

В.М. Аленичев, В.И. Суханов

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Проанализированы инженерно-геологические условия разработки месторождений, учитываемые при формировании создания горно-геологических информационных систем, обоснована необходимость разработки их с открытыми исходными кодами, позволяющими реализовать новые версии программ для широкого использования отечественными недропользователями.

Ключевые слова: пространственные данные, атрибутивные признаки, геометрические объекты, открытый код.

Эффективность проектирования, планирования и управления производством по добыче полезных ископаемых при соблюдении экологических требований и обеспечении безопасных условий ведения горных работ в настоящее время невозможно без внедрения горно-геологических информационных систем, поскольку инженерно-геологические условия разработки месторождения определяются совокупностью следующих взаимодействующих факторов: физико-географических, геологических, литолого-петрографических, гидрогеологических и геодинамических [1].

Физико-географические условия имеют большое значение особенности для открытого способа разработки. Типы промышленных сооружений, транспортных коммуникаций и жилых поселков зависят в основном от интенсивности и количества атмосферных осадков, температуры воздуха и ее перепадов, господствующего направления и максимальной скорости ветра, режима накопления и схода снежного покрова, глубины сезонного промерзания и оттаивания. Рельеф предопределяет направление ведения горных работ и обуславливает развитие неблагоприятных геологических процессов – оползней, обвалов, селей, снежных лавин, представляющих опасность для карьеров, надшахтных сооружений и других наземных сооружений.

В сочетании с другими факторами растительный покров оказывает влияние на инженерно-геологические свойства пород, залегающих на небольших глубинах, и в частности на их промерзание. Весьма существенно влияние гидрологических условий. При расположении месторождения около поверхностных водотоков, водоемов и болот повышается вероятность обводнения карьеров и подземных горных выработок.

Геолого-структурные условия характеризуют элементы залегания, тектонические особенности, степень и характер трещиноватости горного массива, наличие зон дробления и расланцованности, состав и свойства заполнителя трещин. Иерархическое строение массива полезного ископаемого и вмещающих пород обуславливает их структуризацию. Усложнение геологического строения горного массива сопровождается существенной снижением его устойчивости, что сопровождается развитием опасных деформационных и других процессов. Условия залегания (этажность вмещающих пород, глубина расположения залежей, их число и форма, мощность полезного ископаемого и углы его падения), наличие флюидов, свойства и тектоническая нарушенность горного массива определяют способ разработки месторождения. Схема развития горных работ зависит от геологической структуры месторождения, параметров залегания полезного ископаемого, внутреннего строения рудных тел, физико-механических свойств руды, рудоносности и характера контактов.

Литолого-петрографические условия отражают структуру вмещающих пород и геологических тел, минеральный состав, структурно-текстурные характеристики и физико-механические свойства горного массива. Неоднородность пород в массиве и наличия в них поверхностей ослабления различного генезиса определяют напряженно-деформированное состояние массива в дальнейшем при разработке месторождения. Наличие пород с особо неблагоприятными свойствами (истинные пльвуны, мягкопластичные глинистые породы, породы, слабо поддающиеся осушению) и склонных к изменению свойств под воздействием гидрогеологических и техногенных процессов, а также сейсмичность района обуславливают необходимость своевременного проведения мониторинга с целью поддержания повышенной безопасности территории.

Гидрогеологические условия характеризуются количеством и мощностью водоносных горизонтов, их фильтрационными свойствами, условиями питания и дренажа подземных вод, их связью

с поверхностными водоемами и водотоками, химический состав вод и определяют в основном схему генерального осушения месторождения с использованием подземных выработок. Гидродинамического давления оказывает существенное влияние на устойчивости горных выработок, что учитывается при обосновании схем осушения рабочего пространства карьера или шахты. Устойчивость горных выработок в мерзлотных породах, прочностные характеристики которых обусловлены водно-физическими, фильтрационными, тепло-физическими, электрическими и другими свойствами, зависит теплообменом их с атмосферой.

Геодинамические процессы постоянно приводят к кардинальным изменениям напряженно-деформируемого состояния горного массива в зоне техногенного преобразования недр, что обусловлено как современными геодинамическими подвижками, происходящими в естественных условиях, так и техногенными геомеханическими движениями, вызванными нарушением массива в процессе разработки месторождения. Процессы деструкции и вторичной структуризации определяют блочно-иерархическую структуру массива горных пород и формируют дискретный характер напряженно-деформированного состояния. Процессы деструкции и самоорганизации имеют противоположную направленность: при деструкции массив разбивается на структурные блоки, при самоорганизации формируются новые блоки разных иерархических уровней. Степень неоднородности напряжений и деформаций в верхней части литосферы, где осуществляется техногенная деятельность, зависит от межблочных подвижек. В зоне влияния техногенной деятельности к современным геодинамическим движениям добавляются техногенные геомеханические движения [2], приводящие к нарушению естественного и формированию вторичного напряженно-деформированного состояния, что способствует развитию неблагоприятных и опасных процессов на дневной поверхности и в подземном пространстве (оползни, обрушения, горные удары, мульды сдвижения и др.). Риск возникновения катастроф при разработке месторождений зависят от соответствия конструктивных параметров горных выработок свойствам массива горных пород, процессам и явлениям, протекающим в естественных условиях и в зоне техногенной деятельности. В связи с этим результаты непрерывного геодинамического мониторинга являются необходимой информацией для корректировки модели напряженно-деформируемого состояния горного массива. Созданию математической модели напряженно-деформирован-

ного состояния конкретного участка горного массива предшествует изучение первичной структуры района и гидродинамических процессов, обусловленных трендовыми и циклическими явлениями, зависящими от направления, скорости, амплитуды и частоты перемещения отдельных зон на территории месторождения. Комплекс вышеуказанных работ позволяет выявить вторичное структурирование, сопровождающееся изменением напряженно-деформируемого состояния горного массива.

Следует отметить, что горнотехнические факторы, характеризующие статическую структуру месторождения (глубина залегания, наличие природных флюидов, свойства массива вмещающих пород, число рудных тел) предопределяют способ и условия отработки месторождения [3]. На основании их устанавливаются: при открытом способе – глубины карьера, условия размещения отвалов, применения взрывных работ и т.п.; при подземном – система и глубина отработки, необходимость крепления горных выработок и др.

С научной точки зрения строго выделить наиболее существенные геоданные и атрибутивные признаки при оценке георесурсного потенциала практически не возможно, поскольку они характеризуют сущность (субстанцию) в виде геологического объекта. От полноты и достоверности геоинформационного обеспечения зависит объективная оценка запасов георесурсов на конкретном месторождении. Функциональная значимость геоданных проявляется по их совокупному влиянию на выбор способа разработки и обоснование внутренней структуры прогнозируемой технологии. Способ разработки определяется по совокупности пространственно «статистических» геоданных, структура технологии – степенью изменчивости параметров и показателей, характеризующих внутреннего строения месторождения.

Неприемлемость использования статистических методов и в частности ранговой корреляции для определения значимости геоданных при оценке георесурсов месторождения обусловлена тем, что они базируются на результатах обработки массовых наблюдений и выявлении вероятного детерминизма в массе однородных (или разнородных) наблюдений за некоторым природным или природно-антропогенным явлением или процессом [4]. При этом должны иметь место следующие аспекты:

- априори до проведения исследований допускается статистическая закономерность (причинно-следственная связь) между совокупностью геоданных (геопараметров и атрибутив-

ных показателей), характеризующих структуру месторождения, и функционированием горного предприятия;

- статистическая закономерность должна формироваться по результатам многочисленных состояний (поведения) геотехногенной структуры.

При этом предполагается, что начальные эвристические условия поведения объекта исследования будут неизменными и в будущем. Это относится не только к естественным природным условиям, но и к различным экологическим мероприятиям, реализация которых приведет в последующем к улучшению состояния нарушенных территорий.

Использование для сравнения важности факторов коэффициентов парной корреляции между функцией отклика и изучаемым фактором, частных коэффициентов корреляции, критерия Стьюдента, остаточных дисперсий и частных F-критериев Фишера требует наличия статистических корреляционных уравнений или таблиц для определения запасов.

Таким образом, неприемлемость использования статистических методов для оценки значимости геоданных обусловлена тем, что они базируются на результатах обработки массовых наблюдений и выявлении вероятного детерминизма в массе однородных (или разнородных) наблюдений за некоторым природным или природно-антропогенным явлением или процессом, что абсолютно исключается при анализе геологических объектов недропользования.

Объем, точность и вероятные оценки полученной информации об инженерно-геологических условиях должны быть минимально необходимыми, но достаточными для решения конкретных технологических и других задач. Поскольку в соответствии со стадиями геологоразведочных работ (поисковые, оценочные, разведочные и эксплуатационные) производится оценка и прогноз горно-геологических условий по фоновым, оценочным, базовыми и постоянно действующим моделям. Опыт создания моделей месторождений показывает, что привлечение большого числа компонент, затраты на получение которых значительны и зачастую неоправданны. При разработке рациональной модели, учитывающей тип месторождения, необходимо определить набор геоданных для обоснованного выбора способ разработки и внутренней структуры прогнозируемой геотехнологии.

Оценку сложности структуры месторождения предлагается оценивать по сумме показателей сложности, учитывающих условия разработки, параметры залегания рудных тел и внутрен-

него строения залежей [3]. Влияние каждого геофактора определяется двумя частными показателями, один из которых характеризует соответственно степень влияния самого фактора, а второй – изменчивости этого фактора в границах техногенно изменяемого участка недр. Для вычисления первого показателя используются существующие классификации величин геологических и горнотехнических факторов, установленные для каждого класса соответствующих показателей при условии соблюдения следующих ограничений:

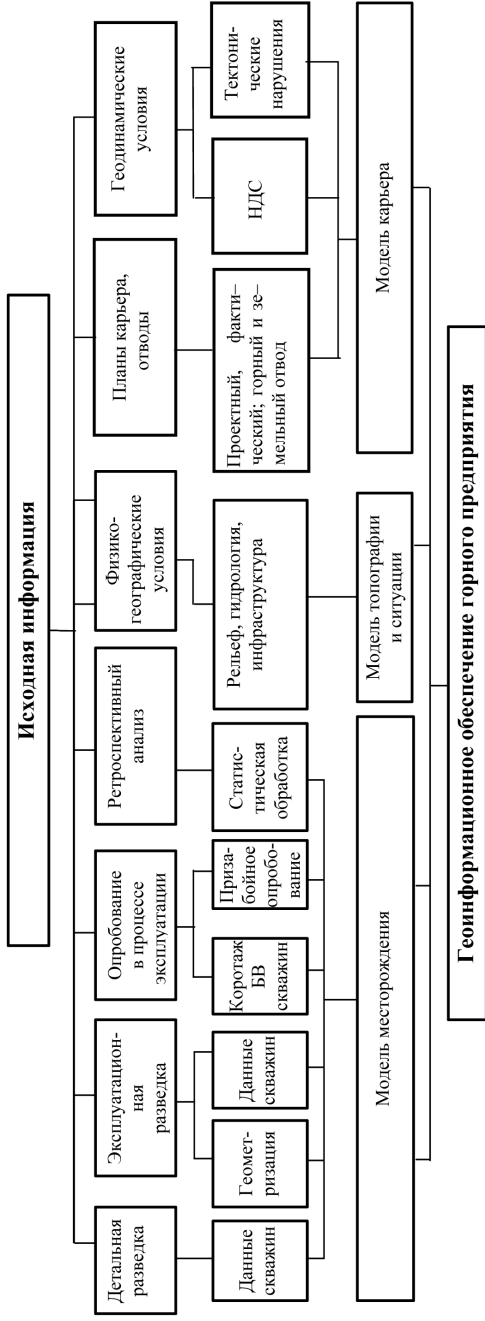
- значение показателя (коэффициента) возрастает с усложнением условий разработки;
- шаг изменения значения анализируемого показателя соответствует постоянной величине изменения фактора.

Второй частный показатель оценивается коэффициентом осцилляции и зависит от интервала изменений каждого фактора в границах месторождения. По-существу, он характеризует относительную меру колебания крайних значений признака вокруг средней величиной.

Совокупность аппаратных, программных средств и хранимых моделей месторождения, карьера, отвалов, топографии и ситуации называют геоинформационным обеспечением горного производства или горно-геологической информационной системой (ГИИС). Структура геоинформационного обеспечения приведена на рисунке.

Наиболее существенными и информативными геолого-маркшейдерскими документами являются [4]:

- а) топографический план поверхности месторождения;
- б) план выхода полезного ископаемого под наносы;
- в) планы опробования в шурфах и канавах;
- г) геологические разрезы и погоризонтные планы по результатам детальной разведки;
- д) планы изолиний содержания основного и сопутствующих компонентов по горизонтам, изомощностей и гипсометрические;
- е) геологические разрезы по скважинам детальной разведки, к которым прикладываются журналы опробования с результатами химических и пробирных анализов;
- ж) данные геофизических исследований;
- з) колонки скважин и буровые журналы с данными инклинометрии;
- и) геологические разрезы, скорректированные по скважинам эксплуатационной разведки;



Структура геоинформационного обеспечения

- к) разрезы по буровзрывным скважинам, зарисовки распределения различных типов руд на горизонте и в уступе;
- л) результаты опробования буровзрывных скважин, забоев и по площадкам уступов;
- м) топография развала.

Потребность обращения ко всем группам данных обусловлена необходимостью уточнения объемов полезного ископаемого в границах карьера при составлении стратегических и оперативных планов развития горных работ. При недельно-суточном и сменном планировании и регулировании дополнительно используется информация по результатам опробования буровых скважин и призабойного опробования. По данным эксплуатационной разведки и результатам их обработки корректируются погоризонтные качественные планы и разрезы. Первоначальные геологические разрезы и погоризонтные качественные планы, построенные по данным опробования скважин детальной разведки, пополняются и уточняются по результатам эксплуатационной разведки. Дальнейшее накопление информации происходит за счет анализа шлама буровзрывных скважинах и оперативного призабойного опробования.

Группы данных о скважинах эксплуатационной разведки, и опробовании включают непрерывно накапливаемые параметры и их прогноз (экстраполяцию горно-геологических параметров на соседние участки).

Для разработки прикладных горно-геологических информационных систем, адаптированных для нужд конкретного предприятия, необходимы инструментальные средства, обеспечивающие:

- полномасштабную трехмерную векторную графику с широким набором графических примитивов, развитыми возможностями ввода, корректировки и визуализации;
- сегментацию графических баз данных по слоям, видам, областям;
- возможность разработки меню и обрабатывающих программ, работающих с примитивами графической базы данных;
- допустимость экспорта и импорта данных из других подсистем для программной обработки данных;
- доступность и экономическую целесообразность использования на отечественных горных предприятиях.

Потребность обращения ко всем группам данных обусловлена необходимостью уточнения объемов полезного ископаемого в границах карьера при составлении стратегических и опера-

тивных планов развития горных работ. При недельно-суточном и сменном планировании и регулировании дополнительно используется информация по результатам опробования буровых скважин и призабойного опробования. По данным эксплуатационной разведки и результатам их обработки корректируются погоризонтные качественные планы и разрезы. Группы данных, содержащие результаты опробования скважин детальной разведки, первоначальные погоризонтные планы и геологические разрезы, пополняются в процессе проведения эксплуатационной разведки.

Группы данных о скважинах эксплуатационной разведки, буровзрывных скважинах и призабойном опробовании включают непрерывно накапливаемые параметры и их прогноз (экстраполяцию горно-геологических параметров на соседние участки).

Для разработки прикладных горно-геологических информационных систем, адаптированных для нужд конкретного предприятия, необходимы инструментальные средства, обеспечивающие:

- полномасштабную трехмерную векторную графику с широким набором графических примитивов, развитыми возможностями ввода, корректировки и визуализации;
- сегментацию графических баз данных по слоям, видам, областям;
- возможность разработки меню и обрабатывающих программ, работающих с примитивами графической базы данных;
- возможность экспорта и импорта данных из других подсистем для программной обработки данных;
- доступность и экономическую целесообразность использования на отечественных горных предприятиях.

Горно-геологические информационные системы (ГГИС) в горной промышленности используются при проектировании, планировании и управлении основным производством по добыче полезных ископаемых и мониторинге безопасного состояния окружающей среды. Известные системы DATAMINE (MIC Ltd, Great Britain), VULCAN (Maptec, Australia), MINES-CAPE (Mincom, Australia), GEMCOM (Canada), TECHBASE (Minesoft, USA), SURPAC (Software International, Australia), Micromine (Micromine Pty Ltd, Australia) широко применяются за границей. Однако эти системы характеризуются низким масштабом распространения в России в основном из-за довольно высокой их стоимости, удаленности разработчиков и трудности модификации.

В связи с принятием Правительством и Президентом РФ решений по сохранению национальной безопасности в сфере информационных технологий появляются большие перспективы создания отечественного программного обеспечения для ГГИС с открытым исходным кодом, позволяющим использовать созданные коды для разработки новых версий программ, доработки существующих и возможности внесения оперативных корректив исходя из потребностей пользователя. Исходя из результатов детального обзора по возможностям геометрических ядер с открытым кодом для задач построения геоинформационного обеспечения горного производства [5], можно сделать следующие выводы:

- на рынке программного обеспечения представлены пакеты с различной функциональностью, пригодные для использования в качестве платформы для разработки перспективной ГГИС;
- заслуживает внимание как полнофункциональное ядро для геометрического моделирования и визуализации пакет Open CASCADE, не имеющий никаких лицензионных ограничений;
- пакет Open CASCADE имеет удобные интерфейсы для разработки как демонстрационного прототипа так и законченного приложения на различных платформах и языках программирования, позволяющих существенно сократить затраты времени на создание и отладку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатурова И. В.* Научно-методические основы изучения, оценки и прогноза инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых в скальных породах, Автореф. докт. диссер. — Екатеринбург, 2012. — С. 41.
2. *Опарин В. Н. и др.* Разрушение земной коры и процессы самоорганизации в области сильных техногенных воздействий / Отв. ред. Н. Н. Мельников. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. — 632 с.
3. *Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Сабянин Г. В.* Методология определения сложности структуры рудных месторождений как объектов разработки // ФТПРПИ. — 2013. — № 6. — С. 75–86.
4. *Аленичев В. М., Суханов В. И., Хохряков В. С.* Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов (горное производство). — Екатеринбург: УрО РАН, 1998. — 256 с.
5. *Суханов В. И., Зобнин Б. Б., Тимошенко С. И., Ажипа И. А., Рыжков Д. С.* Обзор возможностей геометрических ядер с открытым кодом для построения геоинформационного обеспечения горного производства // Известия вузов. Горный журнал. — 2010. — № 1. — С. 87–95. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Аленичев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: alenichev@igduran.ru, Институт горного дела УрО РАН,
Суханов Владимир Иванович – доктор технических наук, зав. кафедрой, e-mail: сух-fat@mail.ru, Уральский федеральный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 5–15.

UDC 622:
004.78:
025.4.036

V.M. Alenichev, V.I. Sukhanov

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF GEOLOGICAL INFORMATION SYSTEMS ON THE DOMESTIC MINING ENTERPRISES

Analyzed geotechnical conditions of mining, taken into account in shaping the creation of geological information systems, the necessity of development of open-source codemi, you can create new versions of software for general use by domestic subsoil user.

Key words: spatial data, attribute features geometriccal objects, open source.

AUTHORS

Alenichev V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia, e-mail: alenichev@igduran.ru.
Sukhanov V.I., Doctor of Technical Sciences, Head of Chair, Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia, e-mail: cyx-fat@mail.ru.

REFERENCES

1. Abaturova I. V. *Nauchno-metodicheskie osnovy izucheniya, otsenki i prognoza inzhenerno-geologicheskikh usloviy mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh v skal'nykh porodakh* (Scientific and methodological basis of the study, assessment and prediction of engineering-geological conditions of mineral deposits in the rocks), Doctor's thesis, Ekaterinburg, 2012, pp. 41.
2. Oparin V. N. *Razrushenie zemnoy kory i protsessy samoorganizatsii v oblasti sil'nykh tekhnogennykh vozdeystviy*. Otv. red. N. N. Mel'nikov (The destruction of the earth's crust and the processes of self-organization in the areas of strong tectonic effects. Mel'nikov N. N. (Ed.)), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2012, 632 p.
3. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P., Sabyanin G. V. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no 6, pp. 75–86.
4. Alenichev V. M., Sukhanov V. I., Khokhryakov V. S. *Modelirovanie prirodno-syr'evykh tekhnologicheskikh kompleksov (gornoe proizvodstvo)* (Simulation of natural raw technological complexes (mining industry)), Ekaterinburg, UrO RAN, 1998, 256 p.
5. Sukhanov V. I., Zobnin B. B., Timoshenko S. I., Azhipa I. A., Ryzhkov D. S. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2010, no 1, pp. 87–95.