

горизонта на 15-е сутки наблюдается повсеместное снижение уровней напорных вод в пределах от 2,1 до 2,7 м, тем самым создается нисходящий поток интенсивностью от 0,0012 до 0,0027 м/сут. Одновременно наблюдается постепенное уменьшение минерализации грунтовых вод и увеличение минерализации верхних напорных вод.

Абуталиев Ф.Б.
(Ин-т кибернетики АН УзССР)
Усманов Р.Я., Каримов Р.К.
(Ташкентский электротехнический
институт связи - ТЭИС)

ЭИ. ВИЭМС. Мат. методы и АС в геологии. Отеч. произв. опыт, 1988, вып.4, с. 1-6.

РАСЧТИ 38.01.77
УДК 519.67:550.8/86

СПОСОБ ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАСТОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Для эффективной обработки геологоразведочной информации у нас в стране и за рубежом используются математические модели месторождений. Как правило, такие модели строятся для определенных стадий освоения месторождения (разведки, подсчета и утверждения запасов, проектирования горнодобывающих предприятий, планирования отработки месторождения). Однако трудозатраты на подготовку и ввод в ЭВМ больших по объему массивов геологических данных, повторяющиеся практически в полном объеме для каждой из перечисленных стадий, сводят к минимуму эффективность использования таких моделей. В связи с этим становится актуальной задача разработки универсальной модели месторождения, которая после построения в дальнейшем только динамически развивается и уточняется при поступлении новой геологической информации. Такая универсальная модель может быть использована как геологами для подсчета запасов, так и горняками для подсчета объемов добычи руды и вскрыши.

В статье освещается способ построения универсальной дискретно-аналитической математической модели месторождения, представленного горизонтальными, наклонными или крутопадающими пластовыми залежами. В соответствии с принятой дискретной структурой модели все геологическое пространство проецируется на плоскость XOY в виде сетки узловых точек. Из каждой узловой точки восстанавливается перпендикуляр, на котором последовательно откладываются рудные

и породные интервалы. Интервал характеризуется набором параметров (мощность пласта, глубина залегания, содержание полезных и вредных компонентов и т.д.). В каждом конкретном случае набор этих параметров определяется совокупностью геологических и горно-технологических задач, для решения которых используется модель.

Исходной информацией для определения значений горно-геологических параметров при построении модели и последующей ее корректировки являются данные геологического опробования. В силу дискретности и неравномерности сети разведочных выработок только в некоторых узловых точках плоскости XOY имеются данные наблюдений. Процесс восстановления формы, структуры и качественных характеристик залежи на основе дискретных данных разведки, принятый в рассматриваемом методе, можно условно разбить на следующие этапы моделирования:

- 1) автоматизированное построение нулевого контура;
- 2) определение участков взаимного объединения отдельных рудных пропластков и выклинивания рудных тел;
- 3) интерполяция значений горно-геологических параметров в границах нулевого контура;
- 4) выделение промышленных и сортовых контуров рудной залежи.

Рассмотрим последовательно выделенные этапы моделирования.

1. В дискретной модели реализованы наиболее распространенные методы построения нулевого контура: а) проведение нулевого контура на середине расстояния между рудными и безрудными выработками; б) проведение нулевого контура параллельно внутреннему на заданном расстоянии, определяемом методами геостатистики или размерами сетки скважин на граничных участках. Для автоматизированного построения линии нулевого контура использован метод ближайшего района в его интерпретации для дискретной сети узловых точек.

Математически эти построения сводятся к следующей задаче. В границах геологического пространства D имеется G точек наблюдений (пробы или пересечения по разведочным выработкам) с координатами $\{x^g, y^g\} \in D, g = 1, G$. Выделить в области D такие G подмножеств точек с центральными точками $\{x^g, y^g\}$, чтобы каждая r -я точка любого подмножества с координатами $\{x_r^g, y_r^g\}$ была ближе к центральной точке этого подмножества $\{x^g, y^g\}$, чем к любой центральной точке другого подмножества.

$$(x_r^g - x^g)^2 + (y_r^g - y^g)^2 < (x_r^g - x^l)^2 + (y_r^g - y^l)^2 \quad (I)$$

$$l = 1, 2, 3, \dots, g-1, g+1, \dots, G$$

Алгоритм решения этой задачи основан на итерационном процессе и сводится к следующему (рис.1). В результате разнесения данных опробования в узлы сетки плоскости моделирования задается опорное распределение точек наблюдения $\{x^g, y^g\} \in D$. Каждой точке наблюдения присваивается признак РУДНЫЙ - p^p или БЕЗРУДНЫЙ - p^n соответственно для рудной или безрудной выработки. Далее проводится первая итерация, в результате которой признаки (p) РУДНЫЙ и

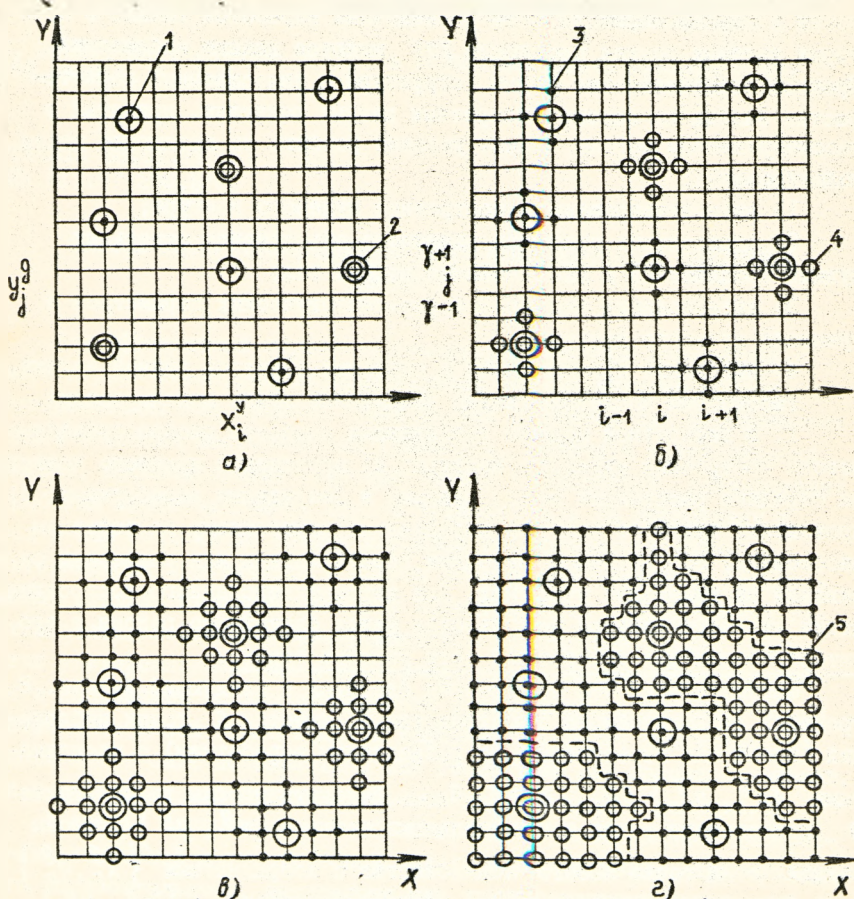


Рис.1. Схема построения нулевого контура
 а - исходное опорное распределение данных опробования; б, в - разнесение данных после первой и второй итерации; г - результаты построения нулевого контура
 1 - узловые точки расположения безрудных скважин; 2 - соответственно - рудных; 3 - узловые точки, в которые разносится признак БЕЗРУДНЫЙ; 4 - РУДНЫЙ; 5- нулевой контур.

БЕЗРУДНЫЙ и значения соответствующих параметров распространяются из точки $A_{i,j}$ с координатами $\{x_i^g, y_j^g\}$ как из центра в ближайшие узловые точки, с учетом условий:

$$\begin{aligned}
 A_{i-1,j} &= P_{i,j} & , & \text{если} & & A_{i-1,j} \neq P^P \vee A_{i-1,j} \neq P^N \\
 A_{i+1,j} &= P_{i,j} & , & \text{если} & & A_{i+1,j} \neq P^P \vee A_{i+1,j} \neq P^N \\
 A_{i,j-1} &= P_{i,j} & , & \text{если} & & A_{i,j-1} \neq P^P \vee A_{i,j-1} \neq P^N \\
 A_{i,j+1} &= P_{i,j} & , & \text{если} & & A_{i,j+1} \neq P^P \vee A_{i,j+1} \neq P^N
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\bar{i} = \overline{1, I}; \quad \bar{j} = \overline{1, J} .$$

Проводится вторая итерация и т.д., пока не заполняются все узловые точки области моделирования, с учетом того, что ни один участок, относящийся к определенной выработке не перекрывает другой. Все области с признаком РУДНЫЙ объединяются, а линия, ограничивающая эти области, образует нулевой контур. В случае, если расстояние между выработками велико или на некоторых участках отсутствуют безрудные выработки, нулевой контур отстраивается по второму методу. Отличие в этом случае состоит в том, что итерационный процесс продолжается до тех пор, пока расстояние, на которое распространяется признак РУДНЫЙ не превысит заданной длины. Например, за это расстояние может приниматься шаг сетки разведочных скважин на участке разведки категории C_T .

Для пологих и крутопадающих залежей предложенный алгоритм имеет ряд особенностей, связанных с необходимостью расчета значения текущей глубины залегания пласта (координаты Z) в каждой узловой точке на плане с учетом азимута линии простирания пласта и угла падения пласта в точках опробования.

Достоинством предложенного алгоритма метода ближайшего района в отличие от его традиционной реализации при ручной технологии является комплексный учет всех выработок и их пространственного положения; оперативность, универсальность и однозначность вычислений; возможность широкого использования при решении горно-геологических задач.

2. Если рудное тело представлено свитой пластов, то при моделировании возникает задача определения участков взаимного объединения, разделения, выклинивания отдельных рудных пропластков и геометрического построения на этих участках поверхностей раздела руды и породы. Отсутствие среди геологов единого методического

подхода затрудняет математическую формализацию этой задачи для последующей ее реализации на ЭВМ.

В связи с этим возникает необходимость установления такого критерия, который в каждом конкретном случае позволял бы при ме делировании получить однозначное решение, достаточно близкое к наиболее вероятному традиционному решению. В качестве критерия предлагается использовать условие, учитывающее взаимное пространственное положение пропластков.

Если при распространении данных (согласно вышеприведенному алгоритму) пропластки, принадлежащие соседним выработкам, имеют общую область, то эти пропластки объединяются. В противном случае на этом участке производится выклинивание. Математически это условие представляется в виде неравенства

$$\left| z_{i,j}^g - z_{i',j'}^{g+1} \right| \leq \max \left(m_{i,j}^g / 2; m_{i',j'}^{g+1} / 2 \right), \quad (3)$$

где $z_{i,j}^g$ - расчетная отметка глубины залегания пропластка в i, j -й точке на плане, отнесенной к g -й выработке.

$z_{i',j'}^{g+1}$ - расчетная отметка глубины залегания пропластка в i', j' -й точке на плане (смежной с i, j -й точкой), отнесенной к $g+1$ -й выработке.

$m_{i,j}^g; m_{i',j'}^{g+1}$ - мощности рудных пропластков в соответствующих точках.

Если условие (3) не выполняется, то на данном участке производится выклинивание. На рис.2 приведены схемы, наглядно иллюстрирующие принцип действия предложенного критерия при математическом моделировании пластовых месторождений (форма выклинивания для примера принята в виде треугольника).

3. В результате распространения данных по выработкам при реализации метода ближайшего района функция распределения значений горно-геологических параметров имеет разрывы в точках, расположенных на середине расстояния между соседними выработками (рис.3, а). Для восстановления более реального распределения, близкого к природному, применяется интерполяция. В качестве интерполирующего уравнения предлагается использовать уравнение Лапласа, конечно-разностный аналог которого для двумерного случая с дискретной квадратной сеткой имеет вид:

$$U_{i,j} = \left[U_{i+1,j} + U_{i-1,j} + U_{i,j+1} + U_{i,j-1} \right] / 4, \quad (4)$$

где $U(x, y)$ - функция распределения моделируемого параметра.

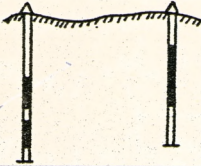
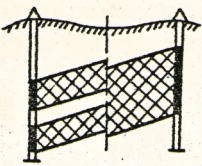
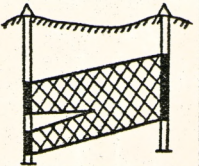
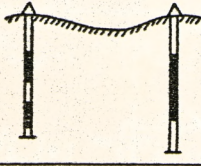
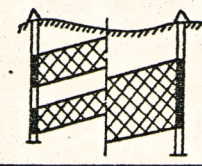
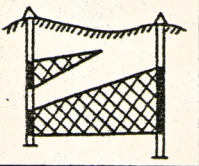
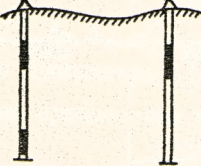
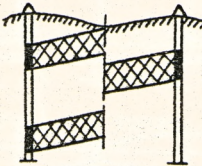
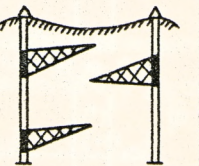
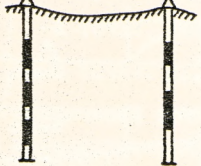
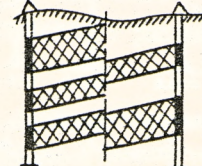
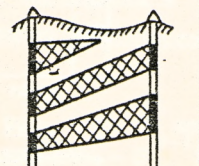
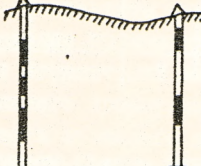
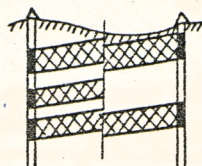
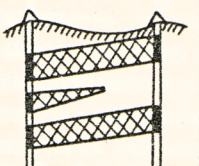
Исходное распределение пропластков по выработке	Взаимное положение пропластков после разнесения данных	Результаты восстановления формы залежи
		
		
		
		
		

Рис.2. Фрагменты восстановления формы рудной залежи между выработками при дискретно-аналитическом моделировании пластовых залежей

710

Восстановление значений горно-геологических параметров основано на свойстве интерполирующего уравнения Лапласа, заключающемся в постепенном выравнивании значений от точек с высоким значением параметра к точкам с низким значением. При интерполяции общий вид

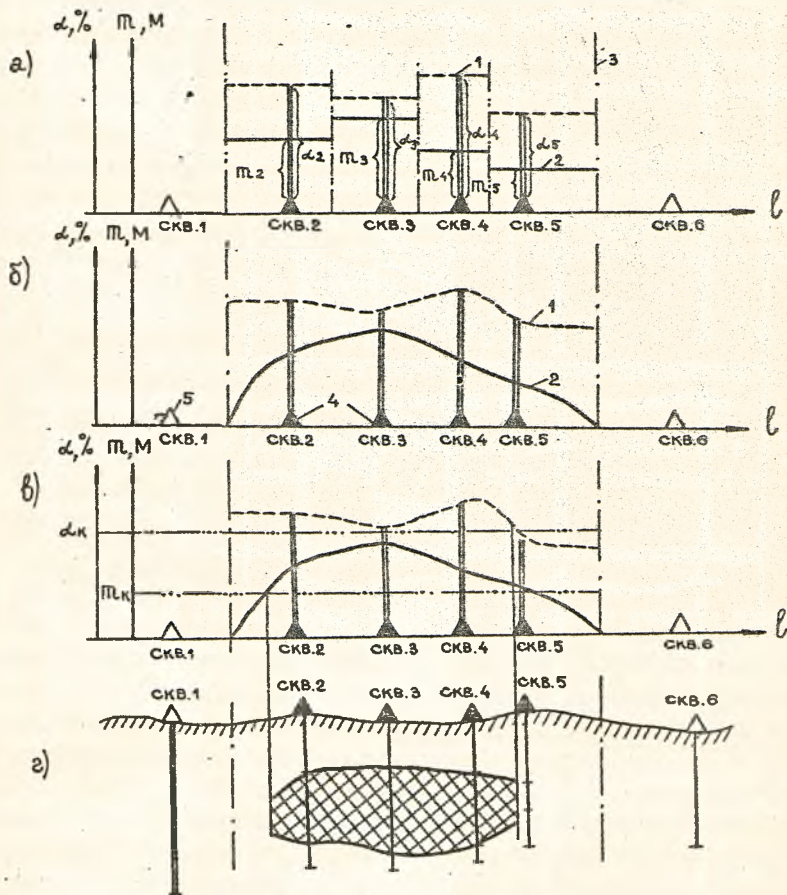


Рис.3. Последовательность формирования модели месторождения

а - результаты распространения данных по предложенному алгоритму метода ближайшего района; б - результаты восстановления значений горно-геологических параметров при интерполяции; в - выделение промышленных контуров; г - графическая интерпретация результатов моделирования:
 I - содержание полезного компонента; 2 - мощность залежи;
 3 - нулевой контур; 4 - рудные выработки, 5 - безрудные

уравнения (4) трансформируется в более конкретную форму с учетом особенностей восстановления каждого моделируемого параметра. Например, при интерполяции значений мощности уравнение (4) видоизменяется с учетом следующих преобразований

$$\begin{aligned}
 U_{i-1,j} &= (m_{i-1,j}^{\ell_1} + m_{i-1,j}^{n_1})/2 + \left| z_{i-1,j}^{\ell_1} - z_{i-1,j}^{n_1} \right| \\
 U_{i+1,j} &= (m_{i+1,j}^{\ell_2} + m_{i+1,j}^{n_2})/2 + \left| z_{i+1,j}^{\ell_2} - z_{i+1,j}^{n_2} \right| \\
 U_{i,j-1} &= (m_{i,j-1}^{\ell_3} + m_{i,j-1}^{n_3})/2 + \left| z_{i,j-1}^{\ell_3} - z_{i,j-1}^{n_3} \right| \\
 U_{i,j+1} &= (m_{i,j+1}^{\ell_4} + m_{i,j+1}^{n_4})/2 + \left| z_{i,j+1}^{\ell_4} - z_{i,j+1}^{n_4} \right| ,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где $m_{i-1,j}^{\ell_1}$, $z_{i-1,j}^{\ell_1}$ - мощность и глубина залегания начального ℓ_1 -го пропластка в $\{i-1, j\}$ -й точке, объединяемого с рассматриваемым пропластком в $\{i, j\}$ -й точке; $m_{i-1,j}^{n_1}$, $z_{i-1,j}^{n_1}$ - мощность и глубина залегания конечного n_1 -пропластка в $\{i-1, j\}$ -й точке, объединяемого с рассматриваемым пропластком в $\{i, j\}$ -й точке.

Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока во всех точках моделируемой области не выполнится условие $|U^n - U^{n-1}| \leq \varepsilon$, ε - заданная точность интерполяции.

4. Результаты интерполяции графически представлены на рис.3, б. Выделение промышленных контуров руд производится с учетом кондиционных ограничений минимальной мощности рудного пропластка и минимального промышленного содержания или бортового содержания компонента полезного ископаемого - C_K . Математически условие выделения узловых точек модели, лежащих в промышленных контурах залежи, можно записать неравенствами:

$$C_{i,j} \geq C_K \wedge m_{i,j} \geq m_K \tag{6}$$

$C_{i,j}$ - содержание компонента в $\{i, j\}$ -й точке;

$m_{i,j}$ - мощность залежи в $\{i, j\}$ -й точке.

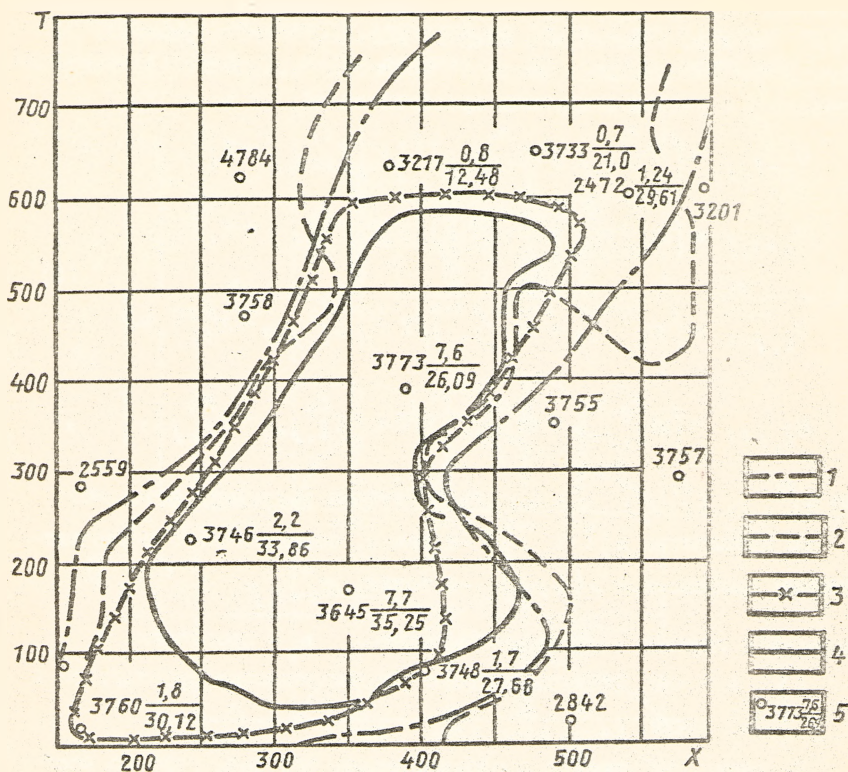


Рис.4. Оконтуривание рудных залежей традиционным способом и с использованием ЭВМ

1,3 - нулевой и промышленный контур, построенный традиционным способом при "ручной" технологии; 2,4 - нулевой и промышленный контур, построенный с использованием ЭВМ; 5 - номер скважины и данные по сиважине (мощность рудного пласта, содержание полезного компонента)

На рис.3,в,г схематично показано выделение промышленных границ рудной залежи.

Возможность изменения (варьирования) параметров кондиций позволяет оперативно получить многовариантные выделения промышленных контуров.

На рис.4 приведены результаты моделирования участка месторождения серы с минимальной кондиционной мощностью рудного пласта - 2 м и при минимальном промышленном содержании серы - 10% .

Ю.П.Ашаев, Г.Н.Андреева
(Казахский политехнический институт
им.В.И.Ленина)
П.Ф.Ашаев (КОМЭ Мингео КазССР)

ЭИ. ВИЭМС. Мат. методы и АС в геологии, 1988, вып.4, с. 6-15.

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я

М.Д.Белонин (председатель), А.Н.Бугаец (зам.председателя),
А.М.Марголин (зам.председателя), А.В.Ермакова (ученый секретарь),
В.И.Аронов, В.Н.Буланкин, В.Ф.Булушев, В.А.Ванюшин,
В.В.Давиденко, Р.И.Коган, М.А.Комаров, В.А.Медведев,
Э.Ю.Миколаевский, М.Г.Никитина, Ю.В.Подольский, Д.А.Родионов

С о д е р ж а н и е

Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н., Каримов Р.К. Метод численного моделирования процессов переноса солей в многослойных пластах.....	I
Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н., Ашаев П.Ф. Способ дискретно-аналитического моделирования пластовых залежей.....	6

410