

САРАФЯН Н. Е.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИКЛОВ РАЗНОГО ПОРЯДКА В ФЛИШЕВЫХ ФОРМАЦИЯХ

В работе анализируются палеогеновые образования флишевой формации АрмССР при помощи их матрицы переходных вероятностей, делается попытка учета напраздности процессов слесобразования с помощью цепи Маркова. Рассматриваемая флишевая формация по вещественному составу и характеру циклов [1] подразделяется на три субформации. Из этих субформаций для анализа были выбраны данные 28 характерных разрезов. Определение и оценка статистических характеристик указанных субформаций с соответствующей геологической интерпретацией изложены в [2]. Подсчитаны матрицы переходных вероятностей всех 28 разрезов. Из 28 матриц мы для анализа выбрали шесть типичных (две для каждой субформации). Этот выбор, однако, не является ограничением. Можно выбрать любые 6 матриц из 28. Матрицы переходных вероятностей разрезов с условными номерами № 14, № 6, № 20 имеют следующую структуру:

$$P_{14} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,35 & 0,5 & 0,15 & 0 \end{pmatrix} \quad P_6 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 1 \\ 0,05 & 0,15 & 0,8 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P_{20} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,16 & 0,14 & 0,2 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$$

Они соответствуют разрезам, которые входят в I, II и III субформации. Приведенные матрицы характерны тем, что содержат много 0 и 1. Вторая группа матрицы выбрана с меньшим количеством чисел 0 и 1 (по возможности). Эти матрицы имеют условные номера 7, 28 и 24 и структуры их следующие:

$$P_7 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,97 & 0,03 \\ 0,15 & 0,61 & 0 & 0,24 \\ 0,21 & 0,79 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad P_{28} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,93 & 0,07 & 0 \\ 0,1 & 0,15 & 0 & 0,75 & 0 \\ 0 & 0 & 0,025 & 0 & 0,975 \\ 0,5 & 0,19 & 0,03 & 0,28 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P_{24} = \begin{pmatrix} 0 & 0,9 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0 & 0,99 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,28 & 0,32 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,45 & 0,55 \\ 0 & 0,24 & 0,12 & 0,12 & 0 & 0,52 \\ 0,28 & 0,28 & 0,24 & 0,08 & 0,12 & 0 \end{pmatrix}$$

Геологический смысл отличия матриц переходных вероятностей заключается в следующем. В рассматриваемых разрезах I субформации основные элементы слесобразования являются: 1) песчаник, 2) алевролит, 3) мергель, 4) глина. В первой группе разрезов, согласно указанным матрицам, слой песчаника с вероятностью 1 переходит в слой алевролита, последний, аналогично, переходит в слой мергеля, а затем наступает слой глины. Глина с вероятностью 0,35 может переходить в слой песчаника или с вероятностью 0,5—в слой алевролита и, наконец, в слой мергеля с вероятностью 0,15. Такая же картина наблюдается и в разрезах 6 и 20, то есть переходы от песчаника к алевролиту, от алевролита к мергелю и от мергеля к глине—обязательны. В группе же разрезов 7, 28, 24 подобные непосредственные переходы необязательны. Здесь чередование слоев происходит с некоторой вероятностью. Во всех случаях указанные переходы происходят за один шаг (единицу времени) наблюдения. Геологически наибольший интерес представляют вероятности перехода через n шагов, так как в результате устанавливаются так называемые финальные (регулярные) вероятности появления слоев в стратиграфических последовательностях. Значение финальной вероятности заключается в том, что как только оно получено, вероятности перехода из любого состояния становятся независимыми от исходного состояния, так как все строки матрицы становятся одинаковыми. Вероятности многшаговых переходов подсчитываются путем возведения матрицы переходов в степень [3].

Для приведенных выше матриц соответствующие регулярные матрицы следующие (отличие возведенных степеней обусловлено ограниченностью машинного времени, а числа округлены до третьего знака):

$$P_{14} = \begin{pmatrix} 0,13 & 0,32 & 0,30 & 0,26 \\ 0,10 & 0,27 & 0,36 & 0,30 \\ 0,10 & 0,24 & 0,31 & 0,36 \\ 0,13 & 0,28 & 0,30 & 0,31 \end{pmatrix} \quad P_6 = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,41 & 0,41 & 0,10 \\ 0,8 & 0,41 & 0,40 & 0,10 \\ 0,8 & 0,41 & 0,40 & 0,10 \\ 0,8 & 0,42 & 0,40 & 0,10 \end{pmatrix}$$

$$P_{20} = \begin{pmatrix} 0,04 & 0,17 & 0,15 & 0,64 \\ 0,03 & 0,14 & 0,17 & 0,66 \\ 0,03 & 0,13 & 0,14 & 0,70 \\ 0,04 & 0,14 & 0,13 & 0,70 \end{pmatrix} \quad P_7 = \begin{pmatrix} 0,09 & 0,24 & 0,23 & 0,16 & 0,29 \\ 0,17 & 0,18 & 0,24 & 0,26 & 0,16 \\ 0,10 & 0,23 & 0,18 & 0,23 & 0,25 \\ 0,14 & 0,23 & 0,18 & 0,25 & 0,20 \end{pmatrix}$$

$$P_{28} = \begin{bmatrix} 0,05 & 0,10 & 0,17 & 0,32 \\ 0,05 & 0,10 & 0,16 & 0,36 \\ 0,05 & 0,10 & 0,16 & 0,33 \\ 0,05 & 0,10 & 0,16 & 0,35 \\ 0,05 & 0,10 & 0,16 & 0,34 \end{bmatrix} \quad P_{24} = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,18 & 0,27 & 0,16 & 0,18 & 0,26 \\ 0,9 & 0,19 & 0,27 & 0,15 & 0,18 & 0,27 \\ 0,9 & 0,19 & 0,26 & 0,14 & 0,16 & 0,25 \\ 0,9 & 0,19 & 0,27 & 0,14 & 0,16 & 0,24 \\ 0,9 & 0,19 & 0,27 & 0,15 & 0,16 & 0,25 \\ 0,9 & 0,18 & 0,28 & 0,15 & 0,17 & 0,25 \end{bmatrix}$$

Строки приведенных матриц характеризуют равновесные доли различных состояний при числе шагов, равными 5—11. Эти строки показывают вероятность наблюдения состояния a_1, a_2, \dots, a_n , которая равняется p_1, \dots, p_n соответственно и не зависит от исходного состояния. Например, вероятности наблюдения состояния: 1) песчаник крупнозернистый, 2) песчаник мелкозернистый, 3) алевролит крупнозернистый, 4) алевролит мелкозернистый, 5) мергель и 6) глина в разрезе № 24 равны: 0,9; 0,18; 0,28; 0,15; 0,17; 0,25 соответственно при длине шагов 7-ой исходной последовательности.

Матрицы переходных вероятностей разрезов осадочных толщ можно использовать для определения циклов, которые наблюдаются с разной вероятностью. Подсчет этих вероятностей производится простым умножением конкретных переходных вероятностей. Для каждой матрицы переходных вероятностей таким путем формально определяются некоторые циклы и вероятности их наблюдения. Ниже для матрицы № 14, № 6 и № 20 эти вероятности приведены в порядке их убывания и выделены соответствующие им циклы.

$p_1=0,5$	1-2-3-4-2	$q_1=0,80$	1-2-3-4-3
$p_2=0,35$	1-2-3-4-1	$q_2=0,15$	1-2-3-4-2
$p_3=0,15$	1-2-3-4-3	$q_3=0,05$	1-2-3-4-1
$p=1,00$		$q=1,00$	
	$r_1=0,54$		1-2-3-4-5-4
	$r_2=0,17$		1-2-3-4-5-3
	$r_3=0,15$		1-2-3-4-5-1
	$r_4=0,14$		1-2-3-4-5-2
	$r=1,00$		

Для матрицы (разрезов) с номерами 7, 28, 24 циклы и соответствующие вероятности их появления выглядят следующим образом:

$p_1=0,5917$	1-2-3-2	$q_1=0,3619$	1-2-3-4-5-1
$p_2=0,1939$	1-2-3-4	$q_2=0,2026$	1-2-3-4-5-4
$p_3=0,1455$	1-2-3-1	$q_3=0,1485$	1-2-3-2
$p_4=0,0488$	1-2-3-4-5	$q_4=0,1375$	1-2-3-4-5-2
$p_5=0,0237$	1-2-4-2	$q_5=0,0217$	1-2-3-4-5-3
$p_6=0,0061$	1-2-4-1	$q_6=0,0186$	1-2-3-4-3
$p=0,9997$		$q_7=0,0991$	1-2-3-1
		$q=0,9007$	
	$r_1=0,0792$		1-2-3-6-1
	$r_2=0,0548$		1-2-3-4-6-1
	$r_3=0,0384$		1-2-3-5-6-1
	$r_4=0,0348$		1-2-3-4-5-6-2

Для последней матрицы, то есть для матрицы № 21, число возможных циклов 27. Здесь приведены только те из них, вероятность появления которых больше среднего значения, то есть больше $r=0,037$. Для матрицы № 28 остальные циклы не приведены, ввиду малой вероятности их наблюдения. Выделение циклов разного порядка в стратиграфии обычно производится на основе подсчета частот встречаемости I, II, III и других элементов слоеобразования в исходной последовательности. В обоих случаях выделение циклов фактически производится на основе одной и той же информации. Поэтому их можно считать идентичными. Разница в том, что обычно порядок цикла определяется сразу по мере движения по таблице, а в приведенной схеме после подсчета и умножения соответствующих переходных вероятностей. Приведенная схема удобна тем, что позволяет определить все возможные циклы и вероятности их наблюдения. Последняя влечет за собой оценку (в информационном, а не в энергетическом плане) доли каждого цикла в общем объеме колебаний (разреза). Для энергетических долей, очевидно, потребуется учет мощностных или скоростных характеристик напластований. Обычными методами подобный анализ затруднителен. Об эффективности приведенной схемы можно убедиться на анализе данных разрезов №№ 14, 6, 20, полученных двумя способами. Количество циклов разного порядка, вероятности их наблюдения, определяемые обычным методом, приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Порядок цикла \ Разрезы	I	II	III	IV	Общее число циклов
14	—	8 $p=0,32$	12 $p=0,48$	5 $p=0,20$	25
6	—	3 $p=0,04$	11 $p=0,16$	54 $p=0,80$	67
20	—	6 $p=0,16$	5 $p=0,13$	27 $p=0,71$	38

Эти показатели совпадают с прежними результатами разрезов 14 и 6. В разрезе 20 не определен цикл, который выявлен приведенной нами схемой. Эта особенность еще более сильно выражена для разрезов 7, 28, 24, то есть в матрицах переходных вероятностей, где 0 и 1 сравнительно малы. Здесь не все циклы, выделенные через матрицы переходных вероятностей, имеют свои аналоги (прототипы) в группе циклов, определенных обычным методом. И, кажется, что приведенная схема имеет некоторое «расхождение» от обычного метода определения циклов. Например, для разрезов 7, 28, 24 общее число возможных циклов равно соответственно 6, 10, 27, в то время как для этих же разрезов обычным методом определяются 2, 3, 4 цикла разного порядка. Причина заключается в том, что обычно в определении циклов разного порядка специалисты исходят из первого (второго, третьего и т. д.) элемента слоев, его наличие или отсутствие является основой для вычислений. На последний элемент, а также на длину и структуру цикла не обращается особого внимания. Вследствие этого определенное число циклов группируется в один обобщенный цикл.

Например, выделенные для разреза 7 циклы 1—2—3—1; 1—2—3—4—1; 1—2—4—1 с вероятностью наблюдения $p_3=0,1455$, $p_4=0,0488$; $p_6=0,0061$ соответственно, можно объединить и представить через обобщенный цикл с вероятностью $p=0,2004$. Этот цикл соответствует определенному обычным методом циклу III порядка с вероятностью наблюдения $p=0,21$. Таким же образом объединение остальных циклов 2—3—2; 2—3—4—2; 2—4—2 этого же разреза с вероятностью наблюдения $p_1=0,5917$; $p_2=0,1839$; $p_3=0,0237$ соответственно, даст новый обобщенный цикл с вероятностью наблюдения $p=0,8093$. Этот цикл будет соответствовать определенному обычным методом циклу IV порядка с вероятностью наблюдения $p=0,79$ и так далее.

Таким образом, приведенный метод выделения циклов более удобен и нагляден и «расхождения» результатов по существу не имеется. Аналогичным образом можно объяснить «расхождение» между количеством циклов разрезов 27 и 24, определенных двумя способами. При выделении циклов разного порядка, помимо I, II, III и др. элементов циклов следует учесть и последний. Кроме того, нужно учитывать также длину, точнее состав цикла.

Какая связь между порядком цикла и вероятностью их наблюдения? Как показывают приведенные примеры, из 6 случаев в 4-х с увеличением порядка цикла вероятность его наблюдения увеличивается. В разрезах, где эта связь не наблюдалась, отмечается отсутствие или незначительное количество глинистого материала. Поэтому ее можно считать общей закономерностью.

1. Садоян А. А. Особенности образования флишевой формации датского яруса—эоцена Армянской ССР и сопредельных районов.—Литология и полезные ископаемые, 1983, № 2, с. 43—56.
2. Садоян А. А., Сарафян Н. Е. Некоторые математические закономерности геологической цикличности флишевой формации верхнего мела—палеогена Армянской ССР.—В кн.: Математические методы анализа цикличности в геологии. М., 1984.
3. Харбук Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии.—М.: Мир, 1974.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XLI, № 3, 75—76, 1988

КРИТИКА И ДИСКУССИЯ

Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН

СТРАННАЯ ЛОГИКА

(Вместо рецензии)

Статья восьми (!) авторов—А. Т. Асланяна, Ф. О. Аракеляна, К. А. Агамалаяна, А. Х. Баграмяна, Р. Т. Джугаряна, Б. Ц. Еремян, Д. И. Сихарулидзе и Н. П. Тутберидзе «Анализ сейсмических условий района Армянской атомной электростанции (Араратская долина)», опубликованная в журнале «Известия АН АрмССР, Науки о Земле» (1982, т. XXXV, № 5, стр. 3—17), заставляет задуматься о сложности и неисповедимости путей научного поиска, непостижимости способов, которые можно использовать при отсутствии разборчивости для перехода от исходных данных к выводам. Поскольку мы хотим вскрыть внутренние противоречия статьи, мы не будем здесь привлекать постороннего материала и воспользуемся только цитатами из указанной статьи; они ниже приводятся в кавычках, курсив везде наш.

«Армянская АЭС расположена в центральной части Араратской котловины, занимающей *срединную* область Еревано-Игдырского сейсмического узла и являющейся местом *пересечения довольно мощных зон активных сейсмогенных разломов*» (стр. 3). «К северу и югу от АЭС на расстоянии 35—40 км расположены крупнейшие в Армянском нагорье стратовулканы Арагац (4095 м) и Арарат (5125 м). Между ними располагается *более 40 центров вулканических извержений*, сложенных красными и черными пузырчатыми андезито-базальтовыми лавами и шлаками (*глубина очагов, вероятно, 3—5 км*). Часть указанных вулканических аппаратов в виде кольцеобразной группы располагается *непосредственно в районе промплощадки АЭС (17 центров на площади 10 км²)*» (стр. 3). «В районе *значительное развитие* имеют также туфолавы, являющиеся продуктами *трещинных извержений*» (стр. 4). «Сооружение АЭС располагается непосредственно на коренных вулканитах (шлаки и лавы в сложном переплетении) нижнесреднечетвертичного возраста. В этой толще, *на глубине около 70 м обнаружены водотоки, которые, по-видимому, питают артезианский бассейн, расположенный к югу от АЭС*» (стр. 4). «Ереванский *глубинный разлом* прослеживается к северу от АЭС и, вероятно, контролирует отмеченные вулканические аппараты *вблизи АЭС*» (стр. 6). «Еревано-Игдырский сейсмогенный узел проявляет *значительную сейсмоактивность с древнейших времен, выделяясь скоплениями очагов сильных землетрясений*» (стр. 6). «На территории Ереван-Игдырского сейсмогенного узла известны *несколько разрушительных 8—9 балльных землетрясений*» (стр. 6). «Еревано-Игдырский сейсмогенный узел попадает в *зону довольно повышенной сейсмической активности*» (стр. 8). «Землетрясения Еревано-Игдырского узла имеют *магнитуду в пределах $M=5,5-6,5$ и интенсивность $I_s=7-8,5$ баллов. В этом сейсмогенном узле наблюдаются контрастные сеймотектонические и неотектонические движения. Через этот узел проходят наиболее активно действующие в современную геологическую эпоху *глубинные сейсмогенные разломы*» (стр. 14). «Узел характеризуется *концентрацией значительного количества очагов сильных землетрясений*» (стр. 15).*

Изложив все эти фактические данные, однозначно показывающие высокую сейсмическую активность района АЭС, «представляющего собой зону пересечения крупных сейсмоактивных разломов северо-восточного, северо-западного, широтного и меридионального направлений» (стр. 15), т. е. по всем восьми основным румбам, авторы статьи неожиданно приходят к следующему выводу: «Приведенный в тексте материал показывает, что, *несмотря на сложные сеймотектонические условия, устойчивость комплекса сооружений Армянской АЭС можно считать обеспеченной с точки зрения сейсмостойкости и общих инженерно-геологических требований. Имеются достаточные основания для строительства II очереди Армянской АЭС на территории, прилегающей к площади действующей станции с запада*» (стр. 15). Где эти «достаточные основания» и почему о них умалчивается?

В статье совершенно не рассматриваются инженерно-геологические условия района ААЭС, если не считать одного довольно невразумительного заявления: «Мож-