любезно передавшим их автору. Сравнив «ритмы», выделенные во флише (2), с результатами настоящей работы, легко освоить рекомендуемый метод.

2. Пусть имеется ряд событий, которые обозначим через А, В, С, ... В таком случае мы можем поставить вопрос о том, как влияет событие А на следующее за ним событие В или С, т. е., если ранее было событие А, то меняется ли от того, что оно имело место, вероятность появления события В. Если событие А влияет на событие В, то вероятность появления события В при условии, что до него произошло событие А, назовем вероятностью перехода (или переходной вероятностью) (1). Если переходные вероятности отличаются от вероятностей событий вообще в данной системе испытаний, причем зависимость последующих событий от предыдущих имеет место только для ограниченного числа предшествующих им событий, мы будем говорить, что события связаны в цепь Маркова (1). При этом цепь проста, если данное событие зависит только от предыдущего и не зависит от более ранних, и сложна, если оно зависит более, чем от одного из предыдущих событий. Для того чтобы убедиться на эмпирическом материале в приложимости к нему схемы цепи, можно вычислить коэффициент дисперсии, который при зависимых событиях окажется ниже единицы\* и тем самым позволит установить непротиворечивость материала цепной схеме.

3. Обозначим в исследуемых нами разрезах флиша более песчаные

\* Для того чтобы убедиться в устойчивости переходных вероятностей (на практике частостей), полезно строить матрицы для коротких отрезков геологического разреза, следующих друг за другом. Если переходные вероятности сохраняют во всех полученных матрицах близкие значения, то это позволяет рассматривать их как устойчивые величины, действительно характеризующие вероятности появления слоев.

слои \* буквой  $\pi$ , алевроитовые  $\alpha$  и глинистые  $\gamma$ . Эти слои последовательно отвечают первому, второму и третьему элементам ритма (2). Обозначим через  $D_{\pi}$ ,  $D_{\alpha}$ ,  $D_{\gamma}$ , соответственно, коэффициенты дисперсии для более песчаных, алевроитовых и глинистых слоев и вычислим их отдельно для разрезов Хев-грдзели и «Орел».

Таблица 1 \*

Разрезы	$D_{\pi}$	$D_{\alpha}$	$D_{\gamma}$
Хев-грдзели	0,131	0,160	0,478
«Орел» . .	0,727	0,337	0,459

\* При вычислении коэффициентов дисперсии все наблюдения по разрезу Хев-грдзели были разбиты на 51 группу по 36 наблюдений в каждой группе; наблюдения в разрезе «Орел» были разбиты на 56 групп по 16 наблюдений в каждой.

В табл. 1 приведены результаты вычислений, показывающие, что во всех случаях коэффициент дисперсии ниже единицы, т. е. мы в известной мере имеем право изучать последовательность слоев, пользуясь теорией цепей. Сравнивая полученные цифры, легко увидеть, что наименее зависимы в разрезе «Орел» песчаные слои, являющиеся наиболее связанными в разрезе Хев-грдзели. Алевроитовые слои в обоих разрезах занимают промежуточное положение; глинистые имеют практически одинаковые значения коэффициентов.

Убедившись в наличии зависимости, перейдем к анализу переходных вероятностей от слоя к слою, представленных в виде матрицы Маркова, приведенной в табл. 2 отдельно для разреза Хев-грдзели и отдельно для разреза «Орел». Цифры, расположенные во внутренней части табл. 2, представляют вероятности перехода от слоя состава, обозначенного в левом крайнем столбце, к слою с составом, обозначенным в верхней строке. Так, переход от алевроита ( $\alpha$ ), образующего нижний слой, к песчаному верхнему слою имеет вероятность, равную 0,388 для разреза Хев-грдзели и 0,096 в разрезе «Орел». Аналогично читаются вероятности всех остальных переходов.

Не вдаваясь в детальное изучение приведенных матриц, сразу же видим, что они позволяют выяснить все особенности в смене слоев различного состава.

Из этих особенностей важными являются следующие:

а) В обоих разрезах практически невероятен переход от песчаного слоя к слою глинистому. Таким образом, если мы изучаем разрез флиша и остановились на верхнем слое, образованном песчаником, то следующим слоем, неизвестным нам, во всяком случае глинистый слой не будет.

б) В разрезе Хев-грдзели почти невероятны переходы от песчаного слоя к песчаному, от алевроитового к алевроитовому и от глинистого к глинистому. Правда, это может быть очевидным, так как слои выделяются в основном по смене литологического состава, но для флиша это не тривиально, так как исследуемый материал показывает, что в разрезе «Орел» запрещен только переход от глинистого слоя к глинистому, остальные же слои одинакового литологического состава могут встречаться друг за другом.

в) Переход алевроит — песчаник в разрезе «Орел» очень редок, а в разрезе Хев-грдзели встречается реже, чем алевроит — глина. Абсолютная величина вероятности подобного перехода очень невелика.

г) Переходы от глинистого слоя к песчаному и от глинистого к алевроитовому встречаются в обоих разрезах почти в обратном отношении (0,712 : 0,288 и 0,293 : 0,694).

\* Термины: песчаный, алевроитовый и глинистый (или глина) понимаются условно. В карбонатном флише это означает обогащение соответствующего слоя одним из указанных компонентов.

Таковы особенности смены слоев, присущие обоим разрезам.

Выясним теперь вопрос о наиболее вероятной смене слоев в исследуемом разрезе, т. е. об объективной проверке существования ритмичности и ее характера (двух- или трехчленный ритм, если таковой вообще окажется). Начнем с разреза Хев-грдзели.

Пользуясь матрицей переходных вероятностей, легко увидеть, что если мы начнем исследование с песчаного слоя, то следующим за ним слоем почти наверняка будет слой алеврита, так как остальные переходы, как отмечалось, запрещены; перейдя к алевритовому слою, мы далее скорее всего встретим глинистый слой, от которого вернемся к песчаному. Таким образом, наиболее вероятен здесь трехчленный ритм в смене составов слоев. Но вариант трехчленного ритма не обязателен, и после алевритового слоя мы с достаточной вероятностью попадаем на песчаный слой, после чего все начинается снова. Попав после алевритового слоя на глинистый, мы также не обязательно переходим далее к песчаному слою. Менее вероятно, но вполне возможно перейти к слою алеврита и снова столкнуться с вероятностями уже рассмотренных переходов.

Таким образом, для разреза Хев-грдзели реальные следующие переходы, приводимые в порядке их вероятности:

- 1)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \pi$ , 2)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \pi$ ,
- 3)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ .

Разрез «Орел» несколько отличен по характеру повторяемости переходов от

Таблица 2\*

Слой k + 1 Слой k	Хев-грдзели			Орел		
	$\pi$	$\alpha$	$\gamma$	$\pi$	$\alpha$	$\gamma$
$\pi$	0,002 (0,003; 0,000)	0,998 (0,997; 1,000)	0,000 (0,000; 0,000)	0,108 (0,148; 0,020; 0,150)	0,886 (0,836; 0,980; 0,850)	0,006 (0,017; 0,000; 0,000)
$\alpha$	0,388 (0,392; 0,383)	0,014 (0,002; 0,027)	0,598 (0,606; 0,590)	0,096 (0,129; 0,090; 0,074)	0,233 (0,193; 0,186; 0,186)	0,671 (0,679; 0,724; 0,617)
$\gamma$	0,712 (0,665; 0,765)	0,288 (0,335; 0,235)	0,000 (0,000; 0,000)	0,293 (0,334; 0,321; 0,222)	0,694 (0,626; 0,679; 0,778)	0,013 (0,041; 0,000; 0,000)
Число наблюдений	637	783	468	149	447	305

\* В скобках приведены относительные частоты для отдельных отрезков разреза; при этом разрез Хев-грдзели был разделен на две части а разрез «Орел» — на три. Кроме того, устойчивость частот проверялась составлением матриц на каждые 100 слоев, что не приведено здесь за отсутствием места. Цифры в скобках следуют по разрезам снизу вверх.

разреза Хев-грдзели. Начав с песчаника, мы переходим, как и в Хев-грдзели, к алевроиту, но не исключена вероятность появления песчаника снова. От алевроита наиболее вероятен переход к глине, за которой скорее всего будет следовать алевроит. Таким образом, для «Орла» характерен двухчленный ритм с выпадением песчаного слоя и простым чередованием алевроит — глина. Кроме типичных, наиболее вероятных переходов, возможен еще ряд комбинаций слоев. Из них наиболее типичные выписаны нами в порядке их вероятности\*:

1)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ , 2)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \pi$ , 3)  $\pi \rightarrow \alpha \rightarrow \pi$ .

Резюмируя, можно отметить, что анализ переходных вероятностей подтвердил основную закономерность флишевых толщ, обнаруженную Н. Б. Вассоевичем, — их трех- или двухчленный ритм. Кроме того, оказывается еще целый ряд менее характерных переходов, которые требуют изучения в поле и после этого аргументированной геологическими наблюдениями интерпретации. Что касается взаимоотношений между трех- и двухчленными ритмами, то их можно пока объяснять выпадением песчаного слоя — первого элемента ритма — в разрезе «Орел», чему не противоречит исследованная нами матрица.

4. Итак, нормальная последовательность работы по изучению «ритмичности» геосинклинальных формаций\*\* должна сводиться к следующему: а) детальное послойное описание разреза со строжайшим выделением каждого слоя по заранее определенному признаку; б) установление устойчивости слоев различного состава во всем разрезе, производимое путем вычисления коэффициентов дисперсии\*\*\*; в) построение матрицы переходных вероятностей в случае достаточной устойчивости появлений слоев и анализ этих матриц для выявления правильностей в переходах от слоя одного состава к слою иного состава.

Интересно было бы проанализировать в указанном разрезе и дать классификацию матриц для таких типичных формаций, кроме флиша, как сланцевые толщи и моласса, что позволит установить общность или различие в их механизме слоеобразования. Приведенные пока данные по флишу делают вероятным предположение, что в этой формации смена слоев различного состава происходит по схеме сложной альтернативной цепи (3).

Всесоюзный нефтяной  
геолого-разведочный институт  
Ленинград

Поступило  
13 I 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> С. Н. Бернштейн, Теория вероятностей, 1946. <sup>2</sup> Н. Б. Вассоевич, Изв. АН СССР, сер. геол., в. 1, 37 (1940). <sup>3</sup> В. И. Романовский, О вероятностях повторяемости циклов в полициклических цепях, 1946.

\* Без учета переходов типа  $\pi \rightarrow \pi$  и  $\alpha \rightarrow \alpha$ .

\*\* Все сказанное применимо к любым формациям, но в геосинклинальных областях чаще встречаются мощные разрезы, состоящие из многих сотен слоев, что необходимо для работы по изложенной методике.

\*\*\* См. также примечание на стр. 195.