

"GORNII ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 10, pp. 28–33

Title	Deep-level mining of at the Khibiny apatite–nepheline ore deposit: State-of-the-art and prospects
Author 1	Name & Surname: Belousov V. V.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Deputy Technical Director for Mining
	Contacts: e-mail: VBelousov@phosagro.ru
Author 2	Name & Surname: Abrashitov A. Yu.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Chief, Joint Kirovsk Mine
Author 3	Name & Surname: Sakharov A. N.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia) Work Position: Chief Underground Miner (since 2004 till 2013)
Abstract	The authors state that opencast-minable apatite-nepheline ore reserves of the Khibiny deposit have largely been depleted and describe the state-of-the-art, prospects and trends of the deep-level mining in terms of Joint Kirovsk Mine and Rasvumchorr Mine within Apatit JSC. The article reviews the schemes of opening-up and preparation of ore reserves for extraction, the systems of mining, their design parameters and structural components, technology and equipment employed in drivage and stoping, systems for ore/barren rock haulage and personnel transfer, ventilation and water drainage. Of interest are the cyclical-and-continuous technologies on a basis of ore crushing and conveying units, as well as extensive use of modern load-haul-dumpers, drilling installations and emulsion explosives. The main factors governing commissioning of new facilities instead of withdrawn capacities are illustrated.
Keywords	Opencast-mineable reserves depletion, underground mines, opening-up of deeper levels, mining systems, blocks, development and face-entry drivages, hole drilling, self-propelled equipment, conveying.

УДК 622.284:622.248.381

В. В. БЕЛОУСОВ, А. В. ОСИПЕНКО, А. Н. САХАРОВ (АО «Апатит»)

КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ АО «АПАТИТ» В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ



В. В. БЕЛОУСОВ,
зам. технического
директора по горным
работам



А. В. ОСИПЕНКО,
директор
по капитальному
строительству



А. Н. САХАРОВ,
главный горняк
по подземным работам
(с 2004 по 2013 г.)

Показаны научно-исследовательские и опытно-промышленные работы, обосновывающие переход глубоких подземных рудников АО «Апатит» в условиях возрастающих горного давления и опасных геодинамических проявлений на крепление горных выработок набрызг-бетоном с применением известных в мировой практике высокоэффективных технологий и оборудования. Приведены результаты сравнительных испытаний на прочность образцов торкрет-бетона с добавками в бетонные растворы пластификаторов и ускорителей схватывания различных фирм-производителей.

Ключевые слова: подземные рудники, глубина разработки, горное давление, геодинамическая опасность, набрызг-бетонная крепь, исследование образцов, пластифицирующие добавки, ускорители схватывания, оборудование, тросовые штанги, фибры.

В настоящее время в АО «Апатит» более 50 % общего объема руды добывают подземным способом, который в ближайшие годы станет преобладающим. Разработку глубокозалегающих запасов апатит-нефелиновых руд осуществляют на двух

подземных рудниках: Объединенном Кировском, основанном в 1929 г., и Расвумчоррском — в 1954 г. По объемам подземной добычи руды Объединенный Кировский рудник является крупнейшим в России.

Таблица 1. Объемы подземной добычи руды и крепления горных выработок, в том числе торкрет-бетоном

Рудник	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
<i>Добыча руды, тыс. т</i>						
Кировский	10716	11370,9	11273,3	11675,8	12062	13000
Расвумчоррский	3061,3	3639,8	3607,3	3950,2	4462,6	4550
Итого	13776,9	15010,7	14880,6	15626	16524,5	17550
<i>Проходка горных выработок, м</i>						
Кировский	22876,6	22482,8	21416,9	20975	21609	22000
Расвумчоррский	3750,4	3880,2	3819,7	3609,5	4883,3	5710
Итого	26627	26363	25236,6	24584,5	26492,3	27710
<i>Крепление горных выработок всеми видами крепи, м</i>						
Кировский	14016,4	14699,5	16014	15801,5	15751,9	20828
Расвумчоррский	4761,6	4521,7	4609,4	6898,9	7109,3	8600
Итого	18778	19221,2	20632,4	22700,4	22861,2	29428
<i>Крепление горных выработок торкрет-бетоном, м²</i>						
Кировский	118968	132554	141135	158334	162331	208329
Расвумчоррский	51865	51715	53175	68586	70617	76800
Итого	170833	184269	194310	226920	232948	285129

До начала 1990-х годов подземную добычу осуществляли в основном этапным принудительным обрушением массовыми взрывами мощностью до 1 млн т руды, что сопровождалось сильным сейсмическим воздействием на законтурный массив с нарушением его природной тектоники, перераспределением напряженности и ростом опасных динамических проявлений, вплоть до техногенных землетрясений и горных ударов. В связи с этим высокие трудоемкость и затратность работ по проведению, креплению и поддержанию горно-подготовительных и нарезных выработок существенно сдерживали рост производительности труда и в целом эффективности добычных работ.

Появление и широкое распространение в мировой практике горного дела высокопроизводительных мобильных (в том числе самоходных) погрузочно-доставочных, буровых, транспортных,

других машин и оборудования позволило реализовать новые эффективные и безопасные технологии ведения подземных горных работ. В АО «Апатит» с начала 1990-х годов приступили к освоению системы разработки с подэтажным обрушением с применением мощной самоходной техники и торцового выпуска руды. В настоящее время около 85 % подземной добычи руды обеспечивают подэтажным обрушением, к 2016 г. переход на эту систему разработки будет завершен.

Подэтажное обрушение (отбойка) руды позволило ограничивать и регулировать мощность массовых взрывов, в определенной мере компенсировать нарастание горного давления с глубиной разработки и на этой основе модернизировать способ и технологию крепления горных выработок. В прошлом их закрепляли вручную деревянными рамами с затяжкой, железобетонными штангами (анкерами), в отдельных случаях — монолитным



Рис. 1. Возведение набрызг-бетонной крепи с применением машины Spragmet 1050 WPC фирмы Normet и миксера готового раствора

бетоном. В настоящее время основным видом крепления является набрызг-бетон (табл. 1).

С участием ГоИ КНЦ РАН выполнен большой объем научно-практических исследований по определению безопасных параметров подэтажной системы разработки месторождений и откорректирована инструкция по креплению горных выработок. При внесении корректив учитывали многолетний опыт работы рудников предприятия, а также лучшие практики в этой области, применяемые на рудниках в мире. Определены и установлены порядки отработки месторождений и блоков, виды и технологии крепления горных выработок.

В настоящее время для крепления горных выработок большого сечения методом нанесения набрызг-бетона мокрым способом применяют машины Spraugmes 1050 WPC фирмы Normet (рис. 1). Для доставки готового раствора используют подземные миксеры фирм Normet и Paus вместимостью 4 м³. В откаточных выработках малого сечения применяют машины на рельсовом ходу фирмы Aliva, обеспечивающие возможность торкретирования как мокрым, так и сухим способами. Применение этой техники позволило полностью механизировать процесс крепления и повысить производительность труда в несколько раз.

Общая технологическая схема производства работ выглядит следующим образом. На поверхности в 3–5 км от подземных рудников находится бетонорастворный завод, изготавливающий все виды цементосодержащих материалов и растворы. Имеется возможность вводить в бетонные растворы различные добавки, корректирующие их свойства. Цементосодержащие материалы загружают в поверхностные миксеры вместимостью от 4 до 8 м³ и доставляют на промышленные площадки рудников. Аттестованная лаборатория завода осуществляет контроль качества отгружаемой на рудники продукции, а также образцов готовой «обделки» выработок. На рудниках рядом с автомобильными уклонами построены эстакады, где растворы перегружают в подземные миксеры для доставки к местам производства работ.

В настоящее время и в обозримом будущем основным видом крепления выработок будет набрызг-бетон. До 2012 г. в смесь добавляли жидкое стекло для сокращения «отскока» (потеря) торкрет-бетона в процессе его нанесения на стенки и кровлю выработки с 50 до 30 %. В 2012–2013 гг. были проведены испытания добавок фирмы BASF: пластификатора

Glenium Sky510 и ускорителя схватывания Meuso SA167, а также добавок компании Normet и «Полипласт» (табл. 2). Результаты опытно-промышленных испытаний и опыт работы с добавками BASF показали увеличение скорости производства работ на 30 %; возможность крепления выработок в сложных условиях обводненности и в окисленные зоны; отсутствие вредного (раздражающего) воздействия химической добавки на кожу и глаза горнорабочих.

В опытно-промышленных испытаниях с участием представителей компании Normet проводили подбор бетонной смеси с пластификатором TamSet 60 и крепление участка горной выработки на Кировском руднике. Испытание образцов и расчеты прочности выполнены в лаборатории Кольского испытательного центра строительных изделий и материалов (табл. 3). Проведены также опытно-промышленные испытания бетонной смеси с пластификатором «Динамике ПК» компании «Полипласт», с креплением участка горной выработки на Расвумчоррском руднике. Испытание и расчеты прочности образцов выполнены в строительной лаборатории ЦСМ АО «Апатит» (табл. 4).

По результатам проведенных испытаний бетонных смесей с различными химическими добавками выявлено, что образцы с добавками фирмы BASF обладают наилучшими показателями прочностных характеристик торкрет-бетона при креплении горных выработок. Glenium Sky510 является водным раствором поликарбоксилатного эфира и замедлителя. Meuso SA167 — высокопроизводительный, не содержащий щелочи ускоритель схватывания. Он представляет собой жидкую добавку, дозировку которой можно регулировать в целях достижения заданного времени схватывания и твердения. Пластификатор Glenium Sky510 добавляют при изготовлении раствора, а ускоритель схватывания Meuso SA167 — при нанесении бетона на выработку через специальное дозирующее устройство на машине. Для нанесения бетона в выработках большого сечения применяют добавку Spraugmes 6050 фирмы Normet.

Применение пластифицирующей добавки Glenium Sky510 и ускорителя схватывания Meuso SA167 в сравнении с жидким стеклом обеспечивает: увеличение скорости крепления выработок в среднем на 30 %; увеличение толщины нанесения торкрет-бетона за один прием — до 4–6 см, в том числе на увлажненные поверхности; крепление «под забой», в зоне ведения взрывных

Таблица 2. Результаты сравнительных испытаний образцов набрызг-бетона с добавками BASF и жидкого стекла на растяжение при изгибе

Добавка к бетону	Номер образца	Дата испытания	Ширина образца, мм	Расстояние между вершиной надреза и верхней частью образца, мм	Нагрузка на образец, Н	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа
Жидкое стекло	1	02.02.2013	106,32	81,56	4525	3,4	3,33
	2	04.02.2013	101,99	83,99	4598	3,3	
	3	04.02.2013	95,71	84,45	4251	3,3	
Glenium SKY510 + Meuso SA167	1	06.02.2013	110,84	84,01	5854	4,3	4,16
	2	06.02.2013	98,73	84,11	5340	4,0	
	3	06.02.2013	96,97	81,97	5269	4,2	

Таблица 3. Прочностные показатели бетонной смеси с пластификатором TamCem 60 фирмы Normet

Дата испытания	Номер образца	Размеры образца, см			S, см ²	V, см ³	Вес, г	$\gamma_{об}$, г/см ³	P, кг·с	Rc* = P/S, кг·с/см ²	R«*0,95, МПа	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Класс/Марка
		a	b	h									
<i>Возраст 4 сут</i>													
17.06.13	1	9,87	10,25	10,53	101,17	1065,2	2270	2,13	13875	137,15	13,03	13,36	B10/M150
	2	9,63	10,18	9,82	98,03	962,69	2110	2,19	14375	146,63	13,93		
	3	9,82	10,41	10,15	102,23	1037,6	2200	2,12	14125	138,17	13,13		
<i>Возраст 28 сут</i>													
11.07.13	1	10,3	9,4	9,92	97,2	964,18	2254	2,34	44375	456,55	43,37	40,18	B30/M400
	2	10,2	9,9	10,21	100,78	1028,9	2358	2,29	47011	466,35	44,3		
	3	10,1	9,85	10,02	99,49	996,84	2203	2,21	45125	453,59	43,09		

Примечание. Состав бетонной смеси (на 1м³): цемент — 520 кг; песок — 1500 кг; вода — 150 л; пластификатор TamCem 60 — 2,6 кг.

Таблица 4. Прочностные показатели бетонной смеси с пластификатором «Динамике ПК» компании «Полипласт»

Дата испытания	Номер образца	Размеры образца, см			S, см ²	V, см ³	Вес, г	$\gamma_{об}$, г/см ³	P, кг·с	Rc* = P/S, кг·с/см ²	R«*0,95, МПа	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Класс/Марка
		a	b	h									
<i>Возраст 3 сут</i>													
16–17.09.2013	1	9,9	10	10	99	999	2130	2,13	12000	12,1	11,5	11,1	B7,5/M100
	2	9,9	10	10	99	999	2120	2,12	10750	10,9	10,1		
	3	9,9	10	10	99	999	2120	2,12	12000	12,1	11,5		
<i>Возраст 28 сут</i>													
16.10.2013	1	10	9,9	10	99	990	2120	2,14	52000	52,5	49,8	53,5	B40/M500
	2	10	10	10,2	100	1020	2120	2,08	62000	62	58,9		
	3	10	9,5	10	95	950	2050	2,16	52000	54,7	51,9		

Примечание. Состав бетонной смеси (на 1м³): цемент — 525 кг; песок — 1490 кг; вода — 157 л; пластификатор «Динамике ПК» — 2,6 кг.

работ (рис. 2); сокращение «отскока» до 5 %; значительное снижение напыленности и повышение безопасности производства работ.

Положительные результаты исследований и опытно-промышленных работ позволили совместно с ООО «ГорноХимический инжиниринг» (компания группы «ФосАгро») разработать и ввести в действие «Регламент технологических процессов при креплении

выработок набрызг-бетоном с применением современных добавок на рудниках АО «Апатит». В регламенте рассмотрены и показаны оптимальные составы бетонного раствора, рациональная по экономике и технологичности дозировка ускорителя, порядок и правила определения проектной толщины набрызг-бетона в разных горно-геологических условиях.

В 2012–2013 гг. проведены промышленные испытания применения фибры при креплении горных выработок набрызг-бетоном. Испытывали фибры разных производителей: полипропиленовую фибру BarChip 54 длиной 54 мм, полипропиленовую фибру Meuco FIB SP 650 длиной 54 мм и хромоникелевую фибру FibroFlex длиной 30 мм. Испытания проводили на Расвумчоррском руднике по методике, разработанной в ООО «ГорноХимический инжиниринг», на штатном оборудовании, с применением химических добавок. Полученные образцы исследованы в МСУ «Горный» (Санкт-Петербург), где определяли их прочностные



Рис. 2. Крепление горной выработки набрызг-бетоном с добавками фирмы BASF «под забой» (в зоне взрывных работ)

характеристики. Установлено, что, кроме возрастания прочности на сжатие, возросли показатели прочности на растяжение, что является решающим фактором, так как при креплении горных выработок набрызг-бетоном основной нагрузкой на крепь является изгиб (растяжение). Применение фибры позволяет увеличить прочностные характеристики набрызг-бетона и крепления в целом. Актуальность проведения работ в этом направлении не вызывает сомнений, и опытные работы будут продолжены.

Другим эффективным и перспективным видом крепления являются тросовые штанги, устанавливаемые в шпурь с помощью установок Cabolt, которые полностью механизмируют процесс крепления, исключая так называемый человеческий фактор. Но поскольку значительная часть руды, добываемой подземными рудниками, проходит стадию крупного дробления для ее перемещения под землей конвейерным транспортом, присутствие металла в руде негативно влияет на эксплуатацию и повышает аварийность работы оборудования. В связи с этим на подземных работах в 2013 г. начаты опытные работы по замене металлических и тросовых штанг на стеклопластиковые. Опытные работы показали высокую прочность стеклопластиковой штан-

ги, установленной на полимерной ампуле AP-Norset 350/28 из трехслойной пленки DL 80PP, — по прочности на разрыв она не только сопоставима, но и превосходит металлическую штангу. В то же время стеклопластиковая штанга слабо работает на срез и при взрывных работах по отбойке руды разрушается на отдельные части.

В настоящее время подземные горные работы на рудниках АО «Апатит» ведут на гор. +90 и +170 м. С учетом горной местности мощность налегающих пород составляет 800 м и более, что в совокупности с возрастающим горным давлением определяет необходимость дальнейшего развития исследований и практики по совершенствованию видов и технологий крепления горных выработок, в частности высокопрочного набрызг-бетона с эффективными добавками и в сочетании, при необходимости, с анкерной крепью, возводимых с применением новейшей техники. ГЖ

*Белоусов Вячеслав Викторович,
e-mail: VBelousov@phosagro.ru
Осипенко Андрей Владимирович,
Сахаров Александр Николаевич:
e-mail: AOsipenko@phosagro.ru*

«GORNII ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2014, № 10, pp. 33–37

Title	Tunnel support in Apatit deep mines under high rock pressure
Author 1	Name & Surname: Belousov V. V.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Deputy Technical Director for Mining
	Contacts: e-mail: VBelousov@phosagro.ru
Author 2	Name & Surname: Osipenko A. V.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Director for Capital Development
Author 3	Name & Surname: Sakharov A. N.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Chief Underground Miner (since 2004 till 2013)
Abstract	The authors present the research engineering and pilot projects that give grounds for the transition of Apatit deep mines operating under higher rock pressure and geodynamic hazard to the use of shotcrete for tunnel support based on the most advanced technologies and equipment known in the world. The comparative strength tests of samples made of shotcrete with addition of plastifiers and cement setting accelerators from different manufacturers are reported. On the background of the pilot projects and experience practice, the production procedures for tunnel support using shotcrete with dopes have been developed and introduced in Apatit mines. The authors state the increase in the tunnel support rate by 30% on an average; reduction in shotcrete loss (due to kickback in spaying) up to 5%; thickening of shotcrete layer per single application to 4–6 cm; applicability of shotcrete spraying in the zone of blasting; reduction of dust content and improvement of safety of fixturing operations. The trends of further research and development in the sphere of new types and methods of support for underground mines are indicated.
Keywords	Underground mine, mining depth, rock pressure, geodynamic hazard, shotcrete support, analysis of samples, plastifying admixtures, concrete setting accelerators, equipment, cable rods, fibers.