

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN117.pdf>

Статья опубликована 23.02.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Власов С.Г., Немчинова Н.В., Зелинская Е.В. Характеристика агрессивной среды, воздействующей на надежность эксплуатации горного оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 622.002.5**

**Власов Сергей Геннадьевич**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, Иркутск<sup>1</sup>  
Аспирант кафедры «Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды»  
E-mail: vlas.serge2013@yandex.ru

**Немчинова Нина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, Иркутск  
Заведующая кафедрой «Металлургия цветных металлов»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: ninavn@yandex.ru  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=394364](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394364)

**Зелинская Елена Валентиновна**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, Иркутск  
Профессор кафедры «Обогащение полезных ископаемых и охрана окружающей среды»  
Доктор технических наук  
E-mail: zelinskaelena@mail.ru  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=158299](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=158299)

## **Характеристика агрессивной среды, воздействующей на надежность эксплуатации горного оборудования**

**Аннотация.** В статье дана краткая характеристика кимберлитовых месторождений компании «АЛРОСА» как источника возникновения коррозионных разрушений основных металлосодержащих конструктивных узлов самоходного горного оборудования, а также стальной трубопроводной аппаратуры. Авторами приведен перечень основного оборудования, эксплуатируемого при добыче кимберлитовой руды, а также примеры разрушений металлических элементов оборудования рудника «Мир» в результате коррозии в подземных горных выработках. Также показано, что наибольшему износу из-за коррозионных процессов подвержены элементы горного оборудования, имеющие непосредственный контакт с рудничной атмосферой и агрессивной водной средой (в местах с высокой турбулентностью потоков) - задвижки, рабочие колеса центробежных насосов, штоки. В статье приведены данные об основных показателях агрессивности рассолов (концентрация основных микро- и макроэлементов, жесткость, кислотность) водоносного комплекса и о фактическом и нормативном сроках эксплуатации самоходного горного оборудования в настоящее время. Показано, что экономические потери из-за вышедших из строя благодаря коррозионному

---

<sup>1</sup> 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

разрушению только трех видов элементов самоходного горного оборудования составил 133,266 млн. руб. в год.

Определены пути дальнейших исследований, направленных на повышение надежности эксплуатации подземного самоходного горного оборудования.

**Ключевые слова:** самоходное горное оборудование; водоносный горизонт; нормативный срок эксплуатации; коррозия

### Введение

Повышение долговечности и надежности машин, оборудования и металлоконструкций, эксплуатируемых в горной промышленности, лежит в основе создания металлосберегающих технологий [1, 2].

Наличие во вскрываемых при отработке месторождений водах солей металлов приводит к ряду негативных последствий при эксплуатации оборудования (в частности, в алмазодобывающей промышленности). Одним из них является уменьшение срока службы машин и СГО из-за интенсификации процесса коррозии металлических изделий под воздействием электролитов (растворенных в шахтных и карьерных водах солей) и паров вредных соединений, присутствующих в рудничной атмосфере.

В связи с этим исследования, направленные на анализ протекающих коррозионных процессов и поиск путей повышения надежности эксплуатации СГО и других металлосодержащих узлов и элементов, являются актуальными.

### Характеристика месторождения «Мир»

Рудник «Мир» расположен в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия) на левобережье р. Ирелях в черте г. Мирный. В экономическом отношении трубка «Мир» расположена в промышленно освоенном районе Якутской алмазонасной провинции, где функционирует Мирнинский горно-обогатительный комбинат с развитой производственной и социальной инфраструктурой [3-5].

Кимберлитовое месторождение «Мир» разрабатывается открытым способом с 1958 г., представлено трубообразным субвертикально падающим рудным телом, в поперечном сечении близким к эллипсу с размерами малой и большой полуоси 140 на 300 м (рисунок 1, [6]). С глубиной площадь поперечного сечения трубки уменьшается, и форма ее усложняется, приобретая удлиненно-овальные очертания. Рудное тело характеризуется средней степенью трещиноватости, трещины залечены галитом и сульфатами.

Кимберлиты нижних горизонтов относятся к породам малопрочным и средней прочности. Прочность кимберлитов на сжатие изменяется от 15 МПа до 49 МПа, составляя в среднем 26 МПа. Коэффициент крепости ( $f$ ) по шкале проф. Протоdjeяконова - 2-5. Плотность руды - 2,52 т/м<sup>3</sup>. Коэффициент разрыхления кимберлитов, определенный по верхним горизонтам, в среднем составляет 1.7.

Вмещающие породы месторождения сложены осадочными карбонатными и сульфатно-карбонатными породами иглинской (интервал глубин 0-170 м), верхоленской (170-315 м), метегерской (315-430 м), ичерской (430-520 м), чарской (555-855 м), олекминской (855-1045 м), толбачанской (1045-1240 м) свит. Пластовое тело долериттов мощностью 35 м (на глубине 520-555 м) разделяет отложения ичерской и чарской свит. Прочностные свойства вмещающих пород увеличиваются с глубиной (0-500 м - 20 МПа; 500-800 м - 32 МПа, 800-1000 м - 48 МПа,

долериты - 40 МПа). Наличие прослоев мергелей, ангидритов, соли снижает прочность массива пород. Отложения метегеро-ичерской свит характеризуются повышенной трещиноватостью (до 10 трещин на 1 м). Отложения чарской свиты относятся к слаботрещинуватым (до 2 трещин на 1 м), олекминской и толбачанской свит - к среднетрещиноватым (до 5 трещин на 1 м). Соленасыщенность отложений чарской свиты составляет 60-65% от мощности разреза, толбачанской - 32-42% [3].

Месторождение является опасным по выделению метана и его гомологов, а также по нефтебитумопроявлениям.

Источником газов в породах является выделение их из рассолов и нефти, а также из каверн и трещин. Наиболее газоносными являются породы толбачанской свиты. Четко выделяются два типа газов: сероводородо-азотно-метановые, приуроченные к метегеро-ичерскому водоносному комплексу, и метановые, приуроченные ко всей толще пород, залегающих ниже водоносного комплекса. Максимальная общая газоносность пород в интервалах пластов-коллекторов составляет  $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Газоносность пород проявляется при дроблении в процессе их проходки и отбойки. Остаточная газоносность характеризуется следующими величинами:

- для чарской свиты в среднем -  $0,17 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;
- для олекминской свиты -  $0,28 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;
- для толбачанской свиты -  $0,16 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Нефтебитумопроявления прослежены до глубины 1200 м и отмечаются в метегеро-ичерской толще, прослоях чарской свиты, в олекминской свите (840-900 м) и в межслоевых пластах глубже 1000 м. Масштаб нефтебитумопроявлений в кимберлитах и их газоносность значительно меньше, чем во вмещающих породах. Одним из основных условий безопасной работы рудника будет являться предварительная дегазация пород [7].

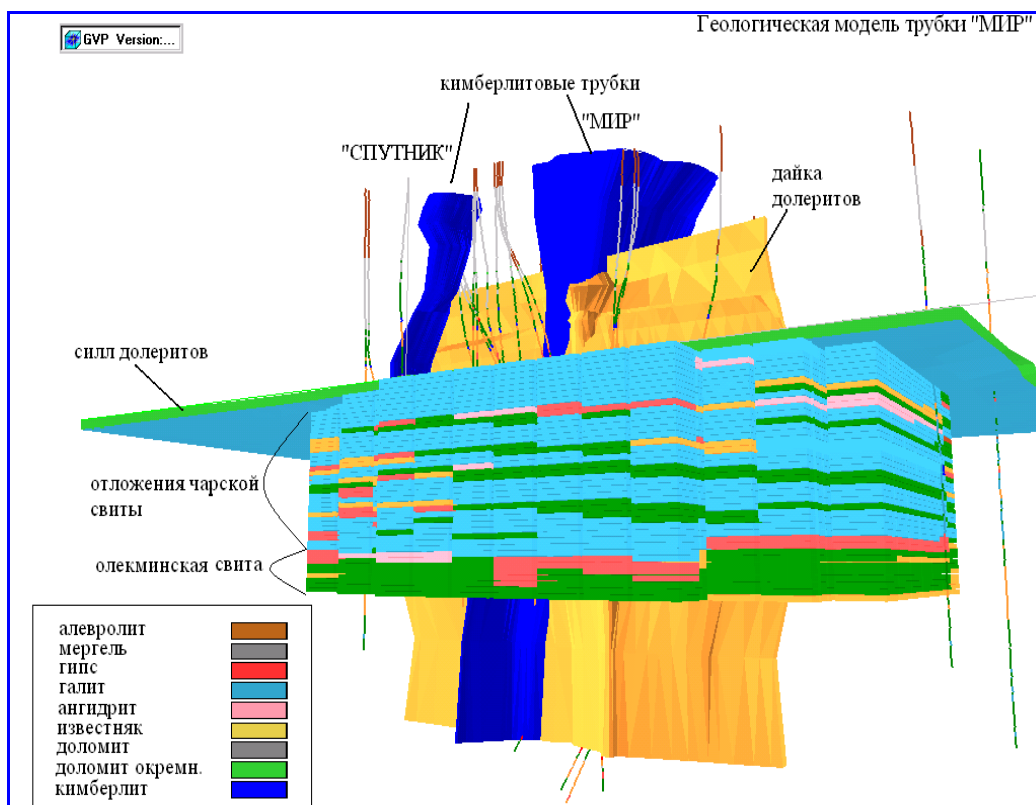


Рисунок 1. Геологическая модель трубки «Мир» АК «АЛРОСА» [6]

## Характеристика водоносного горизонта

Месторождение характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями, что в первую очередь связано с наличием в толще массива пород мощного водоносного горизонта. Основной водоносный комплекс приурочен к породам метегерской и ичерской свит. Кровлей водоносного комплекса является граница многолетнемерзлых пород верхоленской свиты. Абсолютная отметка кровли минус 5 ... плюс 20 м. Подошва горизонта находится на абсолютной отметке минус 130 ... 150 м. абс. Общая мощность водоносного комплекса составляет порядка 150 м. Подземные воды метегеро-ичерского комплекса имеют хлоридно-натриевый состав содержат растворенные газы, общая минерализация составляет 85-130 г/дм<sup>3</sup>.

Осложняющим фактором эксплуатации СГО и трубопроводов является присутствие в рассолах сероводорода.

Наличие сероводорода в пластовых водах было установлено еще при предварительных геологических исследованиях района разработки алмазных месторождений; кроме того, в результате тех же исследований, а также по данным, полученным при промышленном освоении основных кимберлитовых трубок в Мирнинском районе, было установлено, что в рассолах метегеро-ичерского горизонта содержатся также азот, метан, этан, углекислый газ, инертные газы. Максимальное содержание всех газов в целом составляет 0,2 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (при массовых долях метана в среднем - 45-50%, азота - 35-45%, сероводорода - 0,8-1,0%).

Максимальное же содержание сероводорода, в частности, составляет до 160-180 мг/дм<sup>3</sup> при температуре 0°С и общей минерализации 90-130 г/дм<sup>3</sup>. Содержание сероводорода колеблется от 25,0 до 136,0 мг/дм<sup>3</sup> и находится в прямой зависимости от содержания сульфатов. Средние концентрации H<sub>2</sub>S в рассолах за весь период наблюдений за функционированием системы водопонижения на карьере «Мир» составляют 100-120 мг/дм<sup>3</sup> [7].

Содержание метана, выделяющегося из рассолов, колеблется в пределах 59-65%, а максимальное его содержание достигает 73,9% по объему. Из углеводородных газов, кроме метана, фиксируется этан, содержание которого составляет 0,3-2,2 %. По данным наблюдений в пробах присутствует также пропан (0,02-0,06%), других гомологов не обнаружено. Азот присутствует в количествах от 30 до 33%. Содержание углекислого газа составляет 0,1-0,4%. Водород присутствует в отдельных пробах с содержанием до сотых долей процента. (Его наличие объясняется взаимодействием сероводорода с металлом обсадных труб).

В составе газа зафиксирован водород содержанием в пределах 0,3-2,28%. Незначительная доля водорода образуется за счет техногенных процессов (в частности, за счет перфорации стволов скважин кислотой). Большая же часть водорода объясняется его присутствием во вмещающих нефтегазонасыщенных породах.

В подземные горные выработки рудника «Мир» максимальный приток сероводородсодержащих вод составляет около 1200 м<sup>3</sup>/час (при среднем значении 500-600 м<sup>3</sup>/час) [8]. В настоящее время выполняются проектные решения по отработке подземным способом разведанных запасов. Мониторинг содержания сероводорода в пластовых водах, просачивающихся в подземные выработки данного рудника, показал некоторое снижение его концентрации до 50-90 мг/дм<sup>3</sup> (в среднем). Тем не менее, даже такая незначительная концентрации сероводорода представляет собой серьезную угрозу безопасности проведения подземных горных работ в горных выработках на месторождениях рудников «Мир» и «Интернациональный», а также ведет к сокращению нормативного срока эксплуатации подземного СГО, многократному увеличению затрат на содержание и безопасную эксплуатацию подземных горных выработок.

## **Перечень основного оборудования, эксплуатируемого при добыче кимберлитовой руды**

Для проходки горноподготовительных выработок (ГПР) по пустой породе - хлориду натрия - эксплуатируется комбайновый комплекс: комбайн типа АМ-75 (или его модификации) фирмы «Alpine-Miner» (Австрия). Для отгрузки горной массы рассмотрено применение двух видов погрузочно-доставочных машин (ПДМ с дизельным приводом) типа ST-710 (или ST-14) и типа МТ-2010 фирмы «Atlas Copco» (Швеция).

Для проходки выработок ГПР по вмещающей породе (с крепостью  $f$  более 6) используется буровзрывной комплекс: буровая установка типа «Boomer H282C» фирмы «Atlas Copco» (Швеция), отгрузка горной массы осуществляется аналогично, как и при комбайновой технологии проходки ГПР - ПДМ в двух модификациях.

Для бурения восстающих выработок вертикальной подготовки блока №2 эксплуатируется буровая установка «Роббинс 73АМ-RC» фирмы «Atlas Copco» (Швеция).

Для бурения закладочных скважин используется буровая установка СММ-2А (США).

Для выполнения вспомогательных работ предусматривается использование вспомогательного доставочного оборудования с дизельным приводом:

- по доставке людей, материалов и оборудования - самоходная кассетная система «Мультимек» (машина-тягач) фирмы «Normet» (Финляндия), с кассетами по перевозке людей (30 чел.), грузовой, подъемной, самосвальной платформами, кассетой для перевозки ГСМ;
- для установки штангового крепления - крепеустановщик анкерной крепи (анкерная каретка) типа Roof Master 2.0 AR D/E фирмы «Mine Master» (Польша) или типа Robolt H320 30C фирмы «Tamrock» (Финляндия);
- для навески сетки на контур выработки - самоходная кассетная система "МиШтес" (или «Мультимек» фирмы "Normet" (Финляндия) или навеска с временных полков;
- для производства крепления набрызг-бетонной крепью - самоходная машина для торкретирования выработок типа «Spraymex 6050 W» или торкрет-установка типа «АЛИВА» фирмы "Normet".

Для выполнения вспомогательных работ на очистных работах предусматривается использование вспомогательного доставочного оборудования с дизельным приводом типа самоходной кассетной системы «Мультимек», а также крепеустановщик анкерной крепи (анкерная каретка) типа «Roof Master» или «Robolt H320 30C».

В настоящее время только на руднике «Мир» используется более 40 единиц СГО, элементы которого выполнены из различных сплавов, и десятки километров подземных коммуникаций (трубы и трубопроводная арматура), выполненных из стали. Подземное горное оборудование эксплуатируется в выработках II класса, опасных по горючим газам (зонах), в которых прогнозируется или выявлена возможность струйного или диффузионного выделения природных газов, в результате чего при проектных (паспортных) параметрах вентиляции может быстро образовываться газовая смесь с содержанием горючих газов в диапазоне 0,2-0,5 об. % и опасных по сероводороду. Срок службы капитальных подземных горных выработок составляет 15 лет.

В таблице 1 приведен перечень основного СГО в АК «АЛРОСА».

**Таблица 1**

**Перечень основного СГО в АК «АЛРОСА» по состоянию на 01.10.2016 г.  
(сводные данные составлены авторами)**

Вид оборудования	Модель	Количество	%	Производитель	Итого
Комбайны	MH-620 (AM-105)	10	42	Sandvik	24
	MR-360 (AM-75)	11	46	Sandvik	
	EBH-315	1	4	Shanxi Tiandi Coal Mining Machinery Co., Ltd	
	EBH-200	1	4	Joy Global	
	EBZ-200C	1	4	Joy Global	
Самосвалы	MT-2010	9	29	Atlas Copco	31
	PMKT 10000	14	45	Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH	
	TH-320	8	26	Sandvik	
Погрузочно-доставочные машины	ST-14	6	12	Atlas Copco	51
	ST-1030	4	8	Atlas Copco	
	ST-7	3	6	Atlas Copco	
	ST-3,5 R	1	2	Atlas Copco	
	ST-2DR	1	2	Atlas Copco	
	R1600G	1	2	Caterpillar	
	LF 10/11	7	14	GHN Fahrzeuge GmbH	
	LT-70	1	2	Joy Global	
	LH-410	12	24	Sandvik	
	LH-409E	9	18	Sandvik	
	SFL65	1	2	Schopf Maschinenbau GmbH	
	МПД-4	3	6	ООО «Майнер»	
Буровые установки	ПДМ 95-01	2	4	ЗАО «УралСпецМаш»	37
	Boomer S1D	1	3	Atlas Copco	
	Boomer 282	5	14	Atlas Copco	
	Robbins 73RH	5	14	Atlas Copco	
	CMS1-2000/45	1	3	Jikai Equipment Manufacturing CO. Ltd	
	CMM-2A	5	14	Joy Global	
	DD-311	2	5	Sandvik	
	DD-410	3	8	Sandvik	
	DD-420-40C	8	22	Sandvik	
	DL-311-7	1	3	Sandvik	
DL-420-7	2	5	Sandvik		
HKP-100МВПА	4	11	АО «Кыштымское машиностроительное объединение»		

Воздействие агрессивных газов разрушает оксидную пленку, выполняющую защитную функцию, на деталях оборудования. Даже при снижении концентрации  $H_2S$  до средних значений 50-90 мг/дм<sup>3</sup> выделение сероводорода ведет к сокращению нормативного срока эксплуатации подземного СГО, многократному увеличению затрат на содержание и безопасную эксплуатацию капитальных подземных горных выработок.

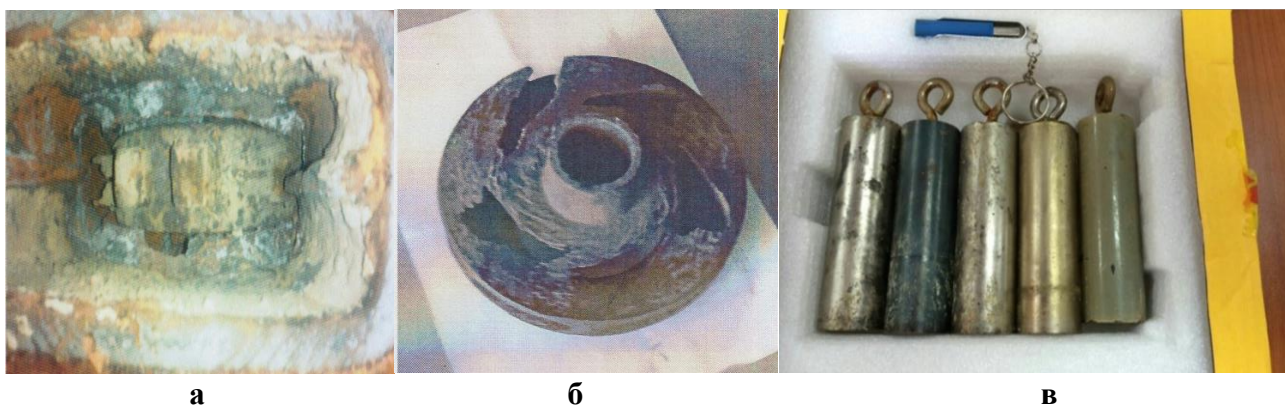
Решением проблемы является создание рациональной системы нейтрализации воздействия компонентов агрессивной среды на основе разработки методики защиты СГО и других металлических элементов от коррозии.

Проводимые осмотры горного оборудования показали наличие дефектов, вызванных коррозией металлосодержащих деталей и узлов [9]. Такие детали и элементы, как глушители, радиаторы охлаждения, теплообменники, фары, соты гидротрансформаторов, различные детали насосного оборудования и другие в значительной мере корродированы (рисунок 2). Исследования показали, что фактический срок службы может составлять в два с лишним раза меньше нормативного вследствие воздействия факторов агрессивной среды. Фактические

дополнительные затраты в месяц (в связи с заменой) на один вид оборудования - заглушки - составляют 4 440 тыс. руб.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшему износу подвержены те элементы СГО, которые имеют непосредственный контакт с рудничной атмосферой и с агрессивной водной средой, причем там, где имеет место высокая турбулентность потоков. К таким элементам в первую очередь следует отнести насосы и трубопроводы.

Одними из наиболее уязвимых, с точки зрения снижения срока эксплуатации, являются основные конструктивные элементы дорогостоящего оборудования, изготовленные из сплавов цветных металлов; например, клапаны управления перемещением бурового станка марки СММ-2А (рисунок 3, [10]). Данные элементы являются двойными управляемыми запорными клапанами со встроенным челночным запорным клапаном для управления пружинным тормозом с гидравлическим растормаживанием. Эти два клапана регулируют выполнение функций рулевого управления установкой на основе метода бортовой передачи, при котором гусеницы должны поворачиваться при разной скорости и скользить (или немного проскальзывать) для того, чтобы установка повернулась в необходимую сторону.



**Рисунок 2.** Примеры разрушений металлических элементов оборудования рудника «Мир» в результате коррозии в подземных горных выработках: а - задвижка; б - рабочее колесо центробежного насоса; в - штоки после эксплуатации при различной продолжительности (фото авторов)



**Рисунок 3.** Клапан управления перемещением бурового станка СММ-2А, вышедший из строя в результате воздействия агрессивной среды (фото авторов)

Из-за выхода из строя клапанов управления перемещением по результатам проведенных в июле 2012 г. исследований буровые станки марки СММ-2А были заменены на новые (в

количестве 2-х штук). Эксплуатация данного оборудования проводилась в выработках II класса, опасных по горючим газам при проектных параметрах вентиляции.

В таблице 2 приведены данные о фактическом и нормативном сроках эксплуатации СГО в настоящее время.

**Таблица 2**

**Анализ потерь при эксплуатации подземного горного оборудования в условиях воздействия агрессивной среды [10]**

Наименование	Срок эксплуатации, мес.		Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Количество, шт.	Потери в год, млн. руб.
	Нормативный	Фактический			
Задвижка, Ø150 мм	36	6	80	400	53,3
Рабочее колесо центробежного секционного насоса	36	1	80	48	3,84
Буровой станок марки СММ-2А	13	9	38068	2	76,126

При транспортировке воды, содержащей сероводород, по металлическим (стальным) трубопроводам происходит их интенсивная коррозия в результате образования гальванической пары: сульфид железа (катод) - железо (анод) [11]. Однако недостаточно полно изучены вопросы о воздействии составляющих агрессивной окружающей среды на срок эксплуатации горных машин и выборе методов защиты основных конструктивных элементов СГО от коррозии для повышения их надежности и увеличения срока службы.

В связи с этим основной задачей наших исследований явилось изучение конструктивных особенностей подземного СГО при работе в условиях агрессивного воздействия содержащихся в пластовых водах газов. При этом необходимо обратить особое внимание на элементы (узлы), в которых отдельные детали изготовлены из сплавов металлов и подвергаются коррозионному воздействию [12].

### Состав агрессивной среды природных вод (рассолов)

Основным водоносным комплексом, влияющим на отработку месторождения трубки «Мир», на данный момент является надсолевой метегеро-ичерский водоносный комплекс.

Как было указано выше, подземные воды данного комплекса представлены хлоридными натриевыми рассолами с минерализацией в среднем от 90 до 130 г/дм<sup>3</sup>, хотя диапазон экстремальных значений намного шире. Общая минерализация воды в пределах комплекса возрастает с глубиной, составляя в статическом состоянии вблизи кровли 30-50, в средней части - 100-150, а в нижней - до 320 г/дм<sup>3</sup>.

Состав рассолов с ростом минерализации принципиально не меняется, происходит пропорциональное увеличение концентрации основных макро- и микроэлементов, что выражается в сохранении пределов изменения характеристических коэффициентов:  $r_{Na}/r_{Cl} = 0,92-1,0$ ;  $r_{Ca}/r_{Mg} = 0,89-2,97$ ;  $r_{SO_4-100}/r_{Cl} = 2-17$ . Для рассолов комплекса характерно повышенное содержание сульфатов - до 5,00-6,55 г/дм<sup>3</sup>. Величина pH изменяется от 6,2 до 9,6. Рассолы относительно их минерализации обеднены микрокомпонентами. Относительно низкие концентрации микроэлементов, высокие содержания сульфатов, характерные гидрогеохимические коэффициенты подземных вод метегеро-ичерского водоносного комплекса являются типичными для рассолов выщелачивания надсолевых отложений платформенных артезианских бассейнов.



Рассолы метегеро-ичерского водоносного комплекса агрессивны по отношению к металлам и сплавам в любых условиях в связи с наличием в них сульфат-ионов. В основе их разрушающего действия лежат реакции образования растворимых компонентов. Показатели агрессивности существующих рассолов на месторождении приведены в таблице 3.

**Таблица 3**

**Показатели агрессивности рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса  
(данные промышленно-санитарной лаборатории АК «Алроса», 2015 г.)**

№ п/п	Водоносный комплекс, горизонт	<i>pH</i>	$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	<i>Cl</i> , мг/дм <sup>3</sup>	<i>Fe</i> <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>
1	Метегеро-ичерский	7,2-8,9	600-900	4300-5900	60225-64564	-	162-170
2	Олекминский	5,6-6,5	3965-12099	132-202	176552-243018	-	3048-5175
3	Толбачанский	5,8-8,5	5087-10981	172-222	17842-231235	до 36	2968-3515

Рассолы Олекминской и Толбачанской свит - хлоридно-кальциевого состава. Минерализация растворов при опробовании достигает 515 г/дм<sup>3</sup>. Рассолы характеризуются кислой средой - *pH* = 5,6-6,9, высокими концентрациями: брома >5, калия >10, стронция до 2,5 г/дм<sup>3</sup> и присутствием редких щелочных элементов; характерно отсутствие сероводорода. Температура воды 0°С - +10°С. Рассолы обладают общекислотной агрессивностью к металлам. В окислительной обстановке рассолы вызывают коррозию металлов, в восстановительных условиях это свойство рассолов проявляется меньше. Согласно допустимым нормам агрессивности вод по отношению к алюминию и свинцу рассолы являются сильно агрессивными.

Дренажные карьерные воды рудников «Мир», «Интернациональная», «Удачная» существенно различаются между собой. Так, для карьерной трубки «Удачная» характерна относительно невысокая концентрация хлоридов. В то время как для дренажных вод рудника «Мир» характерны достаточно высокие концентрации хлоридов (до 23 г/дм<sup>3</sup>).

### Оборудование, узлы и агрегаты, подверженные коррозии

Важным условием для дальнейшей разработки методов предотвращения или замедления коррозионных процессов, приводящих к снижению срока службы СГО, является определение видов оборудования, а также их узлов и агрегатов, которые в наибольшей мере подвержены коррозионному износу. Такой анализ в значительной мере позволит определить условия и вещества, вызывающие коррозионные процессы горного оборудования. Исходя из проведенного анализа возможных процессов коррозии, будет осуществлен выбор методов понижения коррозионной активности природных и техногенных вод и защиты металлических конструкций от коррозионного разрушения.

Стимулирующее действие агрессивных сульфатов и хлоридов в нейтральных средах приписывается их способности проникать через поры оксидной пленки, разрушая ее изнутри вследствие вытеснения кислорода и образования растворимых солей железа. В присутствии ингибиторов ионы  $SO_4^{2-}$  зачастую превосходят своей агрессивностью ионы  $Cl^-$ .

Однако большинство авторов считают наиболее агрессивными в оборотной воде хлорид-ионы. Так, С.А. Балезин [13] показал, что «наиболее агрессивным является 3% раствор хлорида натрия. При более низких и более высоких концентрациях данного раствора скорость коррозии уменьшается, а в насыщенном водном растворе - минимальна. Указанная зависимость наблюдается при всех исследованных температурах, причем с повышением температуры наблюдается увеличение скорости коррозии для каждой исследованной концентрации NaCl».

В целом слабоагрессивной, согласно исследованиям автора [13], считается вода при общем содержании растворенных в ней солей до 500 мг/дм<sup>3</sup>, в том числе Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (суммарно) - до 150 мг/дм<sup>3</sup>, при карбонатной жесткости не менее 2,5-3 мг-экв/дм<sup>3</sup> и pH не ниже 6.

Таким образом, солевой раствор является одним из факторов, определяющих коррозионную агрессивность среды.

Трубопроводы, эксплуатируемые в подземных горных выработках, изготавливаются в основном из различных сталей (таблицы 4, 5).

**Таблица 4**

**Химический состав низколегированной стали марки 17Г1С (ГОСТ 19281-2014)**

Массовая доля элементов, %									
C	Si	Mn	Al	Cr	Ni	P	S	Cu	V
0,15-0,20	0,40-0,60	1,15-1,60	0,020-0,050	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,030	не более 0,035	не более 0,30	не более 0,12

**Таблица 5**

**Химические составы марок трубных сталей [14]**

Сталь	Химический состав, %								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
	Не более								
СтЗсп*	0,14-0,22	0,15-0,30	0,40-0,65	0,30	0,005	0,04	0,30	0,30	-
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

\*ГОСТ 380-2005

Определение химического состава важного конструктивного узла - штока цилиндра поворота погрузочно-доставочной машины ЛН-410 - выполнялись с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора металлов «S1 TITAN» (Bruker, Германия). Химический состав исследуемого образца до эксплуатации, % мас., соответственно: Fe - 80,84; Ni - 1,73; Si - 0,53; Cr - 15,78; Mn - 0,73. Это отвечает (согласно ГОСТ 5632-2014) марке нержавеющей стали 20X17H2.

Таким образом, наши дальнейшие исследования будут направлены на определение коррозионной стойкости некоторых конструктивных элементов оборудования, эксплуатируемого в условиях агрессивной среды рудника «Мир», с целью поиска решений для их защиты и повышения надежности.

### Заключение

Самоходное горное оборудование, эксплуатируемое в условиях подземных горных выработок, подвергаются коррозионным процессам под воздействием растворенных в подземных рассолах солей (электролитов) и паров вредных соединений, присутствующих в рудничной атмосфере. Основные конструктивные элементы СГО, а также материалы, из которых изготовлены элементы трубопроводов, подвергаются коррозионному разрушению, что приводит к значительным дополнительным экономическим затратам на замену отработавших деталей. В связи с этим поиск путей повышения надежности эксплуатации горных машин являются актуальными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатова О.А., Ксендзенко Л.С., Николайчук Д.Н. Надежность горных машин: учеб. пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2005. - 119 с.
2. Голубев В.А., Троп А.Е. Надежность горного оборудования и эффективность его использования. - М.: Недра, 1974. - 80 с.
3. Акишев А.Н., Бондаренко И.Ф., Бабаскин С.Л. Современное состояние и основные тенденции развития открытого способа разработки алмазородных месторождений АК «АЛРОСА» // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: сб. докл. Междунар. научн.-практич. конф. (11-15 апр. 2011 г., г. Мирный). - Новосибирск: Наука, 2011. - С. 12-15.
4. Pismenny A., Chaadaev A., Akishev A., Bondarenko I., Babaskin S. Innovative technologies at open-cast mining of diamond deposits // Innovations and Nanotechnologies of Russia. - 2012. - №1 (2). - P. 38-39.
5. Чаадаев А.С., Черепнов А.Н., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф. Перспективные направления развития технологий добычи и переработки алмазосодержащих руд в АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горный журнал. - 2016. - №2. - С. 56-61.
6. Технический проект «Рудник «Мир». Вскрытие и отработка подкарьерных запасов до отм. - 615 м». Т. 2, кн. 2 «Горно-технологические решения» (69-02-03-000-02.ПЗ). - СПб.: Гипроникель, 2002. - 100 с.
7. Калганов В.Ф., Акишев А.Н. Коренные месторождения алмазов Западной Якутии. - Новосибирск: Академическое издание «Гео», 2011. - 212 с.
8. Прогноз газонефтепроявлений по рудникам «Интернациональный» и «Мир» на полную глубину разведанных запасов: отчет о НИР. - Л.: Гипроникель, 1995. - 120 с.
9. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов. - М.: Металлургия, 1981. - 216 с.
10. Власов С.Г. Применение электрохимической защиты с целью увеличения сроков эксплуатации подземного горного оборудования на рудниках АК «АЛРОСА» Современные проблемы науки и образования. 2014. №3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13578> (дата обращения: 27.12.2016).
11. Гоник А.А. Сероводородная коррозия и меры ее предупреждения. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1976. - 192 с.
12. Власов С.Г., Зелинская Е.В., Немчинова Н.В., Пастухов М.П. Влияние факторов окружающей среды на износостойкость горного оборудования // Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: матер. XIV Междунар. научно-техн. конф. (г. Екатеринбург, 07-08 апр. 2016 г.). - Екатеринбург, 2016. - С. 335-338.
13. Балезин С.А., Родионова В.И., Гринева Н.И., Баракина Е.И. Влияние добавок на скорость коррозии стали в воде. В кн.: Ингибиторы коррозии металлов. - М.: Изд-во МШИ им. В.И. Ленина, 1976. - С. 91-93.
14. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.

**Vlasov Sergey Gennad'evich**

Irkutsk national research technical university, Russia, Irkutsk  
E-mail: vlas.serge2013@yandex.ru

**Nemchinova Nina Vladimirovna**

Irkutsk national research technical university, Russia, Irkutsk  
E-mail: ninavn@yandex.ru

**Zelinskaya Elena Valentinovna**

Irkutsk national research technical university, Russia, Irkutsk  
E-mail: zelinskaelena@mail.ru

## **Aggressive environment characteristics of affecting on the reliability of the mining equipment operation**

**Abstract.** The brief characteristic of kimberlite deposits of the ALROSA as a source of corrosion damage of major metallic structural elements of propelled mining equipment, as well as steel pipeline equipment is given in this article. By authors the list of the main equipment of the ALROSA used for the extraction of kimberlite ore, and examples of the destruction of metallic elements of mine «Mir» equipment as a result of corrosion in underground workings are presented. It is shown too that the elements of propelled mining equipment having direct contact with underground atmosphere and aggressive aquatic environment - valves, impellers of centrifugal pumps, and rods are subjected to the greatest wear due to the corrosion processes. In this article data on the main indices of the aggressiveness of brines (such as concentration of main macro - and micro elements, hardness, acidity) water-bearing horizon and on the actual and normative operation period of propelled mining equipment have been shown. Thus, economic losses made 133,266 million roubles per year because of three types of elements of propelled mining equipment failed due to corrosion destruction. The ways of further researches aimed at the reliability of the service reliability of underground propelled mining equipment.

**Keywords:** propelled mining equipment; aquifer; standard service life; corrosion