

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

К.Р. Черенева

Научный руководитель профессор В.П. Алексеев

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Многие природные процессы, в том числе и осадконакопление, характеризуются тем, что в них наблюдается влияние предшествующих событий на последующие. Такие процессы называются «марковскими» по фамилии известного русского математика А.А. Маркова. В геологии, и в частности в седиментологии, они впервые рассмотрены А.Б. Вистелиусом в 1949 году. В настоящее время многие ученые используют их для моделирования разрезов скважин и оценки вероятности переходов из одной фации в другую [4].

Марковский процесс – это процесс, для которого нахождение в данный момент времени в определенном состоянии можно вывести из сведений о предшествующих состояниях. Для описания поведения марковских цепей строятся матрицы вероятностей перехода, каждый элемент которой – это вероятность перехода из заданного состояния (строки) в следующее состояние (столбцы). Она является постоянной величиной для всей анализируемой цепи. Из этого следует, что процессы обладают некоторой памятью. Если эта «память» распространяется на один шаг (непосредственно от предыдущего к последующему), такую цепь называют простой. На ее основе и проведено изучение тюменской свиты Шанмского нефтегазоносного района. Исходными данными стали 5 разрезов скважин данного района, в которых выделялись слои со средней толщиной около 2 м и с генетической интерпретацией по комплексу признаков [1].

Первым этапом исследования является подсчет количества переходов между различными фациями снизу вверх по разрезу каждой скважины и соответственно построение матрицы. Далее она путем деления значений каждой ячейки на общую сумму значений переводится в матрицу эмпирических частот переходов (ЭЧП), которая приведена в таблице. По ней определяется вероятность появления некоторого состояния j (столбец) при условии, что до него было состояние i (строка).

Таблица

Матрица эмпирических частот переходов

Фация		Количество переходов	Фация (индекс)							
Краткая характеристика	Индекс		АР	АП	Т	ОЗ	ОВ	БЗ	БП	БМ
Русел	АР	32	0	0,38	0,03	0,31	0,06	0,13	0,09	0
Поймы	АП	17	0,29	0	0,18	0,29	0,06	0,06	0,12	0
Болот	Т	66	0,14	0,02	0	0,45	0,05	0,14	0,2	0,02
Застойныхозер	ОЗ	80	0,08	0,03	0,54	0	0,08	0,1	0,15	0,04
Открытых озер	ОВ	12	0,05	0	0,1	0,85	0	0	0	0
Заливов	БЗ	34	0,15	0	0,21	0,24	0	0	0,35	0,12
Полуизолированного мелководья	БП	56	0,04	0	0,14	0,41	0	0,21	0	0,2
Подвижного мелководья	БМ	17	0	0	0	0	0	0,12	0,88	0

Прежде чем проводить анализ матрицы ЭЧП, необходимо проверить последовательность на наличие «марковского» свойства. Для этого нужно сравнить коэффициент распределения Пирсона (χ^2) при уровне значимости $\alpha=0,05$ с величиной $-2\ln\lambda$, вычисленной по формуле [2]:

$$-2\ln\lambda = 2\sum_{i,j} (n_{ij} \times \ln(\frac{P_{ij}}{P_j}))$$

, где P_{ij} – вероятность, соответствующая строке с номером i и столбцу с номером j;

$$P_j = \sum_{i=1}^m n_{ij} / \sum_{i,j} n_{ij} \quad \text{– безусловная вероятность, соответствующая j-му столбцу;}$$

n_{ij} – частота переходов для i–й строки и j–го столбца;

m – общее число состояний.

Подставляя наши значения, получим $-2\ln\lambda=309,3$, что сильно превышает χ^2 , равный 43,77. Из этого следует,

что последовательность обладает марковским свойством.

Следующий этап – это непосредственно анализ матрицы эмпирических частот переходов. Время принимается за дискретную величину, а это значит, что учитываются переходы только между различными фациями, поэтому в диагонали получены нулевые значения. В матрице ЭЧП четко выделяются подматрицы [3] континентальных фаций (АР – ОВ), а также прибрежно-бассейновых (БЗ – БМ). Поля, не вошедшие в них, являются переходными. Открытые озера (ОВ) являются финальной фацией в подматрице континентальных обстановок. Подвижное мелководье – конечная область сноса для всей матрицы.

По результатам матрицы ЭЧП на следующем этапе построена модель процесса осадконакопления (рис). Толстыми стрелками показаны наиболее существенные переходы (>0,2 в таблице); тонкими – 0,1-0,2; пунктиром – 0,05-0,1. За начальное положение взято состояние БМ, характеризующее смену трансгрессивной ветви осадконакопления на регрессивную.

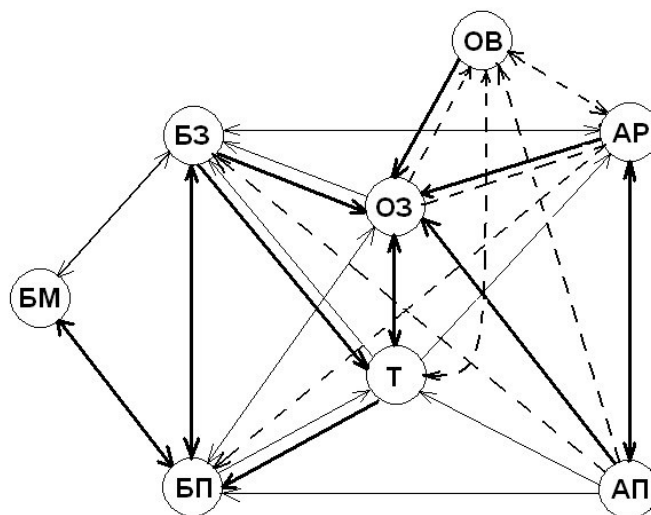


Рис. Модель процесса осадконакопления

По модели осадконакопления можно выявить цепочки переходов, которые соответствуют элементарным циклам седиментации:

1. БМ – БП – БЗ – ОЗ – Т – АР – АП – БП' – БМ'
2. ОВ – ОЗ – Т – АР – АП – ОЗ' – ОВ'.

БП', БМ', ОЗ' и ОВ' сходны с элементами цепочки БП, БМ, ОЗ и ОВ соответственно, но не тождественны им.

Из модели следует, что подвижное мелководье (БМ) находится как бы в стороне от основной схемы. В большинстве случаев эта фация переходит только в полуизолированное мелководье (БП) и реже в фацию заливов (БЗ). Они, в свою очередь, тесно связаны как между собой, так и с застойными озерами (ОЗ) и болотами (Т). Заболачивающиеся отложения расположены в центре модели. Они являются основными переходными между бассейновыми и континентальными фациями. Фации русла и поймы в редких случаях могут попадать в полуизолированное мелководье и заливы соответственно без прохождения заболачивающейся части. В открытые озера переходит каждая континентальная фация, правда, не часто, поэтому ОВ, как и БМ, обособлены от схемы. ОВ и БМ фиксируют конечное положение трансгрессивной части разреза.

В статье показано, как можно применять один из методов математики в осадочной геологии. С помощью цепей Маркова вычисляются вероятности перехода из одной фации в другую, строятся модели осадконакопления, по которым можно установить общие закономерности разреза на определенной площади.

Литература

1. Алексеев В.П. Строение и корреляция отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 227 с.
2. Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. – М.: Мир, 1974. – 318 с.
3. Reigl В.М., Purkis S.J. Markov models for linking environments and facies in space and time (Recent Arabian gulf, Miocene Parathys). – 42 p. [Электронный ресурс]. URL: <http://magg.rsmas.miami.edu/rnggsa/rieglfinal.pdf>.