

УДК 622.012:681.3.01:519.67

С.В. Лукичев, О.В. Наговицын, А.В. Родина

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА В СИСТЕМЕ MINEFRAME

Сформулированы требования, которым должна отвечать современная компьютерная система и значительная часть которых была реализована в процессе многолетней работы по совершенствованию программного обеспечения.

Ключевые слова: компьютерная технология, программное обеспечение, горные работы, рабочее место геолога, подземный рудник.

Семинар № 15

Переход предприятий на компьютерную технологию инженерного обеспечения горных работ создает предпосылки для повышения эффективности работы геологической, маркшейдерской и технологической служб за счет:

- перехода на качественно иной цифровой способ хранения и обработки информации;
- использования при принятии решений значительно большего объема информации, чем при традиционном, бумажном варианте работы;
- уменьшения потери времени на выполнение рутинных операций, связанных с подготовкой исходных данных и их переносом из одной службы в другую;
- снижения затрат времени на выпуск технологической документации при использовании специализированных программных средств.

Переход на любую новую технологию, в том числе и инженерного обеспечения горных работ, как правило, не бывает простым, так как требует пересмотра отработанных приемов работы и взаимодействия отдельных специалистов и служб. Кроме того, что переход на новую

компьютерную технологию нарушает годами отлаженный процесс, он еще и требует больших финансовых затрат на приобретение вычислительной техники и программного обеспечения (ПО), а также обучение персонала. При этом надо иметь в виду, что выбор той или иной технологии (а по сути ПО для ее реализации) надолго привязывает предприятие к поставщикам ПО и к тем решениям, которые в нем заложены. Следует также помнить, что не бывает, как правило, похожих друг на друга предприятий, следовательно, решение, подходящее для одного предприятия, может потребовать доработки ПО для другого предприятия. Это также требует времени и финансовых затрат и они будут тем ниже, чем лучше разработчик ПО понимает специфику работы российских (стран СНГ) предприятий и чем более комплексно у него реализовано решение геологических, маркшейдерских и технологических задач.

Таким образом, превратятся ли предпосылки в реальное повышение эффективности инженерного обеспечения во многом зависит от выбора ПО и его поставщика, берущего на себя обязательства по адаптации и

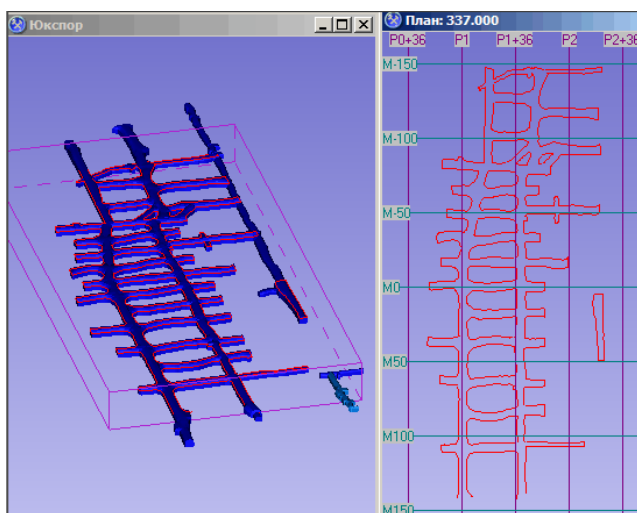


Рис.1. Формирование разрезов в GeoTech-3D системы MineFrame

сопровождению ПО, а, в случае необходимости, его модификации. Являясь разработчиками горной автоматизированной системы MINEFRAME и имея опыт ее внедрения и сопровождения на ряде горных предприятий России [1-2], мы попытались сформулировать требования, которым должна отвечать современная компьютерная система и значительная часть которых была реализована в процессе многолетней работы по совершенствованию созданного нами ПО.

Для иллюстрации того, как эти требования могут быть реализованы в горной автоматизированной системе, было использовано упомянутое выше ПО, что, однако, не следует рассматривать как единственно правильный вариант решения. Прежде чем перейти к перечислению требований несколько слов о том, что лежит в основе современной горной системы. Это 3-мерные модели реальных объектов горной технологии, для описания геометрии, которых используются векторные и каркасные конструкции, а для моделирования изменчивости

свойств, если речь идет о замкнутых каркасах, - блочные конструкции.

Отсюда первое требование, которому должна удовлетворять система, - это работа с 3-мерными моделями горно-геологических объектов. Следует отметить, что практически все, представленные на рынке ПО системы, таким требованиям удовлетворяют, однако способы и полнота реализации функций формирования и управления моделями в них существенно различается. Работа с 3-мерными моделями предполагает наличие инструментальных средств

не только по их созданию, но также анализу и представлению, в первую очередь, за счет формирования различных типов разрезов. Применительно ко всем видам горных работ (открытых и подземных) на разрезы должны выноситься рудничные (шахтные) и геодезические координатные сетки, а интерфейсные средства ПО должны позволять легко переходить от рудничной системы координат к геодезической. Для подземных горных работ дополнительным условием является необходимость выноса на плоскость разреза проекций ближайших моделей объектов. Разрез по модели может быть получен, если у нее имеется каркасная модель. При отображении на разрезе сопряжений каркасных моделей (например, выработок) возникает наложение их контуров, что должно автоматически исправляться (рис. 1) для исключения дополнительных операций по ручной корректировке. Сами модели объектов горной технологии могут иметь очень сложную форму (например, конструктивные элементы днища), поэтому их модели должны

формироваться из набора простых путем группировки в общую конструкцию. Каждая отдельная модель в общем виде включает в себя списки 3-мерных точек, объединенных или не объединенных в полилинии, списки треугольников, формирующих триангуляционную поверхность и представляющих собой каркас, и набор миниблоков, составляющих блочную конструкцию модели. Даже достаточно неполное перечисление состава модели говорит о ее сложности, что предполагает использование тех или иных способов управления ее составными элементами. Большинство представленных на рынке горных систем (в основном иностранного происхождения) строят свое управление на работе с элементами модели (например: точки контура сечения выработки, треугольники каркасной модели поверхности выработки) как отдельными достаточно самостоятельными структурами (часто просто файлами), требующими индивидуального обращения в случае необходимости совершения с ними определенных действий. Применительно к подземным горным работам, где число моделируемых объектов может превышать десятки тысяч, а пользователями системы являются рядовые горные инженеры способ управления, а вернее его простота или сложность, становятся фактором производительности труда. В специализированном графическом редакторе GeoTech-3D системы MINEFRAME подобная работа реализована следующим образом. Все, что относится к модели объекта, входит в состав его единой структуры. Запись в базу данных (БД) и чтение из нее осуществляется единым упакованным потоком данных, что кроме всего прочего ускоряет процесс загрузки и сохранения моделей, существенно снижая трафик обмена

данными. Для управления моделями используется «инспектор объектов», который при работе с выбранной моделью предоставляет доступ ко всем ее свойствам, включая способ отображения каждого из входящих ее состав элемента. Для упрощения управления все объекты помещаются в группы и подгруппы (вложенность не ограничена), формирующие древовидную структуру и позволяющие загрузку, выгрузку и способ отображения моделей осуществлять как группами, так и отдельными объектами. Как правило, специалист работает с ограниченной областью моделируемого пространства и ему проще работать только с теми объектами, которые в этой области находятся (например, технологический блок, секция, панель). Для реализации этой возможности «инспектор объектов» представляет всю моделируемую область как технологическую структуру, разбитую на определенные элементы-подобласти. Выбор того или иного элемента сопровождается наложением пространственного фильтра на БД с выбором из нее только тех объектов, которые входят в элемент структуры.

Вторым требованием к системе является неразрывность технологии работы с моделями объектов при решении геологических, маркшейдерских и технологических задач. Это означает соблюдение условия, по которому модель объекта не должна менять своего формата при ее использовании различными службами. Наиболее простым способом достижения этого условия является применение единой графической платформы для решения всех горно-геологических задач. В MINEFRAME в качестве такой платформы использован многооконный графический редактор GeoTech-3D. Другим условием, обеспечивающим неразрывность технологии, является

работа с БД коллективного пользования в локальной компьютерной сети горного предприятия. Выполнение этого условия позволяет без больших усилий поддерживать БД в актуальном состоянии и снизить вероятность использования устаревшей информации. Но работа с БД коллективного пользования, а она становится основным источником информации на предприятии, выдвигает ряд дополнительных требований, которые желательно выполнять для сохранения данных:

- ограничение круга специалистов, имеющих доступ к БД (достигается формированием списка пользователей и вводом процедуры аутентификации);
- разграничения уровня доступа специалистов различного профиля к моделям объектов, хранящихся в БД;
- блокировка функций редактирования тех моделей, которые в данный момент редактируются другими специалистами;
- автоматическое ведение журнала изменений моделей объектов с возможностью восстановления удаленных или измененных объектов.

В системе MineFrame реализованы все перечисленные условия, при этом: разграничение уровня доступа достигается отсутствием возможности сохранения в БД измененных объектов, если сделавший эти изменения специалист не имеет на это прав; блокировка функций редактирования обеспечивается внесением в БД признака редактирования объекта конкретным специалистом; автоматическое ведение журнала изменений моделей объектов позволяет не только восстановить неправомерно удаленные или измененные объекты, но и установить, кто и когда это сделал.

Третьим требованием к системе является наличие в ней средств формирования горной графики. Традицион-

но в России ведение горных работ сопровождается подготовкой большого количества рабочих чертежей и другой технологической документации. Ее формирование отнимает много времени, а принятые стандарты горной графики требуют для ее выполнения специалистов достаточно высокой квалификации. Данное требование обычно реализуется одним из двух способов:

- включением в состав горной автоматизированной системы программных средств, обеспечивающих вывод на печать графической информации;
- экспортом подготовленной для вывода на печать графической информации в один из специализированных конструкторских редакторов (например, AutoCAD).

В GeoTech-3D системы MINEFRAME реализованы оба способа вывода информации. На печать выводится текстовая и графическая информация, располагающаяся на планах и разрезах. При ее выводе используются сформированные пользователем настройки, обеспечивающие отображение моделей объектов заданными типами линий, значков, типов и размеров шрифтов.

Выполнение перечисленных требований обеспечивает формирование единого геоинформационного пространства горного предприятия и создает условия для комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач.

Применительно к системе MINEFRAME решение данных задач осуществляется путем формирования автоматизированных рабочих мест:

Рабочее место геолога

В состав рабочего места входит Редактор геологической БД GeoTools и Графический редактор GeoTech-3D.

GeoTools используется для формирования специализированной БД и позволяет работать с данными сква-

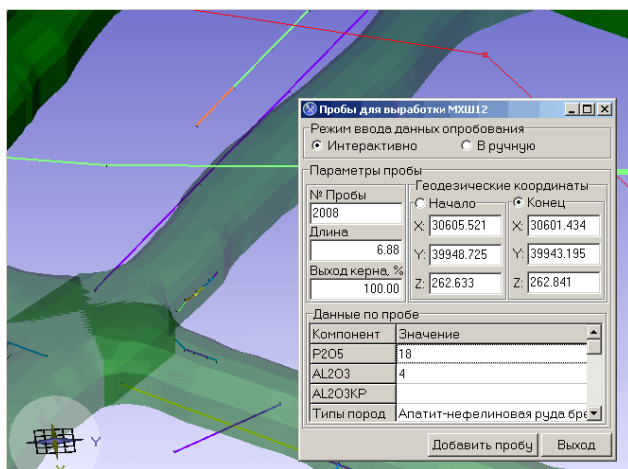


Рис. 2. Интерактивный режим пополнения БД опробования

жинного и бороздового (по выработкам) опробования. Целью создания специализированного редактора являлось предоставление геологу ПО, максимально учитывающего специфику его работы. Это было достигнуто путем реализации средств ввода и вывода информации как виде связанных таблиц скважин (выработок), проб, компонентов содержания полезного ископаемого (ПИ), так и в форме журнала опробования. Средствами GeoTools может осуществляться первичная обработка данных опробования и формирование на их основе вторичных данных в форме рудных интервалов и интегральных характеристик, задаваемых в виде функций от значений компонент содержания ПИ.

Данные опробования визуализируются в GeoTech-3D. Так как данные хранятся в специализированной БД, то работа с ними максимально упрощена. При загрузке в среду GeoTech-3D пользователь может указать, какие пробы ему необходимы: скважинные, из выработок, разведочные, эксплуатационные. Выбрать какие компоненты опробования будут использованы в работе и применить

пространственный фильтр, ограничив тем самым объемом загружаемой из БД информации. Назначить способ отображения данных опробования (постоянно или только на разрезах), уменьшив количество объектов в моделируемом 3-мерном пространстве. Используя средства управления данными опробования, можно отфильтровать их по признаку расположения в границах рудных тел (зон минерализации, пластов, выемочных единиц) или областей видимости плоскостей разрезов.

Для упрощения процесса ввода новых проб разработан инструмент интерактивного определения их координат на основе использования моделей выработок (рис. 2). Для повышения точности нахождения координат проб в качестве привязки могут использоваться как маркшейдерские точки, так и любые характерные метки (например, сопряжения выработок).

Пробы, представленные в виде моделей, отражающих их геометрию, пространственное положение и характеристики, используются как для корректировки векторных и каркасных моделей рудных тел (пластов), так и расчета объемных и качественных показателей выемочных единиц. Для выполнения этих операций используются средства графического редактора GeoTech-3D, позволяющие создать модели любой степени сложности. В качестве таких инструментальных средств используются: объектные привязки к моделям проб, обеспечивающие точное формирование контактов по разрезам; сплайны, упрощающие процесс формирования контуров; «сцепки», локализирующие зоны

триангуляции и управляющие процессом построения каркасных моделей; локализованные области, для триангуляции которых используется билинейная интерполяция на основе метода Кунса (дает возможность создания моделей тел, опирающихся на точки контуров, принадлежащих различным системам разрезов).

Замкнутая каркасная модель поверхности геологического тела является основой для построения блочной модели, которая представляет собой упорядоченное множество миниблоков. При этом каждый миниблок может хранить в своей структуре ту же информацию, что и проба, а в целом блочная модель - суммарные значения данных по всем миниблокам (например, запасы ПИ). Создание блочной структуры необходимо для моделирования распределения содержания компонентов полезного ископаемого в границах геологического тела или выемочной единицы. Для задания миниблокам значений содержаний используются один из двух методов интерполяции: обратных квадратичных расстояний и кригинг. Оба метода реализованы в виде интерфейсных средств, обеспечивающих удобную форму их использования.

Наиболее сложным из них является кригинг [3], в основе которого лежат геостатистические исследования данных опробования, представленные в виде нормализованных проб, приведенных к одной длине. В результате геостатистических исследований выявляются размеры зоны влияния проб, делаются выводы о наличии пространственной анизотропии распределения содержания полезных компонент, подбираются вариограммы, наиболее точно описывающие выявленную изменчивость. Все исследования проводятся в интерактивном режиме с помощью инструментальных

средств GeoTech-3D. При корректно проведенном геостатистическом исследовании может быть получено близкое к истинному среднее содержание компонент ПИ по оцениваемой залежи, так как не происходит систематического завышения или занижения значений. В результате модель, созданная с помощью кригинга, имеет наименьшую (по сравнению с другими методами) ошибку в оценке количества и качества запасов.

Наличие блочной модели распределения качественных показателей дает возможность наиболее точно рассчитывать содержание ПИ в выемочных единицах. Для учета возможных производственных ситуаций реализовано несколько способов расчета объемных и качественных показателей (при всех способах делается расчет объемов рудных тел и пустых пород, представленных в границах выемочных единиц), включая традиционный метод метро-процентов.

Рабочее место маркшейдера подземного рудника (шахты)

Инструментальные средства рабочего места маркшейдера реализованы на платформе GeoTech-3D. Основным инструментом маркшейдера является Редактор маркшейдерских точек, предназначенный для ведения каталога маркшейдерских точек, обработки результатов тахеометрической и теодолитной съемки, определения координат точки методом прямой и обратной засечки, расчета и уравнивания теодолитных ходов. Все маркшейдерские точки размещаются в группах, количество и название которых определяет пользователь. Модели маркшейдерские точки представлены значками в 3-мерном пространстве с точкой привязки. При загрузке из БД к маркшейдерским точкам может быть применен фильтр, позволяющий ограничить число загруженных объек-

тов. При формировании разрезов в качестве дополнительного фильтра выступает область видимости вблизи плоскости разреза, размеры которой задаются с помощью «инспектора объектов». Работать с маркшейдерскими точками можно одновременно через каталог и моделируемое пространство. Решаемые с помощью редактора маркшейдерских точек задачи представляются как в форме числового расчета с оценкой его точности, так и в виде схемы расчета, отображаемой в моделируемой области пространства, что позволяет осуществлять визуальный контроль выполняемых операций. Для облегчения процедуры формирования отчетов и обмена информацией между различными БД или электронными таблицами существуют функции импорта и экспорта данных.

Другим важным инструментом автоматизированного рабочего места маркшейдера являются средства моделирования пройденных горных выработок (фактических). Существуют два основных способа создания или изменения моделей выработок: интерактивный и параметрический.

В *интерактивном* режиме модель выработки можно создавать либо, опираясь на предварительно загруженную в окно разреза подложку, либо произвольно в 3-мерном моделируемом пространстве. Местоположение сечений выработки в этом случае указывается курсором на рабочей плоскости, местоположение и ориентацию которой в пространстве можно менять по ходу работы. Форма сечения выработки выбирается из списка применяемых на руднике. В случае работы с подложкой, на которой располагаются цифровые копии векторизованных маркшейдерских планшетов, точки пересечения стенок выработок на подложке с плоскостью

формируемого сечения выработки определяются автоматически, что обеспечивает высокую скорость формирования моделей при очень хорошей точности привязки координат. При наличии цифровой копии вертикального профиля выработки, подгружаемого в качестве подложки в окно вертикального разреза, сделанного по оси выработки, возможна автоматическая привязка ее сечений не только по координатам X, Y, но и Z. Точки пересечения со стенками выработки, ее почвой и кровлей трансформируются в изменение ширины и высоты сечения выработки без изменения его формы.

Для моделирования наклонных выработок предусмотрена возможность привязки оси выработки к маркшейдерскому полигону, что позволяет достаточно просто моделировать объекта данного типа, учитывая изменчивость Z-координаты оси. При создании моделей крутонаклонных и вертикальных выработок используется вариант одновременной работы с несколькими горизонтальными разрезами в многооконном режиме. Размещение в окнах разрезов подложек в виде цифровых копий векторизованных маркшейдерских планшетов горизонтов позволяет без больших затрат времени сформировать модели данного типа выработок.

Перечисленные выше инструменты моделирования пройденных выработок используются чаще всего на этапе перехода от бумажной к цифровой технологии ведения маркшейдерской работы.

Параметрический режим используется для моделирования проходки выработок (рис.3). Информация о проходке новых выработок, поступает в форме «маркшейдерских домов», опирающихся на модели проектных и фактических маркшейдерских точек.

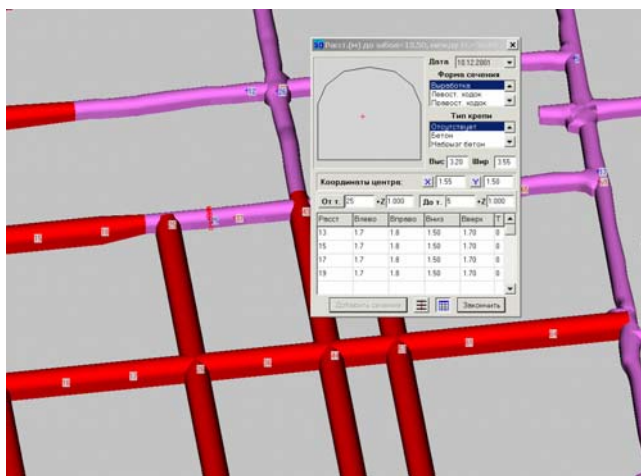


Рис. 3. Моделирование проходки горных выработок

Результатом применения инструмента пополнения проходки является модель пройденного участка выработки. При этом каждому вновь созданному сечению присваивается дата проходки, что впоследствии позволяет, используя инструменты анализа, получать и отображать данные о проходке за любой календарный период. Наиболее правильным при моделировании проходки является вариант, когда имеется проектная модель выработки. В этом случае происходит автоматическая замена проектных сечений на фактические, а сама модель выработки включает в себя пройденные и не пройденные участки. Такой вариант моделирования кроме всего прочего позволяет наглядно видеть отклонения проекта от факта и вовремя вносить коррективы. Наличие моделей проектных выработок позволяет формировать задание на проходку, что также реализовано в виде инструмента маркшейдера.

Рабочее место технолога подземного рудника (шахты)

Инструментальные средства рабочего места технолога также реализованы на платформе GeoTech-3D. В своей работе технолог использует ин-

струменты, позволяющие ему создавать модели проектных выработок, конструктивных элементов системы разработки, выемочных единиц (рис. 4). Для их создания широко используется режим параметрического проектирования, объектных привязок и дублирования объектов. Наличие моделей пройденных выработок снижает до минимума затраты на подготовку исходной информации по сравнению с бумажным вариантом.

Создание модели выработки реализовано как предварительное создание контура ее оси с последующим автоматическим формированием сечений выработки по заданным параметрам. При формировании оси выработки моделирующий ее контур переводится в параметрический режим, т.е. разбивается на участки (прямолинейные и закругления), параметры которых можно менять интерактивно или с помощью инспектора объектов и командной строки. Используя параметрический контур с заданным радиусом закругления, можно создавать такие сложные объекты, как например – спиральный съезд. При создании модели конструктивного элемента используется режим группировки объектов из моделей ее составных элементов. С помощью такого приема могут быть созданы достаточно крупные конструктивные узлы системы разработки. Дублирование и перемещение моделей в режиме объектной привязки к другим ранее созданным моделям и вспомогательным контурам позволяет существенно ускорить процесс проектирования, превращая его в крупноблоковое.

При формировании моделей выемочных единиц, которые являются

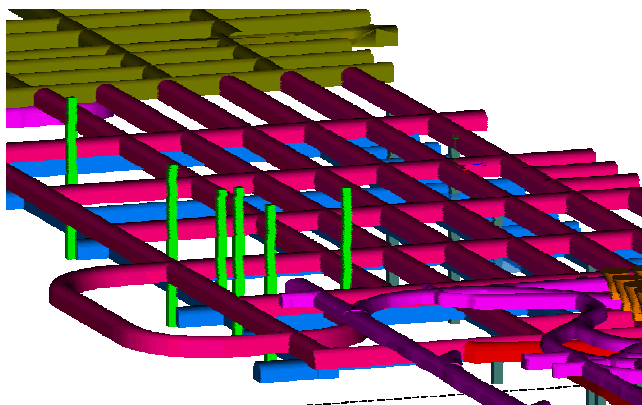


Рис.4. Проектирование подземных горных выработок

достаточно условными объектами, также используется режим параметрического задания их размеров. А принимая во внимание, что выемочные единицы, как правило, обладают схожей формой и размерами, их последующее дублирование и размещение в границах отработки является несложной и быстрой операций.

Наличие моделей выемочных единиц с подсчитанными в них с помощью инструментальных средств рабочего места геолога объемом и содержанием ПИ позволяет осуществлять планирование объемов добычи на различные календарные периоды. Работа по планированию объемов добычи осуществляется в интерактив-

ном режиме с отображением вариантов в виде гистограммы.

Возможность присваивания сечениям выработок дат и использование геологической модели месторождения позволяет при планировании проходки не только определять ее объемные и линейные показатели, но и вести расчет попутно добываемого ПИ. При этом сам процесс планируемой проходки может быть представлен в виде

близком к режиму имитационного моделирования.

В заключение хотелось бы отметить, что статья преследовала две цели:

1. Поделиться с работниками горных предприятий своими соображениями относительно того, как должна выглядеть современная горная система, предназначенная для геологической, маркшейдерской и технологической служб рудника (шахты).

2. Сломать предубеждение, что не существует российских разработок, являющихся альтернативой программным продуктам зарубежного происхождения, активно осваивающим российский рынок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Автоматизированная система MineFrame 3.0. – Горная промышленность, № 6, 2005, С.32-35.

2. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Белосусов В.В., Ким А.В., Мельник В.Б. Внедрение системы автоматизированного планиро-

вания и сопровождения горных работ. – Горный журнал, № 9, 2004, С.78-80.

3. Капутин Ю. Е., Ежов А. И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической практике. Апатиты, 1995. – 191 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Лукичев С.В. – доктор технических наук, зав. лабораторией Теории комплексного освоения и сохранения недр,

Наговицын О.В. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник лаборатории,

Родина А.В. – младший научный сотрудник лаборатории,

Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, root@goi.kolasc.net.ru