

РАЗВЕДАННОСТЬ И КВАЛИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ: НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

(в порядке обсуждения)



В. И. Воропаев,
зам. генерального директора ФГУ ГКЗ

Оценка степени разведанности (изученности) месторождений является одной из основных задач методики разведки. Она реализуется отношением той или иной части запасов к определенной категории в принятой классификации. В настоящее время в мировой практике действуют несколько классификаций, в том числе стандарты JORC, CRIRSCO, ГКЗ и др. Взаимодействие (гармонизацию) этих классификаций предполагается осуществлять на основе Рамочной классификации ООН (РК ООН) [1].



А. И. Ежов,
директор НП НАЭН,
канд. геол.-минерал. наук

в геолого-экономической оценке месторождений и не учитываются при проектировании горных предприятий. Это обстоятельство иногда вызывает недоумение российских недропользователей при анализе материалов международного аудита и сравнении их с данными утверждения запасов в ГКЗ.



П. И. Кушнарев,
руководитель группы геологического моделирования и подсчета запасов ОАО «УК «Полюс-геологоразведка», зам. руководителя секции твердых полезных ископаемых ОЭРН, канд. геол.-минерал. наук

Результаты разведки многих отечественных месторождений твердых полезных ископаемых проходят международный аудит, что вызывает необходимость установления соответствия между категориями отечественной классификации запасов и зарубежными. Как показывает опыт определения этих соотношений, соответствие категорий запасов для каждого месторождения носит индивидуальный характер. Нередко на золоторудных месторождениях третьей группы сложности геологического строения аудитом выявляется наличие запасов категории measured, хотя в отечественных подсчетах запасы категорий А и В отсутствуют. Аналогично часть запасов категории C_2 во многих случаях может быть отнесена к категории indicated.

В связи с этим актуальной задачей является анализ критериев, на которых базируется каждая из классификаций, и определение возможностей их сопоставления. В большинстве классификаций предполагается

Известными зарубежными стандартами JORC, CRIRSCO и др. ресурсы (запасы) месторождений полезных ископаемых квалифицируются по степени геологической изученности категориями measured, indicated и inferred. Первая, по мнению О. И. Гуськова и М. Армитаджа [2], соответствует отечественным категориям запасов А и В, вторая – категории C_1 , третья – категории C_2 и, частично, категории прогнозных ресурсов P_1 . Ресурсы (resources) – в зарубежном толковании понятий – после технологичес-

кой, горнотехнической и экономической оценки переводятся в разряд запасов (reserves). Первые две категории ресурсов (measured, indicated) квалифицируются как «доказанные» (proved) и «вероятные» (probable) запасы. Обычно доля доказанных запасов независимо от группы сложности строения месторождений составляет 20–30 % от общей суммы запасов, используемых для проектирования предприятия. Ресурсы категории inferred (соответствующие отечественной категории C_2) вообще за рубежом не участвуют

оценка того или иного признака (свойства) с различной степенью достоверности (уверенности, надежности). Вместе с тем оценка достоверности классификационных признаков, а также перечень показателей (критериев) классификаций практически во всех случаях остаются неопределенными. Необходимость совершенствования действующей в Российской Федерации классификации запасов определяется не только задачами гармонизации с зарубежными классификациями, но и приведением ее в соответствие с насущными потребностями оценки запасов в нашей стране.

Проблема оценки разведанности запасов месторождений твердых полезных ископаемых не исчерпывается детальностью их геологического изучения, которая зависит в основном от плотности разведочной сети. В зарубежных классификациях большое внимание уделяется другим аспектам изучения месторождений — технологической, горнотехнической, экономической и другим оценкам. Особенно детально влияние этих факторов учтено в РК ООН. В российской классификации запасы квалифицируются по одинаковым категориям на разных стадиях обоснования ТЭО и составления проекта отработки. Существуют примеры утверждения постоянных кондиций при резко различной технологической изученности объектов. На одних объектах технологическая схема переработки руд принималась на основе изучения ограниченного числа лабораторных проб. На других месторождениях технологическая изученность признавалась недостаточной даже при проведении полупромышленных испытаний по выбранной схеме. Фактически необходимость проведения тех или иных видов технологических исследований в зависимости от стадии работ или квалификации запасов строго не лимитируется.

Аналогичным образом при обосновании временных и постоянных кондиций отличия в надежности и обоснованности решений в горной части проекта также не отражаются

на квалификации запасов. В целом российская классификация не различает запасы с разной степенью горнотехнического, технологического, экономического обоснования. Существующие категории фактически ориентированы на геологическую изученность. Дальнейшее обсуждение вопроса о разведанности и квалификации запасов будет касаться именно этого аспекта.

В предшествующий настоящему исторический период разведанность месторождений в СССР определялась необходимым соотношением запасов категорий А, В, С₁ и С₂, которое увязывалось с группой сложности строения месторождений. В настоящее время задача разведки запасов месторождений с определенной детальностью практически не ставится; возможные ошибки переносятся в разряд «предпринимательских рисков». В связи с этим возрастает роль запасов категории С₂, поскольку на их основе допускаются разработка ТЭО кондиций и проектирование горнодобывающих предприятий. Таким образом, определение необходимой степени разведанности месторождений фактически переносится на недропользователя. При этом задача расчета величины этих рисков в зависимости от степени разведанности месторождений (от соотношения запасов разных категорий) остается нерешенной.

Одним из лимитирующих показателей классификации является отнесение запасов к разведанным или оцененным. Вместе с тем различие между этими понятиями с позиций соотношения разных категорий в существующих нормативных документах не определено. В результате при представлении на государственную экспертизу ТЭО постоянных разведочных кондиций и подсчета запасов возникают случаи, когда доля запасов категории С₁ составляет 20–30 %, т. е. предполагается, что проектирование предприятия будет в основном базироваться на запасах категории С₂. Отмеченная в «Методических указаниях по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений

твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев)» (2007) оценка возможности полного или частичного использования запасов категории С₂ при проектировании в экспертных заключениях обычно не дается. Кроме того, в результате внесения ограничений на использование части запасов категории С₂ неизбежно возникнут противоречия между технико-экономическими показателями ТЭО кондиций и данными проекта (изменяется производственная мощность предприятия и его обеспеченность запасами, контуры отработки, капитальные затраты и в итоге — себестоимость продукции и эффективность освоения месторождения в целом).

В «Методических указаниях...» отмечено, что погрешность определения технико-экономических показателей (ТЭП) для постоянных разведочных кондиций должна составлять 10 %, а для временных — 20 %. Из этого следует, что необходимо оценивать погрешность определения (дисперсию) исходных данных, из которых складываются величины ТЭП. Ряд показателей ТЭО кондиций — цена на продукцию, налоги, затраты на транспортировку, тарифы на топливо, электроэнергию и др. — не имеют прямой связи с разведанностью месторождения. Вместе с тем при анализе экономических рисков, кроме изменения цен на продукцию, капитальных и производственных затрат и др., обычно рассматривается возможное изменение величины среднего содержания полезных компонентов. Кроме того, сами запасы руды определяют производственную мощность горнодобывающего предприятия и в конечном итоге — себестоимость продукции. Совокупное влияние всех этих факторов или доля влияния каждого из них на конечные значения ТЭП обычно не рассматривается; отсутствуют также теоретические основы оценки этого влияния. Очевидно, что доля ошибки в определении параметров запасов, особенно среднего содержания полезного ископаемого, должны быть существенно (в 2–3 раза) ниже предельных погреш-

Предельные значения ошибок оценки запасов разных категорий, %

Автор	Год	Категории запасов		
		A	B	C ₁
В. М. Крейтер	1940	15–20	20–30	30–60
В. А. Букринский	1977	5*	10*	25*
М. Н. Денисов	1978			40–60

* Месторождения нефти [3].

ностей в оценке ТЭП, т. е. должны составлять для постоянных разведочных кондиций 3–5 % отн. Таким образом, точность подсчета запасов и определения средних значений геологоразведочных параметров должны являться одними из критериев оценки разведанности месторождения.

В российской классификации запасов неоднократно предпринимались попытки определить критерии разведанности запасов и предельные их величины для запасов разных категорий. Несмотря на большое количество публикаций и длительную дискуссию, в настоящее время отсутствуют какие-либо регламенты и общепринятые подходы к решению этих задач. Классификация запасов различных полезных ископаемых чаще всего осуществляется на интуитивном уровне и определяется опытом работы исполнителей или экспертов. При этом необходимо отметить, что определенный прогресс в количественной оценке разведанности месторождений наметился: в последней редакции методических рекомендаций по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых при оценке месторождений различных твердых полезных ископаемых (2007) в справочном приложении приведены количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения месторождений по группам сложности их геологического строения.

Квалификация запасов по степени геологической изученности связывается прежде всего с геометрией (плотностью, соотношением размеров ячейки и пространственной ориентировкой) разведочной сети. При выборе ее параметров используются

разные подходы и критерии. Качественный подход базируется на методе аналогии; обобщенное описание аналогов отражено в группировке месторождений по сложности строения. Количественные подходы используют определенные показатели (критерии), величина которых позволяет отнести запасы к той или иной категории.

В большинстве работ, посвященных этому вопросу, в качестве основного критерия разведанности месторождений предлагалось использовать точность подсчета запасов и оценок средних значений геологоразведочных параметров (см. таблицу).

Указанные пределы характерны для большей части публикаций; расхождения мнений касаются только допустимого уровня доверительной вероятности данных погрешностей. Также отсутствует единое понимание самих параметров запасов (мощностей, содержаний, продуктивности, запасов руды и компонентов), к которым следует применять указанные пределы. В дальнейшем при обсуждении величины ошибок мы будем рассматривать относительную среднеквадратическую ошибку S_0 при доверительной вероятности 0,68, что в условиях нормального распределения соответствует $Z=1$ функции Лапласа. Данная величина близка к значению среднеарифметической ошибки ($0,8S_0$), которая обычно оценивается при разрежении сети.

В связи с тем, что наиболее важным для оценки экономической значимости рудных месторождений твердых полезных ископаемых является содержание компонентов, погрешности определения именно этого параметра следует рассматривать

при обсуждении разведанности и квалификации запасов.

Основные сложности использования рассматриваемого критерия заключаются в том, что не определены объемы тел полезного ископаемого, к которым его следует применять. А. Б. Каздан обращал внимание на несоразмерность частей месторождения, для которых оцениваются запасы разных категорий, в том числе А, В и C₁. Для месторождений первой группы сложности геологического строения ранее требовалось соотношение 10:20:70. В этих условиях суммарное число разведочных пересечений в блоках для запасов разных категорий оказывается практически сопоставимым. В соответствии с формулами математической статистики погрешность их оценки также будет почти одинаковой. Если применять эти требования к отдельным подсчетным блокам, то из-за их различного размера могут возникать ситуации, когда число разведочных пересечений в блоке более низкой категории превышает их количество в блоке высокой категории. В этом случае ошибки оценки параметра будут различаться в обратную сторону в сравнении с отмеченными выше теоретическими положениями. Таким образом, применение данного критерия в условиях разновеликих подсчетных объемов не имеет практического смысла.

В настоящее время необходимость оценки запасов по определенным категориям в установленных соотношениях для месторождений разной сложности строения строго не регламентируется. Это привело к изменению соотношения запасов разведанных месторождений в пользу низких категорий. Так, для некоторых месторождений третьей группы сложности строения при разработке ТЭО постоянных кондиций и подсчете по ним запасов к утверждению и постановке на государственный баланс предлагаются запасы, в которых доля категории C₁ составляет 20–30 %. В отмеченной тенденции есть свой резон. С позиций недропользователя кажется нецелесообразным получать запасы высоких ка-

тегорий, освоение которых планируется в далеком будущем. При этом снижение категорийности запасов в малой степени отражается на точности оценки параметров, в том числе содержаний полезного компонента. Например, при подсчете запасов месторождения Пионер соотношение категорий C_1 и C_2 составляет 30:70. Общее число разведочных пересечений по рудным интервалам превышает 1000, что при коэффициенте вариации содержаний 100–110 % обеспечивает оценку среднего содержания по месторождению с погрешностью около 3 %, в том числе для запасов категории C_2 – 4,5–5 %. Такое положение в принципе удовлетворяет требованиям к оценке ТЭП на стадии постоянных кондиций.

Представляется, что требования к погрешности оценки запасов и их параметров следует рассматривать применительно к фиксированным объемам месторождения. В качестве такого объема можно принять запасы, сопоставимые с годовой производственной мощностью предприятия. Именно такие объемы (оценочные единицы) используются при оперативном и перспективном планировании деятельности рудника. Кроме того, по ним осуществляется ежегодная отчетность (форма 5-гр), что позволяет оценивать разведанность запасов в динамике и вносить коррективы в методику геологоразведочных работ на месторождении.

Предельные значения погрешностей для запасов разных категорий, вероятно, необходимо устанавливать отдельно по видам минерального сырья с учетом требований к выпуску продукции. Очевидно, что для золоторудных месторождений с высокой степенью изменчивости параметров, эти погрешности должны отличаться от таковых для железорудных месторождений, где степень изменчивости ниже, но выше требования к качеству и точности оценки содержания полезных компонентов в добываемой товарной руде.

Пример подобной оценки предельной величины погрешности подсчета запасов приводится ниже. Опыт разработки золоторудных месторождений за рубежом свидетельствует о том, что занижение содержаний золота в добываемой руде на 10 % в течение месяца является нежелательным, а в течение квартала – критичным. Это означает, что для годового объема производства предельная величина ошибки должна быть в 2 раза ниже (корень квадратный из 4), т. е. равняться 5 %. Если учесть, что данный уровень соответствует высокой доверительной вероятности (0,95), то для уровня доверительной вероятности 0,68 относительная погрешность будет составлять около 10 %.

Годовое планирование горных работ осуществляется по данным опережающей разведки, которая по сравнению с сетью, используемой для раз-

ведственной мощностью горного предприятия, должна составлять около 20 %. Необходимо иметь в виду, что при сгущении сети, как правило, начинает выявляться закономерная составляющая изменчивости; доля случайной компоненты дисперсии, собственно определяющей уровень ошибок, при этом может существенно снижаться. Таким образом, при закономерных изменениях признака, наличие и характер которых легко распознается по виду вариограмм, предельный уровень ошибок для относительно редкой сети может быть несколько увеличен. В целом на золоторудных месторождениях для запасов категории C_1 он может быть принят равным 20–30 %. Это положение хорошо увязывается с требованием к точности оценки среднего содержания в объеме всего месторождения. Если учесть, что срок отработки средних по масштабу месторождений составляет 15–20 лет, то по сумме блоков годовой производительности величина погрешности уменьшится в 4–4,5 раза (корень квадратный из числа блоков) и составит 4–5 % отн.

Предложенные результаты оценки предельных значений ошибок являются сугубо приблизительными и не учитывают всех тонкостей использования аппарата математической статистики и геостатистики. Вместе с тем они позволяют определить общее направление дальнейших исследований в этой области.

Погрешность оценки запасов является необходимым, но не единственным критерием разведанности месторождений. Другим таким показателем является ошибка в определении пространственного положения контура оруденения или ошибка геометризации.

Ошибка геометризации широко используется при оценке разведанности угольных месторождений. Для коренных месторождений алмазов в методических рекомендациях по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов по разным категориям C_1 , сопоставимых с годовой произ-

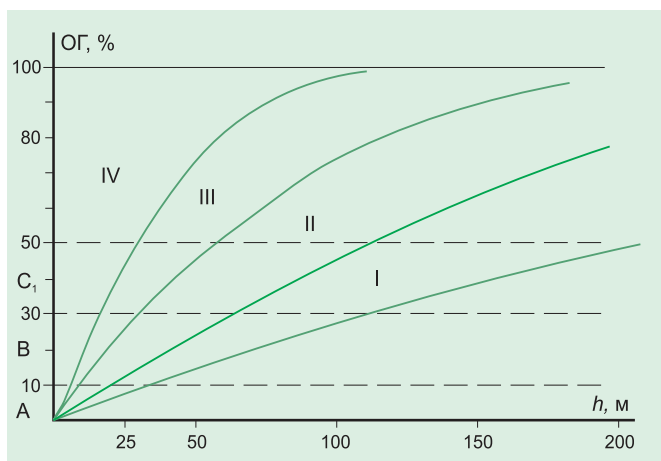


Рис. 1. Типовые графики изменения ошибок геометризации (ОГ) в зависимости от шага разведочной сети h : I, II, III, IV – группы месторождений различной сложности геологического строения

ведки запасов по категории C_1 (50x50 м), с г у щ а е т с я вдвое по падению и простиранию (25x25 м); число разведочных пересечений в результате увеличивается в 4 раза. С учетом этого ошибка среднего содержания в блоках категории C_1 , сопоставимых с годовой произ-

величиной ошибки геометризации, хотя ее предельное значение в данном случае не устанавливается. Для месторождений других видов полезных ископаемых значение этого критерия остается пока недооцененным.

Величина ошибки геометризации зависит от плотности (шага) разведочной сети и морфологических особенностей объекта — его линейных размеров, извилистости контура, наличия «безрудных» участков (окон), пространственной сближенности отдельных рудных тел и т. п. Она характеризует долю несовпадения истинной и разведочной площади при определенной плотности разведочной сети. В отличие от точности оценки параметра, она не зависит от числа разведочных пересечений.

Фактически классификация месторождений твердых полезных ископаемых по сложности геологического строения ориентирована на учет их морфологических особенностей и хорошо увязывается с характером изменения ошибок геометризации в зависимости от шага разведочной сети (рис. 1). Исследованиями В. А. Викентьева и др. [4] было показано, что запасы различных категорий характеризуются также и различной величиной ошибок геометризации. Для запасов категории А она может достигать 10 %, для запасов категории В составляет 10–30 %, для запасов категории С₁ — 30–50 %. Из графиков, представленных на рис. 1, видно, что по объектам каждой группы сложности геологического строения для получения одинаковой ошибки геометризации, достаточной для данной категории запасов, необходимо использовать сеть различного шага. Таким образом, рассматриваемый критерий также может использоваться для оценки разведанности объектов. В свою очередь, его применение потребует уточнения описания группировки месторождений по сложности строения и введения для них количественных характеристик — контурных модулей, фрактальных показателей и т. п.

Для месторождений, где точность оценки средних содержаний не оказывает существенного влияния на эффективность их отработки (например, месторождений бокситов, каолинов, строительных материалов), ошибки геометризации должны рассматриваться как основной критерий разведанности.

С позиций ошибок геометризации запасы категории С₂ характеризуются чрезвычайно неопределенным положением в объеме месторождения. Это обстоятельство в первую очередь влияет на возможность применения этих запасов для обоснования кондиций и проектирования отработки месторождения. Ненадежность определения пространственного положения запасов категории С₂ может приводить к ошибкам в технических решениях при проектировании отработки месторождения, в том числе при определении границ карьера при открытой отработке или выборе систем отработки и оценке потерь, разубоживания, величины капитальных затрат при подземной отработке. Этот аспект влияния разведанности месторождений на ТЭП обычно не анализируется. В целом проблема использования запасов категории С₂ при разработке ТЭО кондиций и составлении проектов разработки месторождений требует особого рассмотрения и пристального внимания.

В определении степени геологической изученности запасов по зарубежным классификациям большую роль играет экспертная оценка, даваемая Компетентным лицом. В то же время в ряде компаний и аудиторских фирм также делаются попытки использовать определенные количественные критерии разведанности. Одним из таких критериев является плотность разведочной сети или расстояние до разведочного пересече-

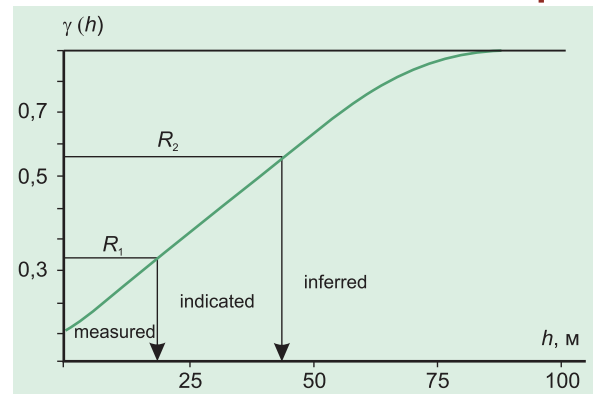


Рис. 2. Квалификация запасов по стандарту JORC в соответствии с характером вариограммы и шагом разведочной сети h : $\gamma(h)$ — нормированные значения вариограммы; R_1, R_2 — предельные интервалы разведочных сетей для запасов различных категорий

ния. Для золоторудных месторождений запасы (ресурсы) категории measured выделяются при расстоянии между разведочными пересечениями до 20–25 м. Ресурсы категории indicated выделяются при шаге сети 40–50 м, редко — до 60 м.

Указанные расстояния могут корректироваться с учетом параметров вариограмм. К ресурсам категории measured предлагается относить участки, разведанные по сети, предельный шаг которой R_1 соответствует значению нормированной вариограммы 0,33. Для категории indicated предельный шаг сети R_2 должен соответствовать значению 0,66 (рис. 2). Предел корреляции соответствует среднему размеру условно однородных участков. Таким образом, оценка разведанности при этом подходе увязывается с особенностями пространственного размещения свойств руденения; для запасов категории measured и indicated разведочная сеть с разной степенью детальности должна обеспечивать выявление таких элементов неоднородности. Аналогичные предложения высказывались А. Б. Кажданом [5]. Следует заметить, что данный подход применим только для определенного класса месторождений и не может считаться универсальным. При сходном виде вариограмм общая изменчивость содержаний на разных объектах, характеризующая дисперсией или коэффициентом вариации, может резко различаться. В этом случае точность оцен-

ки среднего содержания при одинаковой плотности сети, т. е. при одинаковой квалификации запасов, на самом деле будет также различной.

Несмотря на спорность отмеченных приемов определения категорий запасов, использование с этой целью количественных характеристик, несомненно, является перспективным направлением.

Представляется, что основой гармонизации различных классификаций должно являться выделение классификационных признаков (критериев) и определение их граничных значений для каждого таксона. Это позволит с достаточной степенью точности находить положение каждой из групп запасов в любых других классификациях. Вместе с тем при таком подходе в решении вопроса о разведанности и квалификации запасов потребуются усилия не только российских, но и иностранных специалистов.

В заключение следует отметить,

что вопросы, затронутые в данной статье, носят дискуссионный характер. Для обсуждения предлагаются следующие темы.

1. Необходимость раздельного учета в российской классификации геологической, технологической, горно-технической и экономической оценок изученности (аналогично РК ООН).

2. Определение целевого назначения запасов по категориям.

3. Установление количественных критериев разведанности (изученности) запасов и их предельных значений по категориям и видам минерального сырья.

4. Уточнение описания и использование количественных показателей для группировки месторождений по сложности геологического строения.

5. Разработка методики определения погрешности технико-экономических показателей в зависимости от точности подсчета запасов и других исходных данных ТЭО кондиций.

6. Обоснование принципов коли-

чественной оценки подготовленности месторождений к промышленному освоению и определение рационального соотношения запасов разных категорий. ■■■

Exploration extent and classification of reserves: outstanding problems

**V. I. Voropaev, A. I. Ezhov,
P. I. Kushnarev**

Assessment of the exploration extent (geological knowledge) of mineral deposits is one of the main tasks of exploration methods and procedures. It is implemented through the categorization of mineral reserves. In various classifications the criteria of reserve categorization differ. The authors prove the necessity of harmonization (reciprocity) of different classifications based on the establishment of common categorization attributes (criteria) and identification of their cut-off values.

Key words: mineral deposits, geological knowledge, reserves, classification, classification criteria.



Список литературы

1. Малухин Г. Н., Армитадж М. Руководство по гармонизации российской классификации запасов и шаблона CRIRSCO: Доклад на форуме MINEX-2009.
2. Армитадж М., Гуськов О. И. Международные стандарты отчетности о результатах геологоразведочных работ – общее и отличия от российской системы: Доклад на форуме MINEX-2005.
3. Геометризация месторождений полезных ископаемых [под ред. В. А. Букринского]. М.: Недра, 1977.
4. Оценка степени разведанности запасов прерывистого оруденения / В. А. Викентьев [и др.] // Изв. вузов. Геология и разведка. 1981. № 6, 10.
5. Каждан А. Б. Методологические основы разведки. М.: Недра, 1968.



**В Московском государственном горном университете
с 25 по 29 января 2010 года будет проходить
«Неделя горняка»**

Организаторы:
Московский государственный горный университет
УРАН Институт проблем комплексного освоения недр РАН
Научный совет РАН по проблемам горных наук
Научно-учебный центр фундаментальных и прикладных исследований в области горного дела ИПКОН РАН - МГГУ

Программа мероприятия включает проведение пленарного заседания, научных семинаров по проблемам горного недроведения и горной системологии, ряда круглых столов. В рамках «Недели горняка-2010» планируются заседания Учебно-методического объединения вузов России по проблемам образования в области горного дела и Научного совета РАН по проблемам горных наук. Будут организованы экскурсии на кафедры, в лаборатории, Геологический музей, издательство МГГУ.

В работе «Недели горняка» примут участие представители высших учебных заведений, научных и производственных организаций, ряда ведущих российских и зарубежных фирм.

Доклады, выступления, материалы круглых столов будут опубликованы в Горном информационно-аналитическом бюллетене МГГУ в течение 2010 года или в отдельных сборниках семинаров.

Дополнительную информацию можно получить на интернет-сайте: <http://science.msmu.ru/>

Адрес для переписки: Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 6, Московский государственный горный университет. Оргкомитет «Недели горняка-2010».

Телефон: (495)236-9751, Королева Валентина Николаевна
Факсы: (495)237-3163, (495)236-3216, (495)237-6488
E-mail: koroleva@msmu.ru