

*А. П. ГРУДЕВ, И. Д. САВИНСКИЙ, О. В. МОРОЗОВ,
В. С. ЛЕТЯГИН, Л. Д. СТЕПАНОВА*

МНОГОВАРИАНТНЫЙ ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПЛАСТООБРАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ЭВМ (НА ПРИМЕРЕ ТАПАСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУКЕРСИТОВ)

В СССР известны девять сланцевых бассейнов, а также ряд отдельных месторождений горючих сланцев — в общей сложности более 80 месторождений и сланцепроявлений. Их общие геологические ресурсы оцениваются в 213 млрд. т, из которых балансовые запасы категорий А, В, С₁ и С₂ в сумме составляют всего 12 млрд. т, или 6 % [1, 2]. Поскольку горючие сланцы являются важным энергетическим и перспективным технологическим сырьем, предстоят большие разведочные работы, призванные обеспечить перевод прогнозных ресурсов в балансовые запасы.

Разрабатывавшаяся во Всесоюзном научно-исследовательском геологоразведочном угольном институте (ВНИГРИуголь, Ростов-на-Дону) комплексная научно-исследовательская программа изучения горючих сланцев СССР предполагает разработать и усовершенствовать в соответствии с современными требованиями ГКЗ СССР, а также сланцедобывающей и перерабатывающей промышленности [3] методики геологоразведочных работ, в частности опробования и подсчета запасов, определения оптимальной плотности разведочной сети на разных стадиях разведки, оценки разведанности запасов. Для решения перечисленных задач могут быть использованы алгоритмы и программы для ЭВМ, разработанные в лаборатории математических методов Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС) Министерства геологии СССР [4—7].

В целях увеличения выхода товарной продукции и более полного извлечения запасов предполагается также разработать основы выбора кондиций на горючие сланцы [1, 3]. Это возможно лишь при том условии, что будут надежно определены оптимальные параметры кондиций. Сложившаяся практика сопоставления нескольких вариантов подсчета запасов [1, 8] при параметрах кондиций, назначаемых в известной мере субъективно — исходя из опыта специалиста и по аналогии с характеристиками разрабатываемых месторождений такого же типа, не может обеспечить достаточно корректных результатов.

Для решения проблемы выбора оптимальных кондиций и наиболее точного подсчета запасов может быть использована цифровая модель месторождения, построенная с помощью интерполяционного полинома [5] по имеющимся геологоразведочным данным. Ниже, на примере Тапаского месторождения кукерситов, демонстрируются возмож-

ности выбора основных параметров кондиций на основе такого подхода.

Использованная для оптимизации параметров программная система (ПС) «РЗ-1» предназначена для обработки на ЭВМ ЕС данных опробования разведочных скважин (в отдельных случаях — подземных горных выработок и горизонтов карьеров) для решения широкого круга задач: геометризации тел полезного ископаемого, многовариантного подсчета балансовых и извлекаемых запасов, сглаживания кривых (например, графиков опробования по профилям), выбора разведочной сети и др. Данные опробования — значения теплоты сгорания сланца, мощности, содержания полезного ископаемого и т. д. — могут быть заданы по редкой и неправильной сети, при числе скважин от первых десятков до двух тысяч. ПС «РЗ-1» может применяться на месторождениях различных полезных ископаемых; при этом ее использование наиболее эффективно в тех случаях, когда тело полезного ископаемого пересекается сетью разведочных скважин на полную мощность (пластовые, пластообразные и жильные залежи — например, залежи кукурситовых или диктионемовых сланцев, фосфоритов и т. д.).

Цифровой моделью месторождения служат значения интерполяционной или сглаживающей поверхности (например, для продуктивностей [1, 8], мощности, теплоты сгорания сланца, содержания полезного компонента), рассчитанные в узлах прямоугольной сети требуемой густоты. Записанные на магнитный диск массивы значений теплоты сгорания сланца (или содержания полезного компонента в случае других полезных ископаемых), мощности, продуктивностей и (или) других показателей цифровой модели позволяют, с одной стороны, осуществить с помощью специальной программы автоматизированное построение карт в изолиниях для этих показателей, решить задачи оконтуривания залежей минерального сырья [6], а с другой — произвести многовариантный подсчет запасов, средней теплоты сгорания сланца (среднего содержания), средней мощности в пределах всей площади опробования или произвольно заданного на ней участка. Результаты расчета значений запасов и других показателей при различной величине параметров кондиций целесообразно представлять в виде номограмм в изолиниях, как показано ниже для Тапаского месторождения.

Необходимое условие при построении цифровой модели залежи — наличие «закономерной» составляющей изменчивости содержания (теплоты сгорания сланца и т. д.) и (или) мощности, которая проявляется при данной сети скважин, а также не слишком значительная степень неравномерности сети. Ограничение неравномерности может быть выражено следующим приблизительным соотношением:

$$4\Delta r_{\min} > d_{\max},$$

где Δr_{\min} — минимальное расстояние между соседними точками сети; d_{\max} — диаметр окружности, вписывающейся в наибольшую из «пустот» сети.

Если расположение скважин не удовлетворяет указанному неравенству, проводится предварительная подготовка материалов: вместо сближенных точек ставится промежуточная, которой приписывается усредненное значение показателя, а в центре чрезмерно больших «пустот» проставляется точка со значением показателя, полученным усреднением окружающих значений.

Нахождение интерполяционной с сглаживающей поверхностей при задании исходных значений на плоскости основано на представлении поверхностей в виде, предложенном в [5]:

$$u(x, y) = \frac{1}{2\pi} \sum_j^n \frac{\alpha_j(2+p)h}{[(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + h^2(2+p)^2]^{3/2}}, \quad (1)$$

где α_j — коэффициенты полинома, представляемого функциями ядра интегрального уравнения Пуассона, $j=1, 2, \dots, n$; p — параметр сглаживания; h — постоянный параметр, который берется равным примерно среднему расстоянию между точками сети (но не более удвоенного минимального расстояния между соседними точками).

После нахождения всех α_j по формуле (1) при коэффициенте сглаживания $p=0$ вычисляются значения интерполяционной поверхности $u(x, y)$. Для получения значений сглаживающей поверхности $\tilde{u}(x, y)$ задается $p > 0$ (обычно $1 \leq p \leq 6$).

Благодаря использованию в полиноме (1) функций, убывающих до нуля с удалением от точки максимума (x_j, y_j) (скорость убывания определяется параметром h), найденная интерполяционная поверхность плавно соединяет измеренные значения $u(x, y)$ при неограниченно большом числе точек измерения n . Одновременно возможно успешное построение поверхности при малом числе измерений, расположенных по редкой и неправильной сети.

В [6, 7] на примере рудных месторождений было показано, что построение цифровой модели месторождения с помощью алгоритма (1) [5] позволяет производить подсчет запасов месторождений с большей точностью, чем в случае использования традиционных способов, основанных на вычислении среднеарифметических значений исходных данных (метод геологических блоков и др.). Повышение точности подсчета запасов обеспечивается тем, что при суммировании значений цифровой модели устраняются погрешности, обусловленные неравномерным расположением разведочных скважин (обычным в практике геологоразведочных работ является сгущение сети скважин на участке более богатых руд, для крутопадающих залежей — в области малых глубин). Одновременно появляется возможность более эффективного выделения контура балансовых руд (сланцев) [6]. Последнее обстоятельство оказалось весьма существенным для Тапаского месторождения, о чем подробно будет сказано ниже.

При многовариантном подсчете запасов и вычислении ряда других показателей в ПС «РЗ-1» выполняются следующие операции.

1. После ввода в ЭВМ исходных значений теплоты сгорания сланца Q_i ($i=1, 2, \dots, N_Q$) и мощности m_i ($i=1, 2, \dots, N_m$) с координатами x_i, y_i в каждой точке опробования на плане или разрезе вычисляются значения «метропроцентов» $q_i = Q_i m_i$ ($i=1, 2, \dots, N_q$). (В случае, если значения Q_i или m_i для отдельных точек опробования не определены, N_Q, N_m и N_q могут быть различными.)

2. С помощью полинома (1) по исходным Q_i, m_i и q_i находятся соответствующие интерполяционные (или сглаживающие) поверхности со значениями, определенными в одних и тех же точках квадратной сети требуемой густоты в пределах заданного прямоугольного контура (цифровая модель). На основе найденной интерполяционной поверхности автоматически на графопостроителе строится карта в изолиниях.

3. По заданным наименьшим значениям минимального содержания полезного компонента (минимальной теплоты сгорания сланца в пересчете на сухое топливо и т. д.) Q_{\min}^0 и истинной мощности залежей m_{\min}^0 , по шагам их возрастания D_Q и D_m , а также по общему числу соответствующих параметров K_Q и K_M вычисляются очередные значения минимального содержания полезного компонента по пересечению тела полезного ископаемого (минимальной теплоты сгорания сланца и т. д.) Q_{\min}^h и истинной мощности залежи m_{\min}^h .

Определяются точки цифровой модели M , в которых значения Q_{M_i} и m_{M_i} одновременно превышают значения соответственно Q_{\min}^k и m_{\min}^k , и число таких точек N_k , а затем только по этим точкам вычисляются следующие показатели.

1. Запасы полезного компонента (металла и т. д.), т,

$$q_k^* = 10^{-3} d_R s_0 \sum_i^{N_k} q_i, \quad (2)$$

где d_R — объемная масса полезного ископаемого, ед. СИ (кг/м³); s_0 — площадь ячейки цифровой модели, м².

2. Запасы руды (горючего сланца и т. д.), т,

$$q_{R_k}^* = 10^{-3} d_R s_0 \sum_i^{N_k} m_i. \quad (3)$$

3. Средневзвешенное содержание полезного компонента (теплота сгорания сланца) в соответствующих единицах,

$$\bar{Q}_k = \sum_i^{N_k} q_i / \sum_i^{N_k} m_i. \quad (4)$$

4. Средняя мощность, м,

$$\bar{m}_k = \frac{1}{N_k} \sum_i^{N_k} m_i. \quad (5)$$

5. Площадь рудного контура (контура кондиционных сланцев и т. д.), в тех же единицах, что и s_0 ,

$$S_k = s_0 N_k. \quad (6)$$

Расчет всех перечисленных величин можно производить как для всей площади разведки, так и для любого заданного на ней участка произвольной формы.

Вычисленные для каждой пары параметров кондиций Q_{\min}^k и m_{\min}^k значения запасов и других показателей ((2)—(6)) образуют соответствующие массивы, заданные по прямоугольной сети с шагом D_Q и D_m , числом точек по столбцу K_Q и по строке K_m . По этим массивам при помощи рассмотренного выше интерполяционного алгоритма строятся автоматически на графопостроителе номограммы в изолиниях, которые являются удобной формой представления результатов многовариантного подсчета балансовых или извлекаемых запасов и других необходимых показателей. Номограммы позволяют производить оптимальный выбор одновременно двух параметров кондиций Q_{\min}^k и m_{\min}^k , что создает основу для эффективной экономической оценки месторождений и решения проблем охраны недр.

На площади Прибалтийского сланце-фосфоритного бассейна наибольшую сланцenasыщенность имеет кукурзеский горизонт мощностью до 20 м. В нем выделяются два сланценосных подгоризонта — нижний, с главным промышленным пластом Эстонского, Ленинградского и Веймарнского месторождений, и верхний, представленный несколькими (до семи) разобщенными слоями кукурзита на Тапаском месторождении. Последнее является важным резервом дальнейшего развития сланцевой промышленности в Эстонской ССР. При общей площади месторождения 3 тыс. км² промышленное значение может иметь лишь участок в 1,2 тыс. км². Промышленная сланценосность связана с III сланцевым пластом мощностью 1,4—2,7 м (в среднем 1,9 м), запасы категории C_2 по которому в контуре изолинии 1,6 м, по данным [1, 2], составляют около 2 млрд. т условно чистого сланца

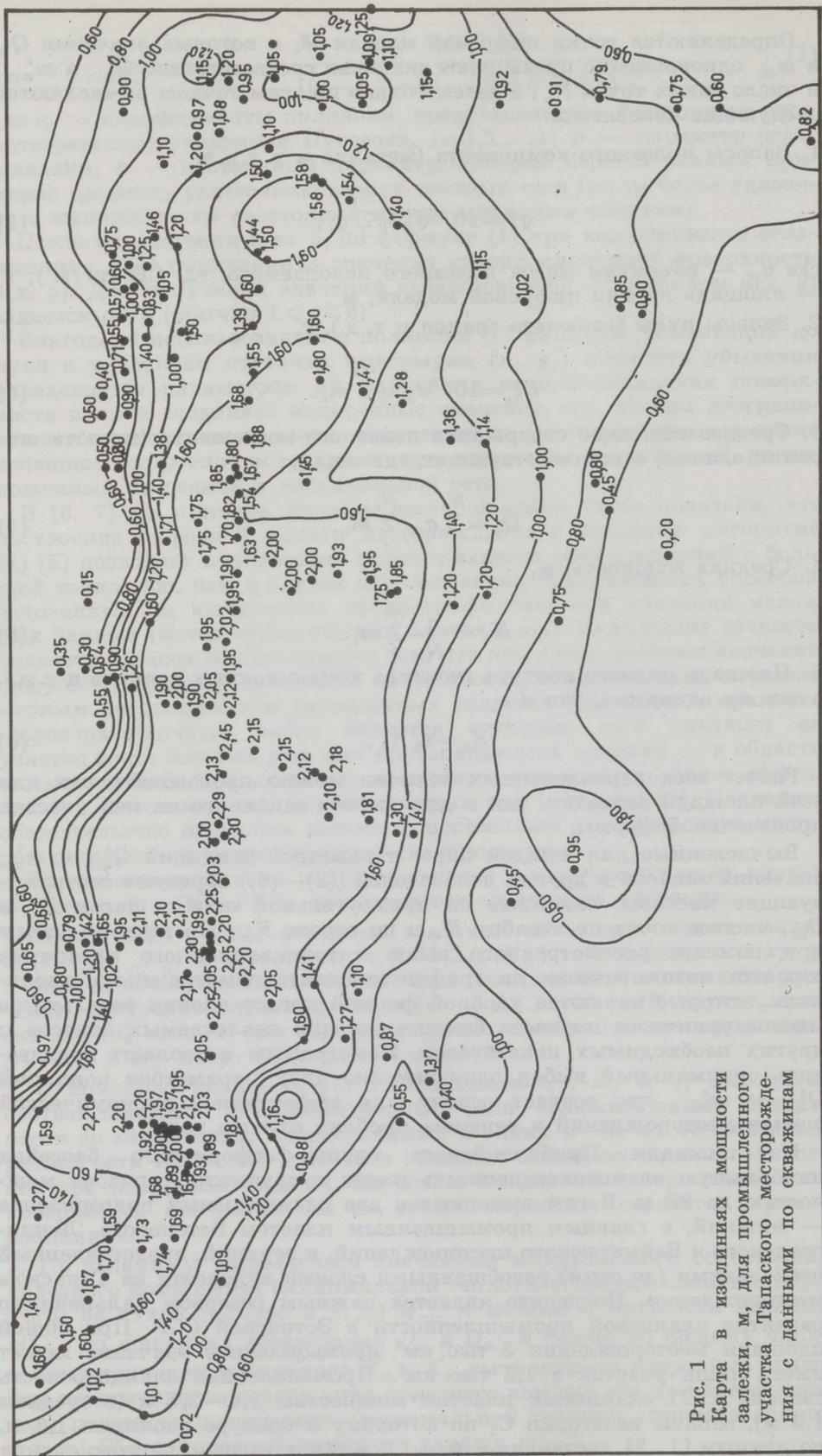


Рис. 1
 Карта в изолиниях мощности
 залежи, м, для промышленного
 участка Талаского месторожде-
 ния с данными по скважинам

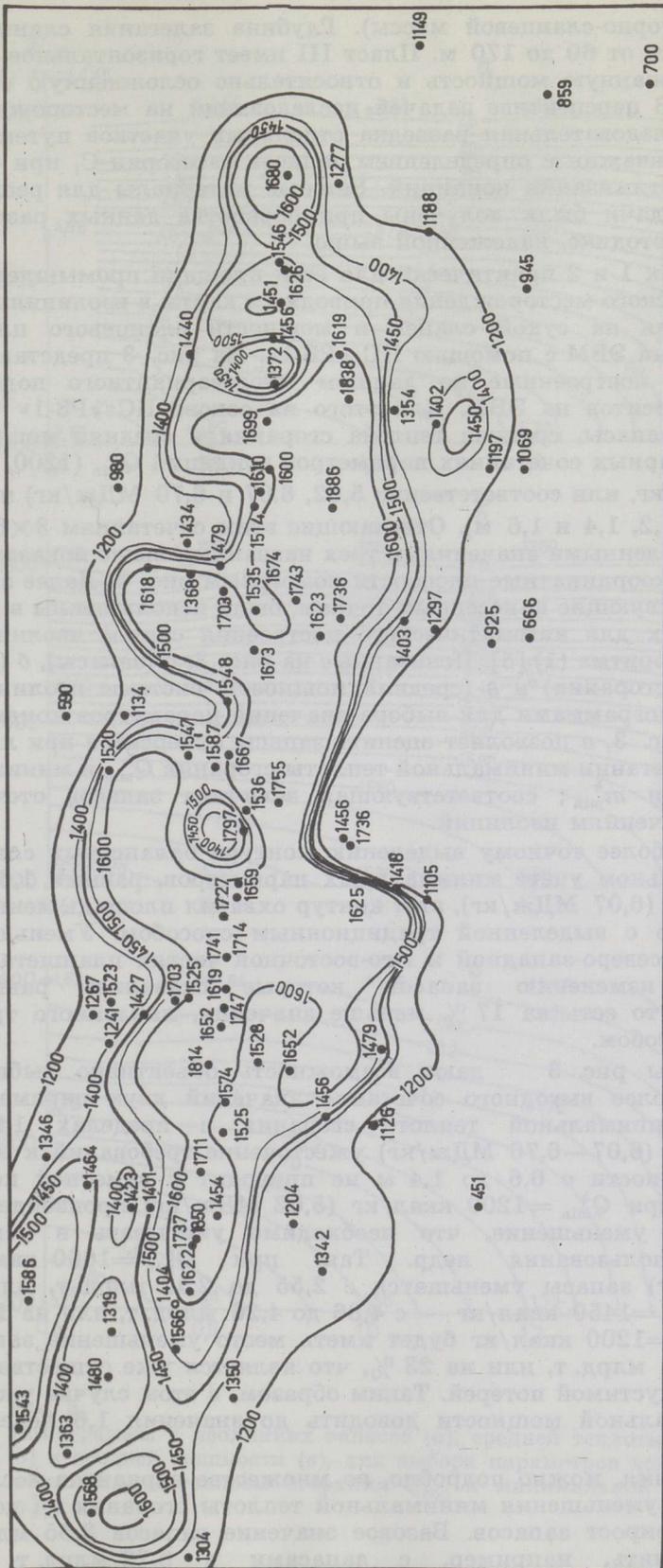


Рис. 2
 Карта в изолиниях теплоты сторания сланца, ккал/кг, для про-
 мышленного участка Талаского месторождения с данными по
 скважинам

(4,3 млрд. т горно-сланцевой массы). Глубина залегания сланценого горизонта от 60 до 170 м. Пласт III имеет горизонтальное залегание, выдержанную мощность и относительно осложненную структуру [1, 8]. В перспективе задачей исследований на месторождении является последовательная разведка отдельных участков путем сгущения сети скважин с определением запасов категории C_1 при одновременной оптимизации кондиций. Важные материалы для решения последней задачи были получены при обработке данных разведки на ЭВМ по методике, изложенной выше.

На рисунках 1 и 2 практически для всей площади промышленного участка Тапаского месторождения приводятся карты в изолиниях теплоты сгорания на сухой сланец и мощности сланцевого пласта, построенные на ЭВМ с помощью ПС «РЗ-1». На рис. 3 представлены номограммы, построенные по данным многовариантного подсчета запасов кукерситов на ЭВМ. Для этого на основе ПС «РЗ-1» были подсчитаны запасы, средняя теплота сгорания и средняя мощность при всех попарных сочетаниях параметров кондиций Q_{\min}^h (1200, 1450 и 1600 ккал/кг, или соответственно 5,02, 6,07 и 6,70 МДж/кг) и m_{\min}^h (0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4 и 1,6 м). Отвечающие этим сочетаниям $3 \times 6 = 18$ точек с вычисленными значениями трех названных выше показателей нанесены на координатные плоскости номограмм рис. 3. Далее значения, соответствующие нанесенным точкам, были использованы в качестве исходных для автоматического построения систем изолиний с помощью алгоритма (1) [5]. Показанные на рис. 3, а (запасы), б (средняя теплота сгорания) и в (средняя мощность) системы изолиний и являются номограммами для выбора значений параметров кондиций. Например, рис. 3, а позволяет оценить запасы кукерситов при любом попарном сочетании минимальной теплоты сгорания Q_{\min}^h и минимальной мощности m_{\min}^h ; соответствующая величина запасов отсчитывается по значениям изолиний.

Благодаря более точному выделению контура балансовых сланцев при параллельном учете минимальных параметров, равных 1,6 м и 1450 ккал/кг (6,07 МДж/кг), этот контур охватил площадь меньшую по сравнению с выделенной традиционным способом. Уменьшение произошло в северо-западной и юго-восточной частях планшета. Это привело к изменению запасов, которые оказались равными 3,55 млрд. т, то есть на 17 % меньше значения, найденного традиционным способом.

Номограммы рис. 3 дают возможность объективно выбирать область наиболее выгодного сочетания значений двух параметров. Так, при минимальной теплоте сгорания в пределах 1450—1600 ккал/кг (6,07—6,70 МДж/кг) ужесточение требований к минимальной мощности с 0,6 до 1,4 м не приводит к заметной потере запасов, но при $Q_{\min}^h = 1200$ ккал/кг (5,02 МДж/кг) произойдет их значительное уменьшение, что необходимо учитывать в аспекте полноты использования недр. Так, при $Q_{\min}^h = 1600$ ккал/кг (6,70 МДж/кг) запасы уменьшатся с 2,55 до 2,42 млрд. т, или на 5 %, при $Q_{\min}^h = 1450$ ккал/кг — с 4,86 до 4,26 млрд. т, или на 12 %. Но при $Q_{\min}^h = 1200$ ккал/кг будет иметь место уменьшение запасов с 7,57 до 5,81 млрд. т, или на 23 %, что является уже существенной и вряд ли допустимой потерей. Таким образом, в этом случае ужесточение минимальной мощности доводить до значения 1,6 нецелесообразно.

В то же время, можно подробно, во множестве вариантов исследовать влияние уменьшения минимальной теплоты сгорания на дополнительный прирост запасов. Базовое значение запасов 3,55 млрд. т можно сравнить, например, с запасами в 6,72 млрд. т при

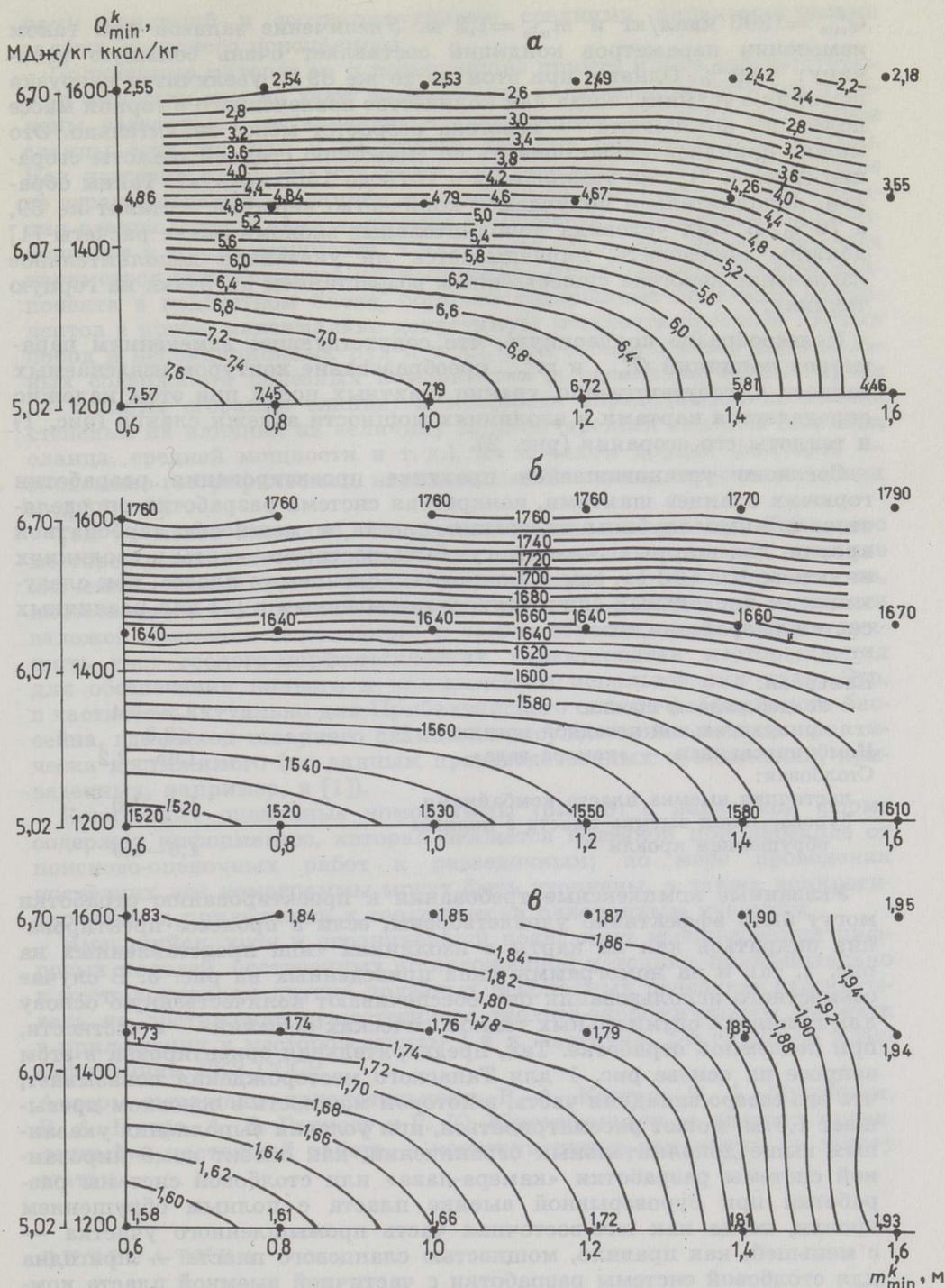


Рис. 3

Номограммы в изолиниях запасов (*a*), средней теплоты сгорания (*b*) и средней мощности (*v*), для выбора параметров кондиций — минимальной теплоты сгорания Q_{\min}^k и минимальной мощности m_{\min}^k

$Q_{\min}^k = 1200$ ккал/кг и $m_{\min}^k = 1,2$ м. Увеличение запасов при таком изменении параметров кондиций составляет очень большую величину: +89 %. Однако, при этом на те же 89 % увеличится нагрузка на горную технику, тогда как количество извлеченного в горной массе полезного компонента — керогена возрастет менее значительно. Это можно приблизительно оценить по снижению средней теплоты сгорания (рис. 3, б): она уменьшится с 1670 до 1550 ккал/кг. Таким образом, дополнительно получаемое количество керогена составит не 89, а 76 %. В этих условиях дополнительные экономические расчеты [1] должны определить, оправдывается ли указанное дополнительное извлечение керогена существенным возрастанием нагрузки на горную технику.

Целесообразно подчеркнуть, что сопутствующее изменениям параметров кондиций Q_{\min}^k и m_{\min}^k преобразование контуров извлекаемых запасов и, соответственно, границ шахтных полей при этом надежно определяется картами в изолиниях мощности залежи сланца (рис. 1) и теплоты его сгорания (рис. 2).

Согласно установившейся практике проектирования разработки горючих сланцев шахтами, конкретная система разработки определяется, помимо глубины залегания пласта и мощности карбонатной кровли, для которых также могут быть построены карты в изолиниях на основе ПС «РЗ-1», еще и мощностью сланцевого пласта, при следующих ее предельных значениях, установленных в [1] для различных систем разработки, м:

Камерная:

с поддержанием кровли 2,5—3,4
с принудительной посадкой кровли $\leq 3,3$

Комбинированная — «камера-лава» 1,65—2,2

Столбовая:

частичная выемка пласта комбайнами 1,4—1,6

буровзрывная выемка пласта с полным обрушением кровли 1,6—1,9

Указанные комплексные требования к проектированию отработки могут быть эффективно удовлетворены, если в процессе проектирования опираться как на карты в изолиниях типа представленных на рис. 1, так и на номограммы типа приведенных на рис. 3. В случае совместного использования они обеспечивают количественную основу для принятия оптимальных технологических решений — в частности, при подземной отработке. Так, предварительная ориентировка в этом вопросе на основе рис. 1 для Тапаского месторождения показывает, что его северо-западная часть, в которой мощность в основном превышает 1,6 м, может рассматриваться, при условии выполнения указанных выше дополнительных ограничений, как объект комбинированной системы разработки «камера-лава» или столбовой системы разработки при буровзрывной выемке пласта с полным обрушением кровли, тогда как юго-восточная часть промышленного участка — с меньшей, как правило, мощностью сланцевого пласта — пригодна для столбовой системы разработки с частичной выемкой пласта комбайнами.

Номограммы рис. 3, а и б демонстрируют применительно к горючим сланцам недопустимую примитивность «основного закона ресурсологии, согласно которому количество и качество ресурсов связаны между собой обратно пропорционально» [1]. Обратная зависимость, вообще говоря, действительно имеет место, но она не пропорциональная, а достаточно сложная, причем многомерная, поскольку запасы полезного ископаемого определяются не менее чем двумя парамет-

рами кондиций и соответствующими средними характеристиками залежи полезного ископаемого.

Полученные материалы и позволившие прийти к ним соответствующие методики еще не дают возможности полностью решить все проблемы, связанные с составлением и обоснованием кондиций на горючие сланцы (так же, как и на другие твердые полезные ископаемые). Как известно из [1, 8], кондиции для подсчета балансовых запасов не ограничиваются указанием минимальных значений теплоты сгорания сланца (содержания полезного компонента, отношения двух компонентов и т. д.) и мощности, а включают также ряд других важных параметров (минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке, бортовое содержание полезных компонентов в пробе, максимально допустимую мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд и т. д.). При этом значения минимальных содержаний полезных компонентов (в рассматриваемом случае — теплоты сгорания сланца) и мощности определяются не только степенью их влияния на величину запасов (средней теплоты сгорания сланца, средней мощности и т. д.), но и рядом других факторов — экономико-географических, народнохозяйственных, горнотехнических и др. [1, 8].

Тем не менее очевидно, что рассмотренная на примере Тапаского месторождения методика позволяет объективно оценивать влияние значений минимальных параметров кондиций на величину запасов, качественных показателей минерального сырья и средней мощности залежей полезного ископаемого и таким образом существенно улучшить учет геолого-морфологических характеристик месторождения для обеспечения полного и комплексного использования недр. Это, в частности, актуально для Прибалтийского сланце-фосфоритного бассейна, где выход товарного сланца пока существенно меньше практически достижимого (по данным производственных объединений, приведенных, например, в [1]).

Конкретные оценочные номограммы (рис. 3) в наглядной форме содержат информацию, которая окажется полезной при переходе от поисково-оценочных работ к разведочным; по мере проведения последних эти номограммы могут быть уточнены, а также конкретизированы в приложении к геологически однородным участкам.

Имеющийся, хотя и ограниченный пока, опыт использования цифровых моделей, построенных по изложенной методике, применительно к месторождениям других полезных ископаемых позволяет рассчитывать на достижение существенного геолого-экономического эффекта в приложении к месторождениям 1-й и, частично, 2-й групп по классификациям ГКЗ СССР.

Авторы выражают признательность В. А. Каттаю, Э. А. Мустыги, В. А. Пуура, А. В. Раукасу и Г. Ю. Юргенфельдту за интерес, проявленный к настоящей работе, и конструктивные замечания по тексту статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейнсалу Э. Я. Оптимальное развитие добычи горючего сланца. — Таллин, 1984.
2. Череповский В. Ф. Состояние минерально-сырьевой базы сланцевой промышленности и определение направления научно-исследовательских и геологоразведочных работ на горючие сланцы на XI пятилетку и перспективу // Состояние сырьевой базы сланцевой промышленности и направления геологоразведочных работ в XI пятилетке. — Таллин, 1984. — (Мат. сессии секции геол. угля, горючих сланцев и торфа Науч.-техн. совета М-ва геологии СССР, 15—17 июня 1982 г., г. Кохтла-Ярве).

3. Проект комплексной научно-производственной программы по изучению горючих сланцев на период 1981—1985 гг. / В. Я. Колесник, А. В. Внуков, Г. К. Хрусталева, А. Е. Виницкий, Э. Г. Курбатова // Там же.
4. Методические рекомендации по применению алгоритмов и программ для расчета разведочных сетей / Сост. И. Д. Савинский, А. П. Грудев, С. Г. Рабинович, А. А. Петрова. — М., 1979.
5. Савинский И. Д. Применение математических методов и ЭВМ при выборе разведочных сетей и построении планов в изолиниях. — М., 1974.
6. Савинский И. Д., Грудев А. П. Определение контура балансовых руд с помощью ЭВМ // Разведка и охрана недр. 1978. № 5. С. 18—22.
7. Савинский И. Д., Грудев А. П., Петрова А. А. Применение математических методов и ЭВМ для повышения точности подсчета запасов и построения карт в изолиниях // Геол. рудных месторождений. 1975. № 6. С. 108—114.
8. Методы и критерии промышленной оценки минерально-сырьевой базы сланцедобывающих предприятий / Под ред. И. П. Иванова, А. С. Левина. — Л., 1984.

Представил А. В. Раукас

*Всесоюзный научно-исследовательский
институт минерального сырья
г. Москва*

*Поступила в редакцию
8.01.1987
Повторно 29.05.1987*

*A. P. GRUDEV, I. D. SAVINSKII, O. V. MOROZOV,
V. S. LETYAGIN, L. D. STEPANOVA*

**ESTIMATION OF MINERAL RESERVES OF STRATUM-LIKE
DEPOSITS BY MEANS OF THE INTERPOLATION METHOD
(ON THE EXAMPLE OF THE TAPA KUKERSITE DEPOSIT,
ESTONIAN SSR)**

Using the RZ-1 (Russian P3-1) program system developed at the All-Union Research Institute for Mineral Raw Materials a numerical model for the Tapa kukersite deposit in Estonia has been constructed.

To construct the model, a method of determining interpolation surfaces by mean of the kernel functions of Poisson's integral equation has been used. The method enables construction of smooth interpolation surfaces on the basis of the values of bed thickness, productivity and combustion heat if the network of exploration boreholes is thin and irregular. Based on the new model, kukersite reserves of the Tapa field have been estimated at various minimum values of bed thickness and combustion heat.

On the basis of the results obtained nomograms have been constructed permitting optimization of standards of prospecting. The new procedure may be applied to different mineral deposits belonging to group I or II according to the classification of the USSR State Commission for Mineral Reserves.

*All-Union Research Institute
for Mineral Raw Materials
Moscow*