

УДК 622.8 + 550.4:574.4

**ПРОГНОЗ ГАЗОПАСНОСТИ В ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ «УДАЧНЫЙ»
(ЯКУТИЯ) НА ОСНОВЕ ГЕОСИСТЕМНОГО АНАЛИЗА****Дроздов А.В., Мельников А.И.***Институт земной коры СО РАН, Иркутск, e-mail: mel@crust.irk.ru*

В настоящей статье представлены материалы по строению трубки Удачная и анализ используемых подходов при прогнозе газоопасности вскрываемых участков. Предложена и рассмотрена методика выбора геологических показателей (критериев) с количественным выражением значимости каждого признака.

Ключевые слова: подземный рудник, газы, подземные воды, тектонические структуры, критерии**FORECAST GAS DANGEROUS IN UNDERGROUND MINE «UDACHNIY»
(YAKUTIA) ON THE BASIS OF THE GEOSYSTEM ANALYSIS****Drozdov A.B., Melnikov A.I.***Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk,
e-mail: mel@crust.irk.ru*

In the present article materials on a tube structure Successful and the analysis of used approaches are presented at the forecast gas dangerous opened sites. The technique of a choice of geological indicators (criteria) with quantitative expression of the importance of each sign is offered and considered.

Keywords: underground mine, gases, underground waters, tectonic structures, criteria

Крупнейшее месторождение алмазов России – трубка Удачная – расположена в Далдыно-Алакитском районе, входящем в состав северной геокриологической зоны Сибирской платформы, которой свойственно сплошное распространение ММП, непрерывность криогенной толщи, значительная ее мощность (до 1500 м) и высокие значения отрицательных температур (до 16 °C) [4]. Начавшееся строительство подземного рудника вскрыло ряд негативных особенностей месторождения, при этом наибольшие проблемы проявились при вскрытии водо- и нефтегазонасыщенных зон. Во всех подземных сооружениях начались возгорания нефтепроявлений, повторные взрывы газозавоздушных смесей при шпуровой отпалке горной массы, приведшие к вынужденным простоям и дополнительным материальным затратам. В связи с вышеотмеченным, исследование нефтегазовых, гидродинамических и других условий месторождения, обеспечение и контроль безопасных условий производства горнопроходческих и добычных работ приобретают существенную актуальность и практическую значимость.

**Результаты исследований
и их обсуждение**

Кимберлитовая трубка Удачная, состоит из двух сопряженных тел (западного и восточного) [3, 4 и др.]. В верхней части разреза осадочного чехла оба тела соприкасаются друг с другом, однако, начиная с глубины 250–270 м, они разобщены в земном пространстве. В рудной структуре месторожде-

ния установлено 8 кимберлитовых жил и 3 небольших сателлитных тела (до 5–10 м), структурно увязанных в две системы направлений с азимутами 63–65° и 85°. Сложность горно-геологических условий месторождения связана с распространенными во вскрываемом разрезе газонасыщенными хлоридными кальциевыми рассолами; неравномерной газо- и нефтенасыщенностью осадочных пород и кимберлитов; изменчивой геотермической обстановкой; совместным осуществлением открытых горных работ со строительством и проходкой подземных горных выработок рудника «Удачный».

Анализ тектонической обстановки на месторождении показывает, что оба тела трубки Удачной расположены в четком разломном узле, образованном пересекающимися диагональными системами региональных разрывных нарушений (северо-восточной и несколькими северо-западными), осложненными мелкими околотрубочными локальными разрывами [5]. При этом северо-восточная система, вероятно, является более мощной и ранней. Эта система выражена зонами дробления, системами мелких параллельных разрывов или крупных трещин, на плоскостях которых нередко наблюдается развитие глинки трения с отчетливо выраженными крутыми и иногда достаточно протяженными зеркалами скольжения, разворотами блоков осадочных пород, локально сопровождающимися окварцеванием и пиритизацией пород. Судя по ориентировке штрихов скольжения на плоскостях крупных трещин и по скульптурам роста самих трещин по кинематическому

типу северо-восточную зону разлома можно отнести к левому сдвигу. Северо-западные системы разрывных нарушений более молодые и контролируют большинство долеритовых интрузий в регионе.

Общие представления о геологическом строении, структуре и генезисе кимберлитовых тел, данные о фильтрационных показателях вмещающих пород и кимберлитов алмазных месторождений Якутии говорят о том, что «трубки взрыва» и нарушенные разрывными дислокациями прилегающие блоки осадочного чехла могут являться своеобразными «гидравлическими окнами» в подземной гидросфере, по которым мигрируют подземные флюиды из глубоких горизонтов и прилегающих областей. Поэтому требуется обязательный учет этого важного структурно-тектонического фактора для краткосрочного и долгосрочного прогнозов при отработке глубоких горизонтов месторождения с оценкой газо- и водопритоков в подземные горные выработки рудника.

Коренные алмазные месторождения характеризуются большим диапазоном состава, свойств, форм содержания и неравномерностью распределения природных газов в породных толщах и кимберлитах. Газовая составляющая на месторождении представляет собой сложные смеси газов воздушно-химического, метаморфического, магматического и радиогенного происхождения с тремя основными типами разновидностей нахождения: свободной, сорбированной и растворенной [4]. По составу основных компонентов природные газы подразделяются на азотные и углеводородные с их вариациями. Характерными отличиями природных газов алмазных месторождений являются относительно высокие содержания водорода и тяжелых углеводородов от этана (C_2H_6) до гексана (C_6H_{14}) [2–4]. Распределение газов во вмещающих осадочных породах и в кимберлитовых трубках носит сложный характер. Состав, масштабы и интенсивность газопоявлений зависят, в первую очередь, от вещественного состава пород, структурно-тектонической обстановки вблизи месторождения и в той или иной его части, а также от других геологических показателей. В рудных телах спонтанные выделения горючих газов приурочены, в основном, к зонам вскрытия эндогенной трещиноватости, на контактах разных типов кимберлитов (фаз внедрения магматического вещества) и локальным газовым ловушкам.

Каждая форма скопления (нахождения) горючих газовых смесей создает определенные сложности и влияет на безопасность производства подземных горных работ. На общее состояние воздушной атмосферы

строющегося рудника, в большей части, сказывается интенсивность притока подземных вод в горные выработки с поступающими совместно растворенными газами. Выделяющиеся из рассолов горючие газы создают основной фон газонасыщенности (и предельно допустимых концентраций газов) в забоях, буровых нишах, тупиковых выработках и вблизи зумпфов, насосных и др. Газы, выделяющиеся из подземных вод месторождения, по своему составу отнесены к 1-ой категории взрывоопасных смесей [6]. Свободные газовые проявления струйного и суффлярного типов в подземных выработках рудника, приуроченные к трещинным зонам, относятся к газодинамическим явлениям и считаются наиболее опасными. Данный тип газодинамических явлений, в основном, связан со вскрытием трещинных проницаемых зон, приуроченных к дизъюнктивным дислокациям регионального плана.

По характеру выделения газов на месторождении наблюдаются практически все виды газопоявлений: от газоотдачи жидкостей (нефти, вод) и пород, газовых струй до внезапных выбросов, как правило, вместе с рассолами. Интенсивность водогазопоявлений в подземных горных выработках рудника варьируется в широких пределах и достигала $200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Наиболее интенсивные выделения газа происходили при вскрытии разрывных нарушений. Имеющиеся в настоящее время натурные данные убедительно свидетельствуют о пространственной приуроченности всех сосредоточенных газопоявлений и значительной части нефтебитумопоявлений в телах трубки к ослабленным трещиноватым зонам и кавернозным пустотам.

Прогнозирование газонасыщенных зон при строительстве и эксплуатации подземного рудника «Удачный» является важной и необходимой задачей с позиции обеспечения безопасности ведения горных работ. Оценка газоносности разрабатываемых породных и рудных массивов на месторождении должна осуществляться в несколько этапов с использованием комплекса всех исходных данных для долгосрочного (регионального) и краткосрочного (локального) прогноза. Продолжительность долгосрочного прогноза оценивается периодом от года до 5 лет, а краткосрочного – от суток до первых месяцев. Для долгосрочного прогноза наличия и вскрытия газонасыщенных зон и ловушек в рудных телах и вмещающих отложениях, а также экранов, под которыми происходит аккумуляция свободного газа, необходимо, использовать литолого-генетических критерий, при этом требуется установление и подтверждение на практике корреляционных связей этих показателей.

Вторым критерием для долгосрочного прогноза газопроявлений на месторождении является структурно-гидрогеологический. Оценивая структурно-тектоническую обстановку на нижних горизонтах месторождения необходимо выделять опасные разломные зоны, по которым возможна миграция газонасыщенных рассолов из сопряженных областей с обязательным подтверждением степени их потенциальной водо- и газоопасности. Результатом комплексного анализа всех геологических материалов по руднику должно быть составление соответствующими службами прогнозных карт и разрезов с выделением газоопасных зона и с учетом блочной модели месторождения, которые должны регулярно уточняться и пополняться. Как ранее отмечено, основной подток газонасыщенных флюидов в горные выработки для месторождения связан с кимберлитоконтролирующими разломами северо-восточного простирания. Большая часть газовых выделений и выбросов в горных выработках приурочена к данным зонам наиболее древних тектонических структур региона.

В состав краткосрочного (текущего) прогноза на месторождении должен входить комплекс всех данных, полученных при изучении газообильности вскрываемого горного массива на стадии строительства и эксплуатации рудника, в основном, за счет бурения опережающих, разведочных и других скважин. При проходке скважин должен обязательно быть организован постоянный контроль динамики газовыделений с оценкой параметров давления флюида в ее устьевой части. В тоже время существует необходимость применения также геофизических методов, включая и георадарное просвечивание (геологацию) вскрываемых интервалов разреза, которые будут способствовать выделению опасных зон.

В виду отсутствия на нижних горизонтах месторождения развитой системы геолого-разведочных скважин, возникает необходимость использования для текущего прогноза косвенную информацию, получаемую из других оперативных источников. В частности, необходимо использовать данные автоматизированного газового контроля (АГК) при проходке подготовительных и горно-капитальных выработок. Такая дополнительная информация позволит установить численные зависимости между газовыми, структурно-минералогическими и гидрогеологическими характеристиками пород на различных участках с введением формализованного показателя по газообильности (газовыделению), который будет фиксировать случаи обнаружения газов в рудничной атмосфере, рассредоточенные во времени и пространстве.

Все поступающие данные должны анализироваться и обобщаться с использованием статистических методов, получением корреляционных связей и показателей. В дальнейшем, вся получаемая информация должна служить основой построения прогнозных планов и разрезов газоносности рудных тел и вмещающих массивов с прослеживанием достоверности используемых методов. На основании осуществляемого краткосрочного прогноза должны разрабатываться конкретные мероприятия для каждого участка по дегазации вскрываемых массивов, в соответствии со «СпецМерУд-2013» [6].

При подготовке блоков подземного рудника к отработке, и при документации скважин представляется необходимым производить качественную экспертную оценку инженерно-геологических свойств этих блоков и литологических подразделений разреза для более корректного прогноза газового режима при проектировании и проходке инженерных сооружений. Для учета разных возможных ситуаций рекомендуется использовать несколько блоков показателей с различающимися параметрами. Наиболее простая методика такой оценки инженерно-геологический свойств скального массива, предложена Окамото и Аки [2] и широко используется при проектировании и проходке различных сооружений в Японии и других странах. Пример такой оценки приведен в таблице (первый и второй блоки). Литологический фактор (третий блок) также играет существенную роль в оценке возможного газового показателя участка, связанного с сорбированными газами. Особенно следует обращать внимание на контакты разнородных пород, их кавернозность и трещиноватость. Важное значение для экспертной оценки при прогнозе газового режима по руднику имеет и обводненность пород (четвертый блок).

При подготовке блоков подземного рудника к отработке, и при документации скважин представляется необходимым производить экспертную оценку инженерно-геологических свойств этих блоков и литологических подразделений разреза для прогноза газового режима при проектировании и проходке инженерных сооружений. Для учета разных возможных ситуаций рекомендуется использовать несколько блоков показателей с различающимися параметрами. Наиболее простая методика такой оценки инженерно-геологический свойств скального массива, предложена Окамото и Аки [1] и широко используется при проектировании и проходке различных сооружений в Японии и других странах. Пример такой оценки приведен в таблице (первый и второй блоки). Литологический фактор

(третий блок) также играет существенную роль в оценке возможного газового режима участка. Особенно следует обращать внимание на контакты разнородных пород, их

кавернозность и трещиноватость. Важное значение для экспертной оценки при прогнозе газового режима по руднику имеет и обводненность пород (четвертый блок).

Экспертная оценка при прогнозе газовой опасности отрабатываемого участка (зоны)

1. Классификация скального основания

Фактор	Категория	Уточнения, характеристики
Твердость пластинки породы	A	Твердая (при ударе молотком дает искры)
	B	Отчасти твердая, отчасти с пониженной твердостью, в целом с несколько пониженной твердостью (раскалывается при сильном ударе молотком)
	C	С низкой твердостью (полностью разрушается при ударе молотком)
Расстояние между трещинами	I II III	Более 50 см От 50 до 15 см Менее 15 см
Состояние трещин	a b c	Плотно сжатые Открытые С глинистым или другим заполнением
Зоны повышенной трещиноватости и зоны разломов	d	Менее 5-10 см, развороты блоков, милониты и катаклазиты, окварцевание, пиритизация

2. Оценка скального основания

Оцениваемый литологический интервал	Оценка	Комбинации категорий
A	Хорошо	AIa, AIb, BIa, BIb
B	Посредственно	AIc, AIIa, AIIb, BIIc, BIIa, BIIb, CIIa
C	Довольно плохо	AIIc, CIIb, CIIc, CIIa, CIIb
D	Плохо	Прочие комбинации

3. Литологический фактор оценки газового режима

Фактор	Категория	Уточнение, характеристика
Присутствие контакта между породами одинакового состава	1	Контакты внутри однородных литологических разновидностей пород
Присутствие контакта между породами разного состава, рифовые постройки	2	Контакты между литологически различающимися породами
Присутствие контакта между массивными и трещиноватыми породами	3	Контакт между известняками, доломитами и мергелями
Присутствие контакта между массивными и кавернозными породами	4	Контакты между однородными или разнородными породами

4. Гидрогеологический фактор оценки газового режима тектонических нарушений

Фактор	Категория	Уточнение, характеристика
Сухие контакты пород и плоскостей трещин	1(I)	Полное отсутствие свободной воды в породе
Слабо обводненные контакты пород и плоскости трещин	2(II)	Присутствие воды на контактах пород и в плоскостях трещин. Общий дебит – до 10 м ³ /ч
Средне обводненные зоны контактов пород и плоскости трещин	3(III)	Общий дебит – 10–50 м ³ /ч
Сильно обводненные зоны контактов пород и плоскости трещин	4(IV)	Общий дебит – более 50 м ³ /ч

5. Общая экспертная оценка при прогнозе потенциальной газовой опасности участка (зоны)

Фактор	Категория	Уточнение, характеристика
Потенциально безопасный	I (I)	AIa, AIb, BIa, BIb, 1, 1(I)
Потенциально слабо опасный	II(II)	AIc, AIIa, AIIb, BIIc, BIIa, BIIb, CIIa, 2, 2(II)
Потенциально опасный	III(III)	AIIc, CIIb, CIIc, CIIa, CIIb, 3, 3(III)
Потенциально очень опасный	IV(IV)	AIIc, CIIb, CIIc, CIIa, CIIb, d, D, 4, 4(IV)

На основе анализа всех имеющихся комплексных материалов по вскрываемым участкам, которые могут создать в дальнейшем газоопасную обстановку в горных выработках, необходимо проводить систематизацию (ранжирование) и представлять применяемые критерии с их количественной оценкой. Характерные элементы используемой системы обобщенных показателей с их количественным представлением разделяются и по значимости. Набор применяемых критериев определяет газоопасность того или иного участка и позволяет осуществлять районирование по каждому признаку с последующим картографическим отображением. Этот подход к районированию с разделением по значимости и последующим установлением границ опасных участков для каждого критерия и далее по обобщенному показателю существенно увеличивает эффективность предлагаемой методики прогноза газовыделений на руднике.

Рассмотрим детали выполненной количественной оценки существующих критериев. В предложенном варианте разделения комплексной прогнозной системы каждому установленному признаку присваивается ранг. Ранее проведенными исследованиями установлено, что выделенные признаки неодинаково характеризуют эффективность (значимость) существующего критерия. Поэтому для более детального разделения им присваиваются индексы в виде чисел (1, 2...n) с установлением обобщенного индекса (P_n). Известно, что отмеченные и рассматриваемые признаки в разной степени отображают и эффективность критерия, поэтому для соответствия проводимого ранжирования вскрываемых участков вводим характеризующий балл (коэффициент) по прерогативе и весомости используемого признака (от 1 до 10). Далее рассчитывается обобщенный показатель (K_p) нефтегазоопасности природного объекта (зоны, интервала), который выражен суммой всех признаков (P_n), усиленных соответствующим коэффициентом (баллом) (i_n), и представляется в следующем виде:

$$K_p = \sum P_n \times i_n.$$

По результатам оценки рассматриваемого участка (зоны) получаем, что чем выше обобщенный показатель, тем возможно опаснее природный объект (геологическая структура) для решения проблемы по его разгазированию и вскрытию. Это под-

тверждено анализом натуральных данных при прогнозе нефтегазоопасных интервалов (участков) на руднике «Удачный».

Заключение

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что подземный рудник «Удачный» обоснованно отнесен к опасным по выделениям взрывчатых газов и возгораниям нефти. Влияние газовых факторов на подземную отработку месторождения с сопутствующими газодинамическими явлениями зависит, в первую очередь, от интенсивности проветривания тупиковых забоев, степени их обводненности, литолого-стратиграфической и структурно-тектонической обстановки на участках строительства и эксплуатации, наличия нефтегазонасыщенных отложений и флюидоупорных экранов, а также основных типов нахождения газовой составляющей в разрабатываемых породных и рудных массивах. Одной из особенностей при освоении месторождения трубки «Удачная» является значительная встречаемость сосредоточенных газовыделений в разломных зонах, иногда с повышенным содержанием водорода в начальный период их вскрытия. Предложенная качественная и количественная оценка показателей нефтегазоопасности участков (зон) позволит осуществлять детальное районирование месторождения и выделять наиболее значимые объекты при прогнозе сложности ведения горнопроходческих и добычных работ на подземном руднике.

Список литературы

1. Геологические структуры. 1990. Под ред. Т. Умуры, Ш. Мишунати. – М.: Недра. – 292 с.
2. Бодунов Е.И., Изосимова А.Н., Зуева И.Н. и др. Геохимическая характеристика газов и нефтей Ботуобинского района Якутии // Геология нефти и газа. – 1981. – № 8. – С. 20–28.
3. Дроздов А.В., Егоров К.Н., Готовцев С.П., Климовский И.В. Особенности гидрогеологического строения и гидрохимической зональности кимберлитовой трубки «Удачная» // Комплексные мерзлотно-геологические исследования. – Якутск: ИМ СО АН СССР. – 1989. – С. 145–155.
4. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. – 507 с.
5. Дроздов А.В., Мельников А.И. Особенности строения многофазных кимберлитовых трубок (на примере трубки Удачной) // Маркшейдерия и недропользование. – 2009. – № 1. – С. 31–38.
6. Специальные мероприятия газового режима при ведении горных работ на подземном руднике «Удачный» в условиях газонефтепроявлений (выпуск 3) / А.В. Дроздов, А.В. Боланёв, М.К. Сороченко и др. – Мирный: Мирнинская городская типография, 2013. – 172 с.