

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.93.61.009

УДК 622.1:744:004.92

© Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Л.Е. Мякишева, 2019

### Ю.М. ИГНАТОВ

канд. техн. наук, доцент  
КузГТУ, г. Кемерово  
e-mail: mnoc@mail.ru



### А.А. ГАГАРИН

главный маркшейдер  
АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий  
e-mail: gagarinaa@suek.ru



### Л.Е. МЯКИШЕВА

канд. техн. наук, доцент  
КузГТУ, г. Кемерово  
e-mail: Algebra1940@yandex.ru



## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

*На горнодобывающих предприятиях цифровой маркшейдерский план горных выработок создается, пополняется и используется в электронном виде и распечатывается для создания бумажных копий. Для автоматизированного решения геолого-маркшейдерских задач необходимо дополнять цифровые планы цифровыми моделями массива горных пород в соответствии с требованиями геоинформационного моделирования.*

*В статье приведен разработанный метод создания цифровой модели массива горных пород для интегрированной геоинформационной среды. В методе используется математический аппарат теории распознавания образов и способы обработки данных пакетами программ ГИС и прикладными модулями. Данный метод является частью разрабатываемой методики формирования геолого-прогнозной модели объекта на основе прогнозно-поисковых признаков, содержащихся в банке моделей эталонных объектов. Метод позволяет находить на плане аномальные зоны, делить площадь пласта на однородные участки по геологическим условиям и определять значения показателя в точке плана.*

*Приведены требования к создаваемой базе данных с цифровым описанием геологий с использованием средств ГИС. Приведены результаты применения разработанного метода прогнозирования горно-геологических условий.*

Ключевые слова: МАРКШЕЙДЕРСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАН, ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ.

### Создание цифровой модели массива горных пород

За последнее десятилетие в технических службах горнодобывающих предприятий отмечено стремительное внедрение цифровых технологий и прикладных пакетов программ. Их использование позволило создать цифровые маркшейдерские планы горных выработок (ЦМП).

Для решения геолого-маркшейдерских задач создание ЦМП необходимо выполнять в соответствии с требованиями ГОСТов на горную графическую документацию [1]. ЦМП на шахтах Кузнецкого угольного бассейна изготавливаются с использованием наиболее популярных систем автоматизированного проектирования [2]. ЦМП баз данных не содержат, и поэтому их можно использовать только как графическую основу (графический файл). На горнодобывающих предприятиях необходимо создавать цифровые модели массива горных пород (ЦМГП), чтобы применять мощный аппарат обработки пространственных данных, которым обладают ГИС.

Далее приводим разработанный нами метод создания ЦМГП с использованием программного обеспечения ГИС. Созданные по данному методу ЦМГП входят в состав ГИС, редактируются и анализируются в среде ГИС совместно с ЦМП. Свойства, благодаря которым ЦМП смыкаются с ЦМГП, заключаются в общей структуре данных, в методах представления графических материалов, базирующихся на системах автоматизированного проектирования (САПР). Анализ семантических данных в ЦМГП основан (как и в ГИС) на использовании систем управления базами данных (СУБД) [3].

ЦМГП представляет собой набор цифровых моделей поверхностей по отдельным показателям; предназначена для моделирования

массива горных пород и использования для пространственного анализа в пакетах программ ГИС и прикладных программах решения отдельных задач.

Для создания цифровых моделей поверхностей в состав БД входят данные: разведочных и эксплуатационных скважин, вскрывающих и подготовительных горных выработок, очистных выработок, геологических дизъюнктивов, складок и тектонических проявлений и многие другие. Информация берется из отчетов, проектов, заключений, карт, разрезов и др. В качестве источников пространственных данных кроме бумажных документов используются данные маркшейдерских и геологических замеров с целью обеспечения максимальной точности местоположения горных выработок и других пространственных объектов в векторном слое [4].

При определении типа локализации объектов в качестве основных критериев используются физические размеры моделируемых объектов, соотношенные с размерами других объектов и с масштабом отображения в плане. Непрерывный характер локализации отличается от дискретного типа тем, что характеристики объекта распределены по всей области представления пространственных данных (двухмерной или трехмерной).

В разработанном методе за упорядоченную форму хранения и представления объектов с непрерывной локализацией принят регулярно-ячеистый принцип организации данных. Для описания данных за минимальную единицу площади принимается ячейка правильной геометрической формы, а пространственно-распределенные признаки объектов хранятся в узлах регулярной сетки из ячеек. Значения показателя из точки замера с помощью интерполирования передаются в узлы сетки. Сетка представлена набором прямоугольных ячеек с перечнем значений по-

казателей в узлах, и для ее построения в ГИС есть прикладная программа.

База данных в ГИС состоит из графических и атрибутивных таблиц, жестко связанных между собой. Для их обработки в ГИС используются встроенные системы управления. Размеры ячеек для базы устанавливаются одинаковыми для всех показателей с целью их последующего объединения в единую таблицу. Приводим далее пример реализации разрабатываемого метода создания блочной модели с использованием программного обеспечения ГИС Mineframe [5].

Строится каркасная модель массива горных пород на основе векторной модели маркшейдерского плана горных выработок. Для того чтобы создать блочную модель, необходимо выбрать каркасную модель и нажать кнопку «Построить блочную модель». На вкладке «Настройки» задается точка отсчета блочной модели, которая указывает, откуда будет отсчитываться построение сетки модели — от начала региона моделирования или от точки объекта с минимальными координатами. В полях модели можно указать координаты, в пределах которых будет построена блочная модель. Размер блока по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  — длина стороны основного блока.

Ранг блока — число дополнительных блоков, которые могут быть. Увеличение ранга блока приводит к дальнейшему разделению основного блока на более мелкие блоки. Также если был установлен флажок «Разбиение по осям», то при построении блочная модель будет разбиваться на некоторые части, называемые регионами. Каждый регион можно загружать или выгружать и рассчитывать как отдельную блочную модель. Это позволит строить и обрабатывать блочные модели с большим количеством блоков.

Исследуемый объект разбивается на отдельные части и элементы, определяются их показатели, связи между ними и взаимодействия. В результате объект оказывается представленным в виде системы цифровых моделей поверхностей по отдельным показателям.

Изображение результатов осуществляется путем наложения на план матрицы с результа-

тами, после чего сеточные координаты импортируются в приложение. Затем по импортированным сеточным координатам создается слой покрытия, содержащий указанные ячейки. Далее координаты этих ячеек экспортируются из приложения вместе с информацией о свойствах горного массива на цифровой план горных выработок.

Высота блочной модели определяется переключателями «По высотной отметке». На панели меню «Размеры блока» можно указать размер блока по каждой из осей, а параметр «Ранг блока» указывает число дополнительных блоков, которые могут быть кратным образом размещены по каждой из сторон основного блока.

Чтобы открыть блочную модель в виде таблицы, необходимо выбрать модель объекта, у которого построена блочная модель, с помощью кнопки и нажать на кнопку «Табличное представление блочной модели». Первые три столбца ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) показывают координаты центра блока, следующие три ( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ ) — размеры блока по каждой оси, далее отображается список показателей, рассчитанных в блочной модели. Координаты центра блока могут быть выведены в геодезической системе координат.

В поле «Значение по умолчанию» указывается то значение показателя, которое будет при создании по умолчанию присвоено каждому блоку. В дальнейшем эти значения могут быть пересчитаны в редакторе формул. После добавления каждый новый параметр может быть рассчитан по формуле. Для этого используется кнопка «Выполнить вычисления». В поле «Столбец» указывается имя того столбца, в котором будут сделаны вычисления. В списке «Параметры» находятся все доступные для расчета параметры. При двойном щелчке на выбранном значении он переносится в поле «Формула» на текущее положение курсора.

При нажатии на кнопку «Выполнить» будет произведен расчет по введенной формуле и в каждый блок будет записано значение по рассчитанному параметру. Вычисление выполняется только для тех блоков, которые в данный момент отображаются в таблице. Т. е. если блочная модель была предварительно от-

фильтрована, то и рассчитывается только для данных блоков. Каждый раз при вычислении формулы она сохраняется. При нажатии кнопки отобразится диалог, в котором показан список всех формул, ранее сохраненных в блочной модели, а в выпадающем списке рядом можно выбрать формулу, по которой будет произведен расчет.

Для фильтрации таблицы используется кнопка «Фильтрация». Фильтрация может быть как пространственная, так и числовая. В списке «Объекты» перечислены все открытые на данный момент объекты. В каждом объекте располагается список элементов, которые содержат каркасную модель. В списке «Параметры» перечислены все доступные для расчета параметры. В списке «Действия» перечислены все доступные операции. Для пространственной фильтрации используются следующие операции: выше, ниже, внутри, снаружи.

В поле «Формула» будет вставлен выбранный контур, и формула будет иметь вид, например, внутри (CONTUR1). Тогда при нажатии на кнопку «Выполнить» в блочной модели останутся только те блоки, которые попали внутрь данного контура. Чтобы отобразить результат фильтрации на модели, необходимо нажать кнопку «Включить видимость блочной модели». Если включена кнопка, значит таблица на данный момент отфильтрована. Чтобы вернуться к исходной блочной модели, необходимо отщелкнуть данную кнопку, фильтр будет снят. Чтобы сохранить отфильтрованные блоки в отдельную блочную модель, необходимо нажать кнопку «Сохранить». Блочная модель будет создана на новом элементе текущего объекта. Кнопка «Экспорт в txt» позволяет сохранить данные в текстовый файл, а для того чтобы сохранить данные таблицы в Excel файл, необходимо нажать кнопку «Экспорт в Excel».

### Создание банка эталонных моделей

Создание ЦМГП целесообразно только для участков угольных пластов с изменяющимися геологическими условиями, с наличием аномальных зон, для определения их границ. Поэтому необходимо угольные пласты клас-

сифицировать на степень анизотропии.

В исследовании по распознаванию степени анизотропии участков применяются методы классификации. Задача распознавания состоит в том, чтобы на основе изучения характерных признаков относить новые объекты (новые площади шахтного поля) к определенному классу с учетом опыта на отработанных площадях.

Объектом классификации являются ячейки регулярной сетки  $C1$  — отдельный блок блочной модели (ячейка), наложенный на исследуемую территорию. Обозначим все множество  $C1$  символом

$$O = \{o_1, \dots, o_i\},$$

где  $o_i$  —  $i$ -й  $C1$ ;  $N$  — количество  $C1$ .

Целью классификаций является получение некоторого заранее заданного количества классов  $C1$ . В пределах каждого класса  $C1$  должны быть максимально «похожи» друг на друга, однородны, а  $C1$  из разных классов — максимально «отличаться».

В пространственном отношении  $C1$  описываются различными показателями и метриками, основными из которых можно считать способы расчета расстояния между  $C1$ . Помимо координатного пространства, исследуемая совокупность  $C1$  фиксирована и в пространстве  $M$  атрибутивных показателей. В этом пространстве  $C1$  теряют свои координаты независимо от своей первоначальной природы, становятся  $M$ -мерными точками. На отработанных частях шахтного поля, на которых была определена анизотропия участков, будем иметь площадь из ячеек правильной геометрической формы (объекты). Каждый объект может быть охарактеризован набором из  $N$  признаков, качественных и количественных характеристик, влияющих на анизотропию. Тогда каждую элементарную ячейку можно представить как векторный элемент в  $N$ -мерном пространстве. Сочетание одинаковых, близких по характеристикам объектов образует в  $n$ -мерном пространстве один образ. Однородные образы находятся ближе друг к другу, неоднородные образы находятся далеко друг от друга. Задача распознавания состоит в том, чтобы на основе изучения ха-

рактрных признаков относить новые объекты (новые площади шахтного поля) к тому или иному классу (образу) с определенной долей вероятности [3].

Деление площади угольного пласта на отдельные участки происходит при наличии объектно-ориентированного подхода к классификации объектов. Распознавание образцов — метод принятия наиболее рационального решения, когда есть опыт прошлого. Создание банка моделей эталонных объектов позволяет формировать поиск аномалий на основе прогнозно-поисковых признаков.

### Формирование обучающей выборки

Способом суммирования знаний является разработка банка моделей эталонных объектов, описанных множеством поисковых признаков. Для составления проекта горных работ необходимо устанавливать структурно-текстурные элементы массива пород в конкретных точках, прочностные, упругие и другие механические свойства вмещающих пород, наличие тектонических напряжений и другие показатели, которые могут значительно менять в пространстве свое численное значение.

Использование банка моделей позволяет производить классификацию новых объектов, и делать выводы о методах дальнейшего

изучения объектов. Простейшей разновидностью классификации является дихотомия (деление на две части), когда объём понятия делится на две части, в сумме полностью исчерпывающие объём делимого понятия. Далее создаем обучающую выборку, состоящую из двух классов с разной степенью анизотропии участков угольного пласта.

Степень анизотропии А (постоянные условия). За обучающую выборку такого класса принимается пласт 50, лава 50-03, шахта им. В.Д. Ялевского. Средняя мощность пласта составляет 3,85 м. Средний угол падения пласта не превышает 11°. Для отработки пласта, с учетом геологических условий, принято оборудование очистного забоя в составе механизированной крепи DBT. Для выемки угля принят выемочный комбайн SL-500 (фирмы Eickhoff), лавный конвейер SHPF-6/1342, перегружатель STPF-6/1342. Технической службой шахты разработан паспорт выемочного участка и ТЭО, в котором среднесуточная добыча угля проектируется в 35 тыс. тонн. При работе комплекса условия были однородными, проблем не было, план выполнялся.

Степень анизотропии Б (меняющиеся условия). За обучающую выборку такого класса принимаем пласт Полысаевский-1, лава 812, шахта им. А.Д. Рубана. При работе было много проблем с внезапным появлением аномальных зон (см. рис. 1).

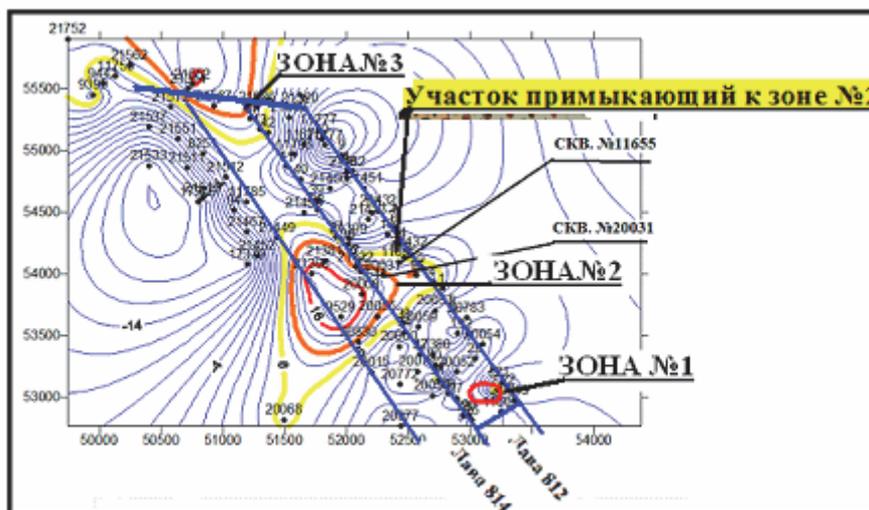


Рис. 1. Участок пласта «Полысаевский-2» с аномальными зонами в лаве 812

Аномальная зона № 1. Это мелкая складчатость с большим показателем кривизны, которая сильно затрудняла работу комплекса. Зоны № 2 и № 3 — это флексуры, которые на 25 метров отклоняются от аналитической поверхности, и в этой зоне интенсивность трещиноватости угольного пласта в два раза выше, чем на остальной площади пласта. В этих зонах происходят вывалы пород, и работа комплекса сильно затруднена.

### Формирование обучающей выборки в безразмерных координатах

По итогам анализа существующей нормативно-технической документации и обзора научно-методической литературы установлен перечень показателей горно-геологических условий, входящих в базу данных [3]. Практика показывает, что важнейшими являются характеристики: сложность гипсометрии, угол скручивания пласта, деформированность, трещиноватость, устойчивость непосредственной кровли, обрушаемость основной кровли, литологический код, коэффициент напряженности и др.

Горно-геологические факторы имеют разную размерность, различный диапазон изменения, могут быть и качественные факторы. Поэтому вводятся безразмерные величины, учитывающие опыт прошлого, зафиксированный в обучающей выборке распознаваемых классов. Эти безразмерные координаты являются вероятностатическими показателями принадлежности объектов к одному из выделенных классов.

При расчете частотных безразмерных координат определяют экстремальные  $x_{min}$  и  $x_{max}$  значения каждого фактора и диапазона разбивают на  $L$  интервалов с длиной, определяемой по формуле Стёрджесса

$$x = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3,2 \ln N},$$

где  $N$  — общее число объектов  $A$  и  $B$ .

В каждом интервале  $r$  определяется число объектов  $n_{Ar}$  класса  $A$  и  $n_{Br}$  класса  $B$ , а также  $n_r = n_{Ar} + n_{Br}$  — общее число объектов. Новой

безразмерной координатой является  $Z_{ij}$  — условная частота принадлежности  $i$ -го объекта ( $M_i$ ) по  $j$ -му фактору ( $X_j$ ) к классу  $A$ :

$$Z_{ij} = P_j(M_i \in A).$$

Рассчитываем по формуле

$$Z_{ij} = \frac{n_{Ar}}{n_r}.$$

Затем каждое значение данного фактора ( $j$ ) на каждом объекте ( $i$ )  $x_{ij}$  обучающей выборки заменяется соответствующей безразмерной координатой  $Z_{ij}$  — частотой принадлежности объекта с данными значениями фактора к классу  $A$ . По составленным таблицам по каждому графику строятся графики зависимости принадлежности объекта  $M_i$ .

С помощью расчетных таблиц перехода от размерных координат объектов  $X_{ij}$  к безразмерным  $Z_{ij}$  составляются обучающие матрицы объектов образов  $A$  и  $B$  в безразмерных координатах для всей обучающей выборки (объем обучающей выборки  $N = N_A + N_B$ ).

### Оценка степени информативности факторов

Оценка вмещающих пород кровли и почвы пластов обучающей выборки выполнена по устойчивости, по нагрузочным свойствам, по обрушаемости, а почвы пласта — по сопротивлению вдавливания. Изменение угла падения пласта ( $11-13^\circ$ ) свидетельствует о наличии пликативной нарушенности и развитой трещиноватости пород непосредственной кровли.

Степень информативности определяется по критерию Пирсона, Колмагорова-Смирнова, Стьюдента, Фишера [6]. После определения информативности факторов по всем критериям производится ранжирование факторов в порядке уменьшения значений оценок их информативности. Показатели получили следующую последовательность: деформированность, устойчивость непосредственной кровли, обрушаемость основной кровли, трещиноватость, литологический код, коэффициент напряженности, кривизна гипсометрии.

Устанавливается корреляционная связь между факторами в исходной обучающей выборке, и из каждой пары зависимых факторов оставляют один, так как в нем заключена информация об обоих факторах. При этом в качестве основного показателя степени взаимосвязей факторов берется выборочный коэффициент линейной корреляции.

### Минимизация признакового пространства

Третий этап оптимизации решения прикладной задачи включает в себя разработку алгоритмов вероятностного прогноза выделенного класса объектов по минимальной и эффективной системе факторов и решающего правила альтернативной классификации. При этом для выбора алгоритмов распознавания, приемлемых для решения задачи, необходимо учитывать характеристики взаимного расположения объектов распознаваемых классов в  $n$ -мерном признаковом пространстве информативных и независимых факторов.

#### Характеристики положения образов

На основе значений факторов в окончательной обучающей выборке, переведенных в безразмерные координаты, вычисляются следующие характеристики образа А и В:

а) координаты центров тяжести образов  $O_A$  и  $O_B$ :

$$O_A = Y_{A1}, Y_{A2}, \dots, Y_{Aj}, \dots, Y_{AM},$$

$$O_B = Y_{B1}, Y_{B2}, \dots, Y_{Bj}, \dots, Y_{BM}.$$

где  $Y_{Aj} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} Y_{Aij}}{N_A}$ ;  $Y_{Bj} = \frac{\sum_{i=1}^{N_B} Y_{Bij}}{N_B}$  — безраз-

мерные координаты  $i$ -го объекта по  $j$ -му фактору классов А и В соответственно.

б) расстояние от начала координат до центра тяжести образов А и В:

$$\rho_{OA} = \sqrt{\sum_{j=1}^m Y_{Aj}^2};$$

$$\rho_{OB} = \sqrt{\sum_{j=1}^m Y_{Bj}^2}.$$

в) расстояние между центрами тяжести образов:

$$\rho_{AB} = \sqrt{\sum_{j=1}^m Y_{Aj} - Y_{Bj}^2}.$$

г) угол между радиус-векторами центров тяжести образов:

$$\cos \varphi = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{Aj} - Y_{Aj}}{\rho_{OA} \rho_{OB}}.$$

С учетом полученных характеристик положения образов в  $n$ -мерном пространстве производится выбор алгоритма распознавания для вычисления обобщенных координат объектов по комплексу факторов. Способы вычисления степени «близости» классов называются стратегиями объединения классов и рассчитываются в признаковом пространстве. В нашей работе использован алгоритм распознавания по разности расстояний от объектов до центров тяжести образов (классов).

Объект принадлежит к тому классу, к центру тяжести которого находится ближе. Для всех объектов классов А и В вычисляют расстояния  $\rho_{Ai}$  и  $\rho_{Bi}$  от объектов  $M_i (Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{ij}, \dots, Y_{im})$  до центров тяжести классов  $O_A$  и  $O_B$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ :

$$\rho_{Ai} = |M_i O_A| = \sqrt{\sum_{j=1}^m Y_{Aj} - Y_{ij}^2};$$

$$\rho_{Bi} = |M_i O_B| = \sqrt{\sum_{j=1}^m Y_{Bj} - Y_{ij}^2}.$$

где  $m$  — число факторов.

Определяются обобщенные координаты

$$\rho_i = \rho_{Ai} - \rho_{Bi}.$$

Для нахождения ядер использована обучающая выборка, по которой найдены геометрические центры классов. При выборе ядер классов анализируемые С1 по минимальности расстояния достигали своего экстремума минимума.

Разработанный метод позволяет классифицировать геологические условия для анализируемого пласта с использованием бан-

ка эталонных моделей изученных объектов, описанных множеством поисковых признаков, и решить вопрос о классе анизотропии. При присвоении участку пласта степени анизотропии Б необходимо производить построение ЦМГП с нанесением границ аномальных зон для разработки профилактических мероприятий.

### Результаты применения цифровой модели массива для прогнозирования

Разработанный метод прогноза горно-геологических характеристик с использованием цифровой модели месторождения был опробован для прогнозирования горно-геологических условий для шахты «Чертинская-Коксовая» (пласт 5, лава 555).

Создана база геоданных (БД) с цифровым описанием горно-геологических условий, влияющих на работоспособность очистных забоев. К ним относятся: мощность пласта, мощность непосредственной кровли, гипсометрия пласта и др. Использован алгоритм распознавания по разности расстояний от объектов до центров тяжести образцов. Пласту присвоен класс анизотропии Б, поэтому необходимо производить построение ЦМГП для поиска аномальных зон, для определения их границ.

Решение прогнозных задач с использованием ЦМГП выполняется в следующем порядке:

- выбор и количественная оценка фактических характеристик;
- расчет производных характеристик с помощью цифровой фильтрации;
- комплексный анализ данных и решение прогнозной задачи.

Производится оценка площадей угольного пласта и построение прогнозных планов в цифровой форме и на бумажных носителях. Исследование характера деформированности гипсометрии пласта 5 в контуре лавы 555 проведено на основании параметров подземной маркшейдерской сети по 74 высотным отметкам маркшейдерских точек, оконтуривающих лаву.

Созданные БД полей геологических, геометрических и геомеханических характеристик по материалам горных работ импортированы в программу ГИС-технологии. Произведено построение цифровых прогнозных планов свойств массива горных пород с использованием блочной модели.

Метод позволил произвести построение цифровой модели горного массива в виде томограммы. На плане центр каждого блока изображается в виде точки с высотной отметкой, равной отклонению от аналитической поверхности (в метрах). В каждом блоке модели задано цветовое отображение каждой характеристике. Создав блочную модель и определив цветовой диапазон для значений показателя, весь участок раскрашивается в соответствии с выбранной характеристикой. Участок пласта с большими отклонениями от аналитической поверхности изображен на плане красным цветом, а с меньшими — голубым. При этом участки пласта, имеющие различное значение деформированности, имеют на плане различный тон по насыщенности.

Основные опасности массива горных пород проявляются на отдельных участках пласта, когда геотехнологические процессы при ведении горных работ накладываются на геодинамические процессы в недрах и при соответствующем их сочетании приводят к проявлению опасных явлений [7]. При создании цифровых прогнозных планов главной задачей является поиск и нанесение на цифровые планы аномальных зон, где значения показателей значительно отличаются от усредненных [8].

Вычисление производных характеристик поверхностей позволило выявить закономерности совместного изменения гипсометрии, трещиноватости и устойчивости кровли пласта 5 и выявить аномальные зоны (ЗОНА № 1 и ЗОНА № 2), см. рис. 2.

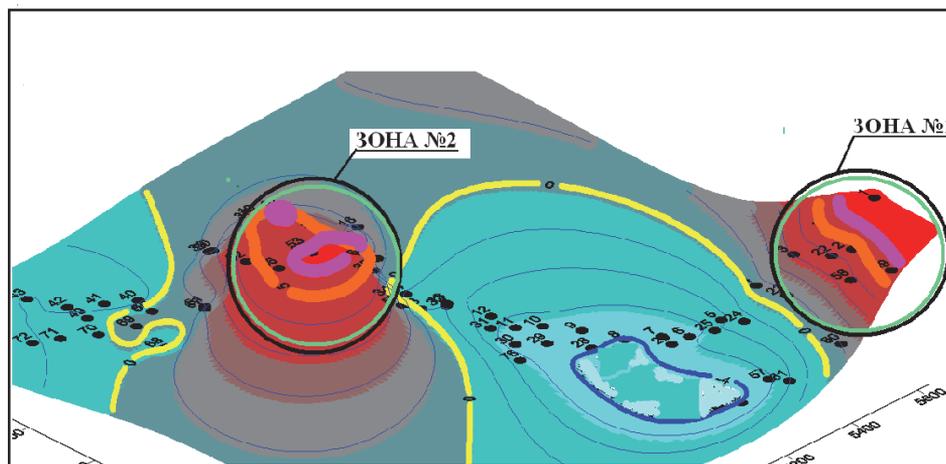


Рис. 2. Модель деформаций пласта в 3Д для выявления аномальных зон

Построена 3Д модель деформаций пласта по результатам цифровой фильтрации для выявления аномальных зон № 1 и № 2. Аномальные зоны получены как площадь пласта с ячейками сетки, которые выбраны при цифровой фильтрации и в окне карты показыва-

ются как «выбранные». Полученные зоны перенесены на цифровой маркшейдерский план (рис. 3). Указанные участки являются зонами повышенной трещиноватости массива и местом скопления газа.



Рис. 3. Выкопировка с плана горных работ с прогнозируемыми зонами аномалий

Горные работы в ЗОНЕ № 1 шахтой велась в марте–июне 2018 года. Были проблемы при работе лавы. Подвигание лавы за месяц было небольшим. Прогнозируемая ЗОНА № 2 расположена в районе вентиляционного уклона 15-5. На прогнозном плане горные работы в ЗОНЕ № 2 встретят трещиноватость, устойчивость кровли и количество газа такие же, как и в зоне № 1.

## Выводы

1. Разработан метод создания цифровой модели массива горных пород, чтобы модель могла входить в состав, анализироваться, редактироваться, и пополняться в среде геoinформационных систем.
2. Создан банк эталонных моделей для классификации новых участков по степени анизотропии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».
2. Гагарин А.А., Игнатов Ю.М., Роут Г.Н., Латагуз М.М. Цифровое описание горно-геологических условий для анализа, прогнозирования и визуализации результатов на маркшейдерских цифровых планах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 1. С. 84–92.
3. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Роут Г.Н., Латагуз М.М. Применение компьютерного моделирования месторождения для снижения травматизма на шахтах // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 1. С. 69–78.
- 4 Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб.: ВНИМИ, 1993. 147 с.
5. Лукичѳв С.В., Наговицын О.В., Морозова А.В. Моделирование рудных и пластовых месторождений в системе Mineframe // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. С. 296–301.
6. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Латагуз М.М., Мякишева Л.Е. Применение метода распознавания образов для классификации объектов на маркшейдерских планах // Современные проблемы в горном деле и методы моделирования горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 17–19 ноября 2015 г. Кемерово, 2015.
7. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ», 2010. 334 с.
8. Гагарин А.А., Игнатов Ю.М., Роут Г.Н. Совершенствование методики создания цифрового плана горных выработок и методов прогноза горно-геологических условий // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: материалы Международной научно-практической конференции Сибресурс-2016. Кемерово, 2016.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.93.61.009

UDC 622.1:744:004.92

© Yu.M. Ignatov, A.A. Gagarin, L.E. Myakisheva, 2019

### YU.M. IGNATOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo  
e-mail: mnoc@mail.ru

### A.A. GAGARIN

Chief surveyor  
JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsk  
e-mail: gagarinaa@suek.ru

### L.E. MYAKISHEVA

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo  
e-mail: algebra1940@yandex.ru

## CREATING A ROCK MASSIF DIGITAL MODEL AND RESULTS OF ITS USE FOR A PARTICULAR PURPOSE

*At mining enterprises, the digital mine surveyor plan (DSM) of mine workings is created, replenished and used in electronic and paper forms. For the of geological surveying tasks automated solution, digital plans must be supplemented by digital models of the rock mass in accordance with the requirements of geoinformation modeling. The article presents the developed method of creating a digital model of rock mass for integrated geographic information environment. The method uses a mathematical apparatus of pattern recognition theory and methods of data processing by GIS software packages and application modules. This method is a part of the developed method of the formation of the geological-forecast model on the basis of predictive-search characteristic contained in the prototype object models bank. The method allows to find the anomalous zones on the plan, divide the area of a seam into homogeneous areas with respect to geological conditions and to determine the indicator value of the point at the plan. Requirements for the created database with a digital description of the geofields using GIS tools are given.*

Keywords: DIGITAL MINE-SURVEYING PLAN, DIGITAL MODEL, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM, COMPUTER FORECASTING.

### REFERENCES

1. RD 07-408-01. The provision on geological and mine surveying for industrial safety and conservation of mineral resources. Available at: «Tekhekspert» system. (In Russ.).
2. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Rout G.N., Lataguz M.M. Digital description of the mining and geological conditions for analysis, forecasting and visualization of results in surveyor digital plans. Vestnik KuzGTU [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. 2018. № 1. pp. 84–92. (In Russ.).
3. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Rout G.N., Lataguz M.M. Computer simulation of deposits in the decreasing of injuries in coal mines. Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti [Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety]. 2018. № 1. pp. 69–78. (In Russ.).
4. Instruction on geological works at coal deposits of the Russian Federation. St. Petersburg. VNIMI Publ. 1993. 147 p. (In Russ.).
5. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Morozova A.V. Ore fields and sheet deposits modeling in Mine-frame system. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2004. № 5. pp. 296–301. (In Russ.).
6. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Lataguz M.M., Myakisheva L.E. Application of pattern recognition method for classifying objects on surveying plans. Sovremennye problemy v gornom dele i metody modelirovaniya gorno-geologicheskikh usloviy pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Modern problems in mining and mining and geological conditions modeling methods for the development of mineral deposits: materials of the Russian applied science conference with international participation]. Kemerovo. November 17–19, 2015. (In Russ.).
7. Zykov V.S. Coal and gas outbursts and other gas-dynamic phenomena in coal mines. Kemerovo. OOO «Firma POLIGRAF» Publ. 2010. 334 p. (In Russ.).
8. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Routh G.N. Improved methods of creating a digital plan of the mine workings and methods of forecasting of geological conditions. Prirodnye i intellektualnye resursy Sibiri materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Sibresurs-2016 [The collection of materials of International scientific-practical conference «Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2016»]. Kemerovo. 2016. (In Russ.).