

УДК 622.233

**В.Л. Шкуратник, В.В. Тимофеев, А.А. Ермолин,  
В.В. Рыбин, К.Н. Константинов**

**ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СКВАЖИН  
НА РУДНИКАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

Семинар № 2

**М**ониторинг состояния горных пород в массиве и в технологических горных конструкциях направлен на получение информации об их структуре, физических свойствах, напряженном состоянии, удароопасности и т.д. В настоящее время в Горном институте КНЦ РАН совместно с горными предприятиями Кольского полуострова разработан, испытан и внедрен в промышленную и научно-исследовательскую практику комплекс мониторинговых методов [1–5] (табл. 1).

Данная работа посвящена в основном методу ТКС и его сочетанию с рядом других, достаточно подробно описанных методов [1–4].

Комплексы телевизионного контроля скважин (КТКС) «Таис-Апатиты» и «Таис-Апатиты-М1», разработаны в Московском государственном горном университете (проф. В.Л. Шкуратник, к.т.н. А.А. Ермолин). Адаптация комплексов для работы в различных горных условиях, разработка вспомогательного оборудования, методики съемки и компьютерной обработки, испытания и анализ результатов выполнены в Горном институте КНЦ РАН (проф. А.А. Козырев, к.т.н. В.В. Тимофеев, К.Н. Константинов).

Комплексы предназначены для видеоконтроля технологических, геологоразведочных, контрольных, взрывных и других видов скважин, труб, отверстий. С их помощью можно оценить разрушение стенок, наличие включений, прожилков, трещин, наличие и направление водопритоков и др. в сухих и обводненных скважинах.

В состав комплекса «Таис-Апатиты» входит: скважинный гидроизолированный зонд, блок управления, жидкокристаллический цветной монитор, видеомагнитофон или цифровой видеорекодер (для М1), микрофон, досылочные штанги, центраторы, угломеры, кабель, аккумуляторы, зарядное устройство, дополнительные осветители, страховочный трос, промывочное оборудование (рис. 1).

Технические характеристики комплексов:

1. Режимы работы – наблюдение (ж/к цв/чб 5,6” или 7”), телесъемка с записью на видеомагнитофон, компьютер, видеорекодер.

2. Видеокамера – 320 или 560 килопикселей. Стандарт выходного видеосигнала – PAL.

3. Регистрация – видеомагнитофон

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 07-05-13579).

Таблица 1

**Комплекс методов, применяемых для мониторинга состояния горных пород**

*Мониторинг объектов:* участки массива, горные выработки, целики, борт (уступы) карьера, скважины различного назначения.

*Скважинные методы:* метод разгрузки (торцевой вариант) (МР), метод контроля дискования керна (МДК), телевизионный контроль скважин (ТКС), контроль разрушения скважин (КРС), ультразвуковой метод (прозвучивание, каротаж) (УЗМ).

*Безскважинные методы:* контроль разрушения выработок (КРВ, лазерное сканирование контура), сейсмический метод (в том числе сейсмотомография СТ), контроль сейсмичности массива (КС).

с повышенной виброустойчивостью или видеорекордер, время записи до 240 мин.

4. Диаметры скважин, мм – 45–150 (с дополнительным осветителем – до 250..300).

5. Глубина скважин, м – до 100, в т.ч. обводненных.

6. Перемещение по скважине:

- свободное под весом зонда с фиксацией по оси скважины и контролем глубины,

- с помощью досылочных штанг с фиксацией положения по глубине, по оси скважины и азимуту.

7. Диапазон температур - -10°..+40°.

8. Питание – от аккумулятора 6, 12 В, от сети 220 В.

9. Вес, кг – до 5 кг (без дополнительного оборудования).

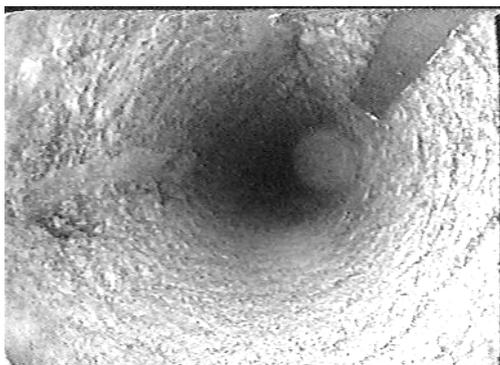
При телесъемке ведется наблюдение по монитору с одновременной записью комментариев голосом. При последующем анализе оцифрованной видеозаписи выделяются участки с разрушением стенок скважины, трещинами, геологическими, гидрологическими и другими аномалиями. По скважине и керну оценивается интенсивность трещиноватости (количество трещин на один метр) и мощность разрушенных зон.

Всего в процессе природных исследований было пробурено и исследовано более 30 скважин. Проведена телесъемка по контрольным, геолого-разведочным и взрывным скважинам в карьерах: рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», Ньюкпахкском Восточного рудника, Центрального рудника ОАО «Апатит», в подземных рудниках: Кировский, Расвумчоррский ОАО «Апатит», Ковдорслюда ООО «Ковдорслюда».

В зоне стыковки подземного Расвумчоррского рудника и карьера рудника Центральный ОАО «Апатит» решалась задача по обнаружению трещин после



**Рис. 1. Внешний вид комплекса КТКС «Таис-Апатиты» (МГУ-ГоИ КНЦ РАН)**



**Рис. 2. Разрушение ствола контрольной скважины на гор. +645 м**

отбойки рудного блока на участке подготовки предполагаемого обрушения пород в вышележащем массиве. Была выполнена съемка по 4 наклонным скважинам глубиной до 30 м на гор. +645 м. Съемка показала, что в целом стволы скважин не были разрушены, лишь на некоторых участках наблюдались трещины выкола, возможно связанные с повышенными напряжениями (рис. 2). На глубинах 25-30 м при бурении наблюдалось заклинивание снаряда, а по телесъемке были отмечены разрушения ствола скважин, которые сделали невозможной дальнейшую съемку. Выявленные границы в основном совпали с проекцией зоны обрушения. До зон разрушения из-за отсутствия повышенной трещиноватости изученный участок массива был признан устойчивым, что и подтвердилось в дальнейшем.

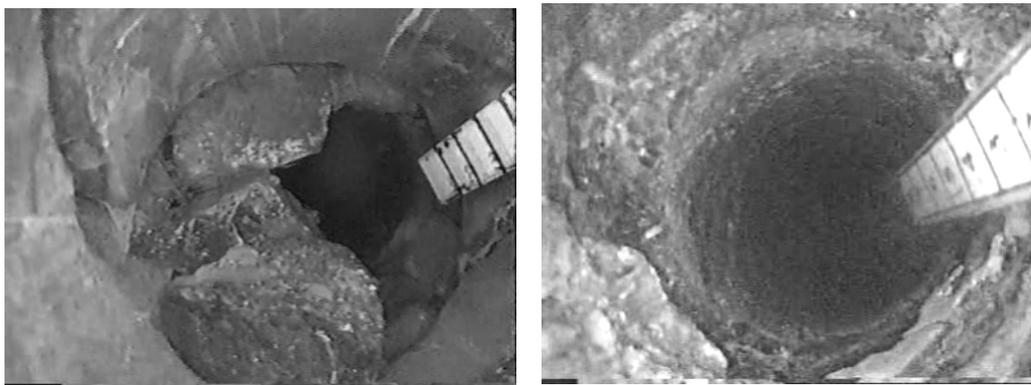
Съемка геологоразведочной скважины, пробуренной с гор.+450 м Расвумчоррского рудника на нижележащий горизонт показала наличие характерной зоны разрушения в виде дорожки на глубине 26 м от устья (+424 м), что говорит о наличии повышенных горизонтальных напряжений. Этот вывод подтверждается также наличием зоны дискования керна на этой глубине.

При анализе данных определения мощности нарушенной зоны необходимо учитывать, что она зависит от

ориентации скважины. Максимальные значения мощности нарушенной зоны должны быть в вертикальных и горизонтальных скважинах, минимальные – в наклонных. Это объясняется тем, что вертикальные и горизонтальные скважины на значительной части своей длины находятся в зоне влияния вышележащего (горизонтальная скважина) и нижележащего (вертикальная скважина) уступа, в то время как наклонная скважина достаточно быстро входит в область относительно ненарушенного массива пород. В то же время с точки зрения опасности возможных вывалов в карьерное пространство повышенный интерес представляет мощность нарушенной зоны, определённая в горизонтальных скважинах.

В Ньюоркпахкском карьере Восточного рудника изучение прибортового массива и определение мощности нарушенной зоны выполнялось с помощью метода телевизионной съёмки стволов горизонтальных скважин. В процессе бурения скважин проводились измерения напряжений методом разгрузки. Мощность нарушенной зоны в горизонтальных скважинах варьировала от 3 м до 4,5 м. Учитывая, что определения мощности нарушенной зоны в горизонтальных скважинах обычно дают завышенный результат, можно заключить, что мощность нарушенной зоны в условиях опытно-промышленного участка Ньюоркпахкского карьера ориентировочно составляет немногим более 3 м.

В карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» были применены все методы исследований (УЗМ ТКС, МР, СТ), при этом исследовательские скважины имели го-



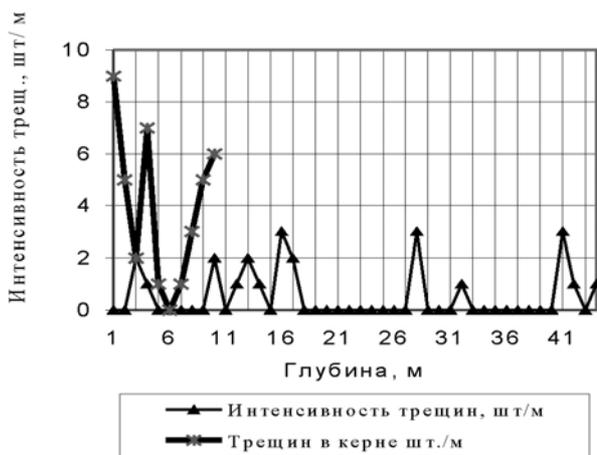
а) б)  
**Рис. 3. Примеры кадров подводной телесъемки скважин на руднике «Железный» ОАО Ковдорский ГОК:** а) – разрушение ствола скважины № 2715 гор.+166 м, глубина 5.9 м, б) – радиальная нарушенная зона с ожезлением скв. № 2849 гор.+238 м, глубина 27 м

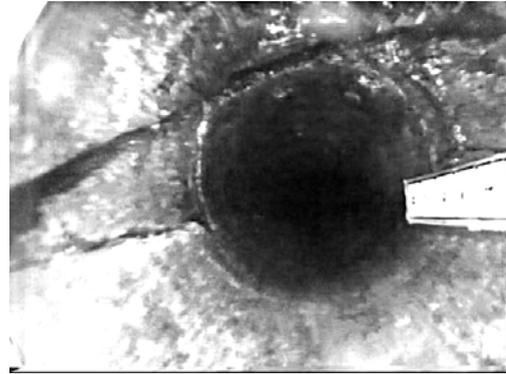
ризонтельную, вертикальную и на-клонную ориентации. Мощность на-рушенной зоны, определённая мето-дом УЗМ (каротаж) в одной верти-кальной скважине составила 13 м; в трёх горизонтальных скважинах - от 3.2 м до

8 м; в двух наклонных скважинах (под углом 45° вглубь массива) - от 3 м до 4.8 м. Мощность нарушенной зоны, определённая методом телеви-зионной съёмки ствола по одной го-ризонтальной скважине составила от 3 м до 8 м. Использование метода сейсмической томографии дало значение мощности нарушенной зоны от 0 м до 10 м (в среднем 5 м). В целом, мощность нарушен-ной зоны в карьере рудни-ка «Железный» составляет 3.0-4.8 м от контура карье-ра вглубь массива.

По двум отснятым скважинам на-блюдался интенсивный водообмен с выходом воды из трещин, расположен-ных на различной глубине (14–20 м) и дренированием ее в прибортовую нарушенную зону. При этом види-мого выхода воды из скважины на дневную поверхность не наблюда-лось. Указанные скважины пробуре-ны в районе происшедшего ранее внезапного обрушения участка усту-па карьера, причиной которого воз-можно была потеря устойчивости пород по плоскости скольжения из-

**Рис. 4. Интенсивность тре-щиноватости (шт/м) по дан-ным телесъемки и по керну разгрузочной скважины на гор. +40 м рудника «Желез-ный»**





а)

б)

**Рис. 5. Примеры кадров телесъемки скважин на карьере «Центральный» ОАО «Апатит»:** а) с цеолитовыми дайками, глубина 12.3 м, б) с кососекущими трещинами, глубина 23.2 м

за интенсивного притока воды по трещинам.

Сопоставление данных о трещиноватости по телесъемке и по керну контрольной скважины (рис. 4) выявило несовпадение интенсивности трещин на первых проанализированных 11 м. Интенсивность трещиноватости по керну оказалась выше. Этот факт говорит о том, что сжатые в массиве микротрещины не видны при съемке на стенках скважины и могут быть не обнаружены. Таким образом, данные о трещиноватости по керну более полно описывают естественные и, возможно, связанные с технологией бурения трещины, но в массиве они не все являются открытыми, не видны и вопрос о их роли в потере устойчивости участков массива пород является открытым.

В карьере Центрального рудника ОАО «Апатит» в пределах опытно-промышленного участка были выполнены два определения мощности нарушенной зоны и оценки структуры массива горизонтальных скважинах глубиной 35-36 м на гор.+595, +610 м. Особенностью опытно-промышленного участка карьера Центрального

рудника является его расположение в рабочей зоне, где фактически отсутствуют уступы, поставленные на конечный контур и наличие аномальных зон (рис. 5, 6) В этих условиях мощность нарушенной зоны в пределах опытно-промышленного участка карьера Центрального рудника составила от 4 м до 12 м.

Анализ данных телесъемки показал следующее:

- массив на участках контрольных скважин имеет большое количество цеолитовых даек – от одной до трех на метр скважины с мощностью от 0.5 до 20 см (в среднем 1–2 см) рис. 5, 6;

- состояние цеолита в дайках позволяет предположить, что механическая прочность в них снижена до минимума и они разделяют фактически не связанные блоки, что безусловно делает опасным состояние борта при соответствующей ориентации относительно даек (рис. 5);

- к цеолитовым дайкам как правило примыкает несколько оперяющих трещин, в некоторых случаях раскрытых;



**Рис. 6. Интенсивность трещиноватости (шт/м) по данным телесъемки вдоль ствола разгрузочной скважины на гор +595 м карьера Центрального рудника**

- в целом трещиноватость имеет на обоих участках более высокие средние значения по интенсивности (1–4 шт. на метр) и по дисперсии интенсивности (рис. 6):

- по обеим скважинам отмечено отсутствие большого количества трещин в приконтурной части (1–2 м от борта), что обычно характерно для бортов карьеров.

Необходимо особо отметить, что при проведении определения мощности нарушенной зоны методом телевизионной съёмки ствола горизонтальной исследовательской скважины на вертикальном уступе на гор. +118 м северо-западного борта карьера рудника «Железный» мощность нарушенной зоны не была выявлена, что может означать её отсутствие (мощность нарушенной зоны равна 0 м). Помимо этого на гор.+470 м и +440 м Ньюкпахкского карьера после формирования вертикальных уступов мощность нарушенной зоны составила 3 м, в то время как на гор.+500 м того же карьера после формирования уступа с углом откоса 75° мощность нарушенной зоны была 3-4.5 м. Отмеченные факты могут означать, что при формировании вертикальных уступов при переходе к ведению взрывных работ с использованием технологии, снижающей динамическое воздействие на законтурный массив,

мощность нарушенной зоны имеет тенденцию к снижению.

В табл. 2 представлены сводные данные определения мощности нарушенной

зоны и параметров напряжённого состояния массива на карьерах ОАО «Ковдорский ГОК» и ОАО «Апатит».

Рассматривая всю совокупность данных определения мощности нарушенной зоны необходимо сказать следующее. Во-первых, наименьшее значение мощности нарушенной зоны зафиксировано на Ньюкпахкском карьере и в карьере рудника «Железный», а наибольшее в карьере Центрального рудника. Это может быть объяснено тем, что на первых двух объектах определения производились на уступах, поставленных в конечном положении, а на третьем объекте фактически в рабочей зоне. Во-вторых, мощность нарушенной зоны в подавляющем большинстве случаев превышает 3 м, что является чрезмерным. В третьих, при формировании вертикальных уступов при применении специальной технологии взрывных работ, снижающих динамическое воздействие на законтурный массив, мощность нарушенной зоны имеет тенденцию к снижению.

По результатам оценки нарушенной зоны методом УЗМ отметим, что в сильнотрещиноватых зонах ультразвуковой сигнал не проходит и при измерениях возможно повреждение резиновых контактных поверхностей зонда.

Таблица 2

**Сводные данные по мощности нарушенной зоны и напряжённому состоянию пород на карьерах Кольского полуострова**

Борт карьера, абс. отметка, год, угол наклона уступа	Ориентация скважины	Метод	Мощность наруш. зоны, м	Напряжения $\sigma_3 : \sigma_1$ МПа
Рудник «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК»				
Северо-восток (С-В), 1999 г., +94 м, 75°	Вертикальная	Ультразвуковой метод (УЗМ)	13	-
С-В, 2000 г., +94 м, 1-я ст., 75°	Горизонтальная	УЗМ, метод разгрузки (МР)	6	20 : 4 , дискование керна в карбонатитах
С-В, 1-я ст., 2000 г., +94 м, 75°	Наклонная под углом 45°	УЗМ	4.8	-
С-В, 2-я ст., 2000 г., +94 м, 75°	Горизонтальная	УЗМ	8	-
С-В, 2-я ст., 2000 г., +94 м, 75°	Наклонная под углом 45°	УЗМ	3	-
С-В, 3-я ст., 2000 г., +94 м, 75°	Горизонтальная	УЗМ, МР	3.2	22 : 9
С-В, 2005 г., +40 м, 90°	Горизонтальная	Телевизионный контроль скважины (ТКС), МР	3÷16	13 : 4
С-3, 2001 г., +142 м, 75°	Горизонтальная	МР, СТ	0÷10 (в среднем 5 м)	8 : 2
С-3, 2005 г., +118 м, 90°	Горизонтальная	ТКС, МР	0	5 : -1
Ю-В, 2003 г., +232 м, 45°	Вертикальная	ТКС	-	Оценка структуры в массиве
Ю-В, 2003 г., +166 м, 45°	Горизонтальная	ТКС, МР	-	Оценка структуры в массиве, 3 : -1
Ю-В, 2005 г., +154 м, 45°	Горизонтальная	ТКС	-	Оценка структуры в массиве, 11 : 3
Ньюорпажский карьер Восточного рудника ОАО «Апатит»				
Опытно-промышленный участок (ОПУ) (висячий бок), 2002 г. +500 м, 75°	Горизонтальная	ТКС, МР	3 ÷ 4.5	18 : 12
ОПУ (висячий бок), 2003 г. +470 м, 90°	Горизонтальная	ТКС, МР	3	24 : 10
ОПУ (висячий бок), 2004 г. +440 м, 90°	Горизонтальная	ТКС, МР	3	33 : 20
ОПУ (висячий бок), 2005 г. +470 м, 90°	Горизонтальная	ТКС, МР	-	22 : 12
Карьер Центрального рудника ОАО «Апатит»				
ОПУ (висячий бок), 2003 г., +610 м, 75°	Горизонтальная	ТКС, МР	-	5 : 3
ОПУ (висячий бок), 2004 г., +595 м, 75°	Горизонтальная	ТКС, МР	4÷5	26 : 19
ОПУ (висячий бок), 2005 г., +580 м, 75°	Горизонтальная	ТКС, МР	6÷12	17 : 4

Таблица 3

**Статистические параметры трещиноватости в нарушенной зоне и в массиве для различных рудников Кольского полуострова**

Рудник	Кол-во интервалов шт.		Средняя интенсивность тр/м		Стандартное отклонение тр/м	
	Нар. зона	Массив	Нар. зона	Массив	Нар. зона	Массив
Железный	10	65	1.5	0.62	2.46	0.97
Ньорпахк	6	27	5.33	1.44	3.88	1.25
Центральный	17	52	1.34	1.57	1.34	1.26

Такие зоны эффективно выделяются с помощью телесъемки. Метод телевизионной съёмки стенок скважин давал менее отчётливые результаты определения мощности нарушенной зоны и в целом в большей степени ориентирован на уточнение параметров залегания структурных нарушений в глубине массива пород. Тем не менее, с использованием всех применявшихся методов были получены достаточно представительные данные о нарушенной зоне.

Таким образом, по результатам испытаний можно сделать выводы о том, что телевизионные комплексы позволяют получить документальную информацию о нарушении ствола скважин на тех участках, где другие методы практически не работают. Особенно эффективно это в случаях низкого выхода керна или его полного отсутствия. При проведении других видов работ (геофизический контроль, технологические работы в скважине и др.) возможно точное определение зон, где эти работы не грозят аварийным исходом.

Сравнение статистических параметров интенсивности трещиноватости для трех рудников было проведено для двух зон – нарушенных пород вблизи поверхности и в массиве (табл. 3).

Сравнение средних значений интенсивности трещиноватости в нарушенных зонах и в массиве по t-критерию (Стьюдента) показало, что значимо (уровень значимости  $\alpha =$

0.05) эти параметры отличаются для рудников «Железный» и «Ньорпахк», а для рудника «Центральный» эти зоны значимо не отличаются. В последнем случае можно говорить об опасности потери устойчивости борта карьера не только в приконтурной зоне, но и глубже в массиве пород.

В результате определений указанными методами показано, что мощность нарушенной зоны в подавляющем большинстве случаев превышает 3 м, что является чрезмерным, но при формировании вертикальных уступов при применении специальной технологии взрывных работ, снижающих динамическое воздействие на контурный массив, мощность нарушенной зоны имеет тенденцию к снижению.

Основными геомеханическими и технологическими аспектами применения получаемой информации являются: сравнительная оценка эффективности применяемых схем буровзрывных работ по данным о нарушенной зоне, выявление опасных структурных нарушений в прибортовой зоне, мониторинг динамики состояния пород по развитию трещин и изменению гидрогеологических показателей, оценка средних показателей нарушенности массива. Данные телемониторинга на карьерах рудников ОАО «Ковдорский ГОК» и ОАО «Апатит» были использованы при создании опытно-промышленных участков с увеличенными углами откоса.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геомеханика*. Э. В. Каспарьян, А. А. Козырев, М. А. Иофис, А. Б. Макаров. – М.: Высш. шк., 2006. – 503 с.: ил.
2. *Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (хибинские апатито-нефелиновые месторождения) (Открытое акционерное общество «АПАТИТ»)*. – Апатиты.: Изд. КНЦ РАН, 2002.-97 с.
3. *Тимофеев В.В.* Технические и программно-методические средства мониторинга опасных состояний массивов горных пород хибинских апатитовых рудников. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2003. – с. 168 – 190.
4. *Паничкин С.А., Рослов Ю.В.* Опыт применения метода сейсмической томографии при изучении геологического строения, свойств и напряженного состояния крупных блоков горных пород на апатитовых рудниках Хибин // *Геомеханика при ведении горных работ в высоконапряженных массивах*. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. – с. 161 – 173.
5. *Сейсмичность при горных работах.* / Колл. авторов – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2002. – 325 с. **ГЛАС**

### Коротко об авторах

*Шкуратник В.Л.* - профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой «Физико-технический контроль производства»,

*Ермолин А.А.* - ст. научный сотрудник, кандидат технических наук, Московский государственный горный университет,

*Тимофеев В.В.* – ст. научный сотрудник, кандидат технических наук.

*Рыбин В.В.* - научный сотрудник, кандидат технических наук.

*Константинов К.Н.* – мл. научный сотрудник,

Горный институт Кольского научного центра РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.С. Вознесенский*.



---

## РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Эпштейн С.А., Минаев В.И., Грабский К.А.* Влияние состава углей на их физико-механические свойства (675/02-09 — 28.11.08) 8 с.
2. *Гладышев В.В.* Обоснование рационального направления отработки рудных залежей (676/02-09 — 28.11.08) 5 с.