



УДК 622.012

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РУДНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ АО «АПАТИТ» НА ОСНОВЕ ЛУЧШИХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

А.А.ГУРЬЕВ

ПАО «ФосАгро», Москва, Россия

Отражены состояние и перспективы развития рудно-сырьевой базы АО «Апатит», описан проект наращивания подземной добычи апатит-нефелиновых руд на Кировском руднике за счет строительства нового горизонта +10 м. Изложены особенности обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях удароопасности на апатит-нефелиновых месторождениях. Представлены этапы модернизации обогатительного комплекса и автоматизации производства на предприятии, мероприятия по комплексному извлечению полезных компонентов из минерального сырья.

Ключевые слова: «Апатит», добыча, диспетчеризация, карьер, месторождение, руда, обогащение

Как цитировать эту статью: Гурьев А.А. Устойчивое развитие рудно-сырьевой базы и обогатительных мощностей АО «Апатит» на основе лучших инженерных решений // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 662-673. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.662

Введение. Акционерное общество «Апатит», входящее в Группу «ФосАгро», образовано 13 ноября 1929 г. на базе уникальных Хибинских месторождений апатит-нефелиновых руд, представляющих собой мощную подковообразную интрузию. Хибинское месторождение апатит-нефелиновых руд входит в состав самых крупных и богатых месторождений мира и является основной базой фосфорсодержащего сырья в России.

Добыча полезных ископаемых. Хибинский массив нефелиновых сиенитов и ийолит-уртитов, с которыми связаны месторождения апатит-нефелиновых руд, разрабатываемых рудниками АО «Апатит», в геологическом отношении представляет собой сложную многофазную щелочную интрузию центрального тела, приуроченную к региональному тектоническому разлому.

Породы разрабатываемого уртитового комплекса слагают мощную коническую интрузию дугообразной формы. Внутреннее строение этой дуги неоднородно. Месторождения Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр (центральная группа месторождений) имеют относительно простые формы залежей: четкий контакт с покрывающими породами, выдержанность по простиранию и уменьшение мощности с глубиной. На Восточном Расвумчорре отмечается брекчирование пород. Коашвинское и Ньоркпахкское месторождения представлены несколькими горизонтами апатит-нефелиновых руд, часто брекчированных.

Апатитовые месторождения центральной группы представляют собой непрерывную пластообразную залежь, осложненную раздувами (линзами) и пережимами (резким уменьшением мощности) между ними. Одна линза объединяет Кукисвумчоррское и Юкспорское месторождения, вторая – Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр. Оба линзообразных тела сходны по своим морфоструктурным особенностям. В плане рудное тело имеет линейно-вытянутую форму и симметричное строение, протяженность около 11 км.

АО «Апатит» эксплуатирует шесть месторождений апатит-нефелиновых руд: Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашва и Ньоркпахк (рис.1). В составе АО «Апатит» три добычных подразделения: Кировский, Расвумчоррский рудники – с подземной отработкой и Восточный рудник, отработывающий запасы открытым способом тремя карьерами – Центральным, Коашвинским и Ньоркпахкским.

Сегодня АО «Апатит» – крупнейшее в мире предприятие (данные Fertecon) по производству высокосортного фосфатного сырья – апатитового концентрата и единственный производитель нефелинового концентрата в России. С начала эксплуатации рудниками АО «Апатит» добыто более 1900 млн т апатит-нефелиновой руды, в том числе более 750 млн т подземными работами. Отработаны запасы верхних горизонтов, наиболее мощные и качественные. В перспективе будут отработываться запасы на более глубоких горизонтах подземными и открытыми горными работами, что потребует повышенных материальных и трудовых затрат. Поэтому реконструкция и техническое перевооружение производства по всем переделам является приоритетной задачей компании «ФосАгро».

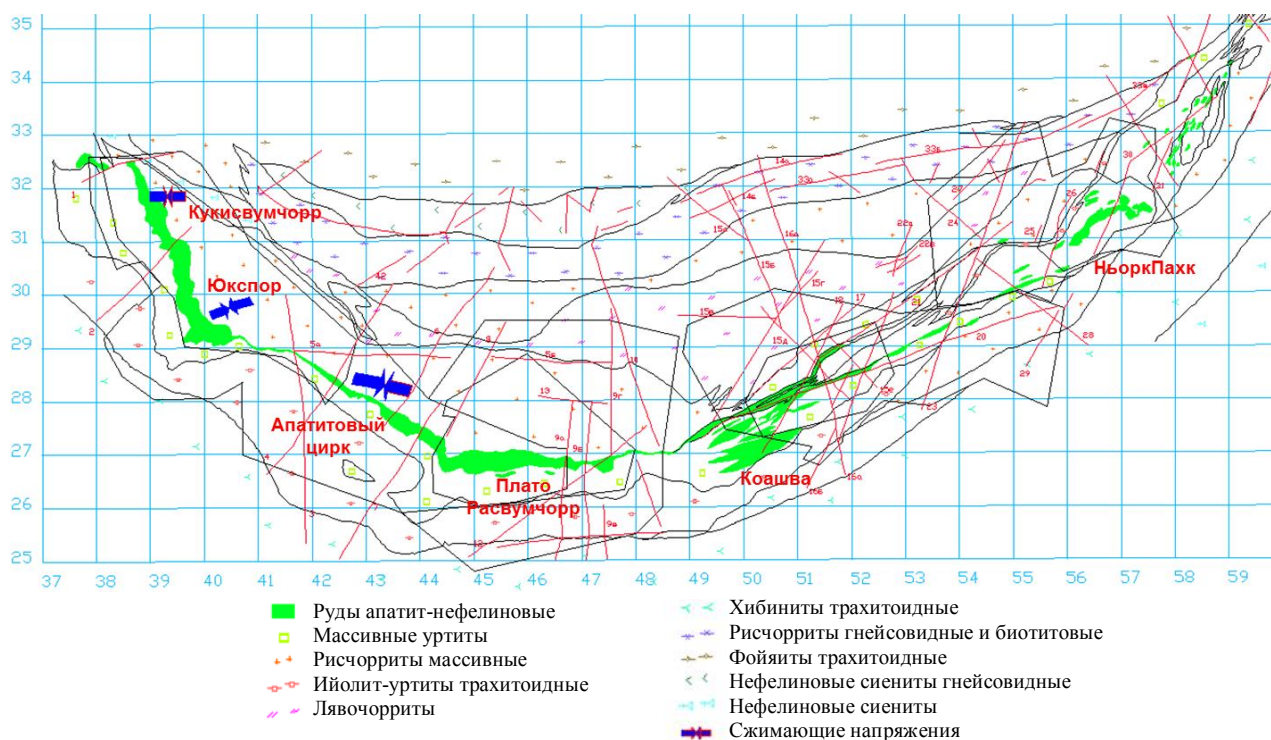


Рис.1. Месторождения, обрабатываемые АО «Апатит»

Для достижения стабильной работы АО «Апатит» в течение длительного времени требуется опережающее развитие рудно-сырьевой базы и поддержание необходимых темпов капитального строительства, в первую очередь на подземных рудниках [1].

Стратегия развития сырьевой базы «АО Апатит» ориентируется на увеличение объема добычи руды подземным способом, причем упор сделан на внедрение экономически эффективных технологий добычных работ. Основным объектом подземной добычи является наиболее крупный по запасам и старейший (1929 г.) на Кольском п-ове Кировский рудник (рис.2).

Цель проекта развития рудно-сырьевой базы предприятия – увеличение производительности Кировского рудника по добыче руды, развитие добычных мощностей со строительством горизонта +10 м, оптимизация транспортной схемы подземного рудника в условиях действующих выдачных трактов, замещение обрабатываемых запасов открытой добычи на подземную отработку запасов.

Реализация проекта строительства горизонта +10 м включает в себя следующие ключевые этапы (рис.3):

1. Вскрытие горизонта тремя автоуклонами: автоуклон +108/+10 (в который входит проходка – Кукисвумчоррское месторождение; автоуклон +170/+10 и +106/-24 – Юкспорское месторождение.

2. Строительство поточно-транспортной системы дробильно-доставочного комплекса Кукисвумчоррского месторождения ДДК-1 и Юкспорского месторождения ДДК-2 горизонта +10 м, в который входит проходка камер дробления ДДК-1 и 2, конвейерных уклонов КУ-1 и КУ-2 и 3.

3. Строительство ГВКУ СВС-1,2 и ВС-1; теплотрассы от ЦТП; двух новых зданий ГВКУ; монтаж вентиляторов и воздушно-водяных калориферных установок.

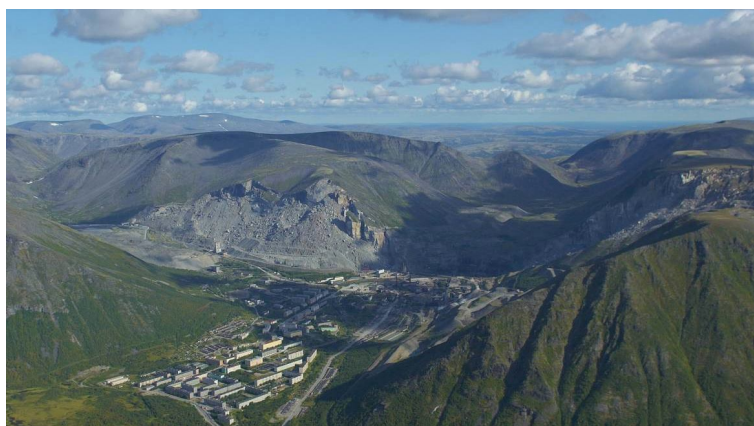


Рис.2. Кировский рудник

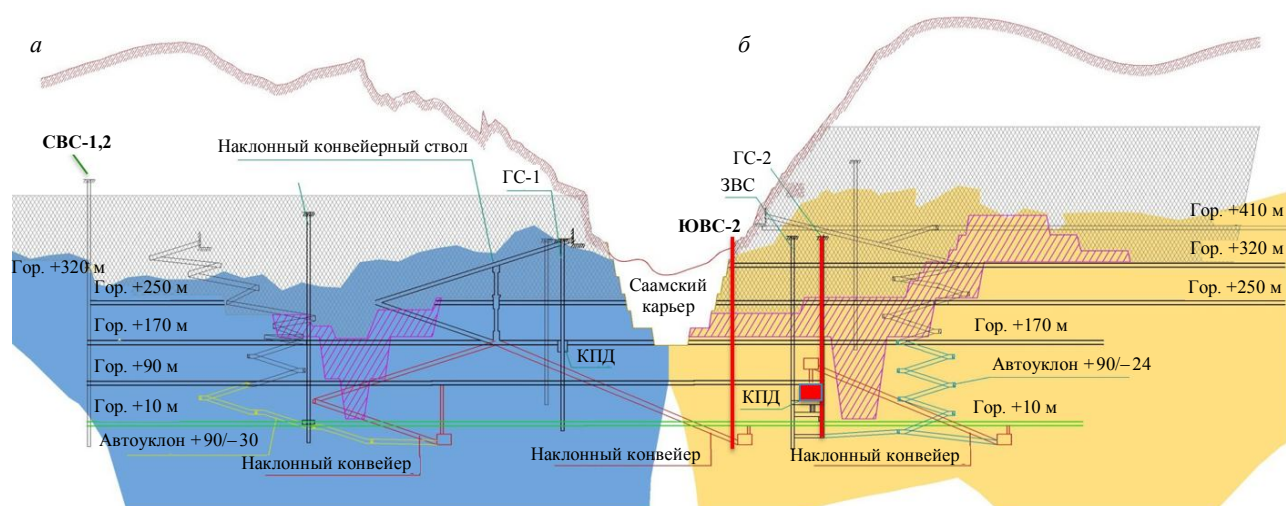


Рис.3. Принципиальная схема вскрытия Кукисвумчоррского (а) и Юкспорского (б) месторождений Кировского рудника

4. Строительство откаточного горизонта +10 м: горно-капитальные работы (проходка выработок откаточного горизонта); монтаж инженерных сетей и подстанций; строительство рельсового пути.

5. Строительство скоростной лифтовой установки ЮВС-2 глубиной более 500 м.

6. Строительство водоотлива (ГВУ гор. +10м): проходка камерных выработок (водосборники, шламоотстойники и камера ЦПП); монтаж насосного оборудования, схемы электроснабжения, трубопроводов.

Существенным эффектом данной схемы является оптимизация схемы рудопотоков внутри рудника, т.е. строительство конвейерных уклонов № 1, 2, 3 для выдачи руды с горизонта +10 м сопряжено с реконструкцией действующих выдачных трактов ДДК и ГС-2, что позволит задействовать мощность существующих схем транспортировки, снизив на 30-40 % среднее расстояние транспортирования, а также уменьшить капитальные вложения в сравнении со схемой транспортировки руды «гор. +10 м – поверхность» со строительством стволов или конвейерных уклонов с новыми поверхностными комплексами погрузки.

При строительстве горизонта +10 м планируется спроектировать и внедрить ряд инновационных инженерных систем для обеспечения связи и управления процессами в автоматизированном режиме. Ключевыми из них являются система позиционирования персонала и связи, автоматизированная система управления дробильно-доставочного комплекса и автоматизированная система управления перевозками.

На новых автоуклонах, откаточном горизонте, конвейерных уклонах будет развернута система позиционирования персонала и голосовой связи на базе решений, которые работают сейчас в действующих выработках рудника. Система работает с применением технологии Wi-Fi и обеспечивает сбор и передачу информации, передачу управляющих сигналов, работу телефонов (голос, обмен сообщениями, подача аварийного сигнала), позиционирование персонала (фиксация местоположения и отображение перемещения). Инфраструктура, лежащая в основе системы позиционирования, универсальна и будет обеспечивать работоспособность систем автоматизации стационарных технологических комплексов и автоматизированной системы управления перевозками. Линии связи системы будут выполняться с применением оптического кабеля связи для обеспечения высокой пропускной способности и повышенной надежности. Применение системы позиционирования персонала и голосовой связи позволит улучшить безопасность ведения работ в подземном руднике, а также повысить производительность персонала за счет возможности оперативного управления.

В ходе строительства поточно-транспортной системы дробильно-доставочного комплекса Кукисвумчорр (ДДК-1) и Юкспор (ДДК-2) горизонта +10м будет создана современная автоматизированная система управления (АСУ) в соответствии с иерархической трехуровневой моделью.

При строительстве откаточного горизонта +10 м планируется реализовать автоматизированную систему управления перевозками. Основная цель системы – организовать движение и



Рис.4. Комплекс локомотивной откатки гор. +10 м

разгрузку железнодорожных составов в автоматизированном режиме, погрузку составов в режиме дистанционного управления. Система будет состоять из комплекса технических средств, обеспечивающих синхронную работу электровозов, систем управления стрелочными переводами, систем разгрузки, а также подсистемы видеонаблюдения (рис.4).

Для увеличения добычи на Кировском руднике необходимо обеспечить расчетным количеством свежего воздуха рабочие блоки подземного рудника, для этого необходима коренная реконструкция двух вентиляторно-калориферных установок с выводом их на суммарную производительность подачи свежего воздуха 1280 м³/с.

Для доставки рабочего персонала на глубокие горизонты рудника планируется использование высокоскоростного лифта. Впервые в мире ствол, служащий для подъема и спуска людей, будет оборудован лифтовой установкой SongSan Special Elevators (Ю. Корея) на глубину 500 м.

Реализация проекта строительства и ввода в эксплуатацию горизонта +10 м позволит увеличить производительность Кировского рудника в 1,5 раза, обеспечить безопасную и эффективную работу высокопроизводительного горного оборудования.

Анализ мировых тенденций в области взрывного дела показал, что дальнейшее повышение уровня эффективности и безопасности взрывных работ в АО «Апатит» связано с применением в подземных горных условиях эмульсионных взрывчатых веществ, изготавливаемых на горном предприятии непосредственно в процессе заряжания взрывных скважин и шпуров [5]. Эмульсионные ВВ характеризуются низкой чувствительностью к механическим воздействиям, высокой водостойкостью, полной механизацией процесса изготовления и заряжания ЭВВ в скважины, экологической чистотой и возможностью регулирования энергетических характеристик взрывчатого вещества в зависимости от физико-механических свойств взрывающей руды.

Реализация целевой программы внедрения ЭВВ в подземных условиях позволила:

- Кардинально повысить уровень безопасности персонала при подготовке и проведении работ, связанных с доставкой, перегрузкой, заряжением (изготовлением) ЭВВ и взрыванием шпуров и скважин в подземных условиях за счет: исключения влияния на человека негативных фак-



торов при пневмозаряжении, использования более безопасного ВВ по отношению к существующим в части требований к транспортировке, хранению и применению ВВ.

- Добиться улучшения качества дробления руды в подземных условиях.
- Снизить затраты на крепление выработок за счет применения эффективной технологии контурного взрывания при проходке.
- Снизить негативное воздействие на окружающую среду.
- Внедрить ЭВВ в условиях подземных рудников и отказаться от применения тротилсодержащих ВВ без ущерба для предприятия.
- Снизить вероятность террористических актов за счет сокращения объемов хранения, транспортировки и перегрузки промышленных взрывчатых веществ.

Проблема высокой себестоимости открытой добычи руды при отработке легкодоступных запасов верхних горизонтов месторождений в современных условиях решается организацией конвейерной доставки вскрыши вместо дорогостоящей транспортировки самосвалами. Из всех существующих технологий внедрение циклично-поточного транспорта является самой эффективной мерой, как показывает практика зарубежных горно-добывающих предприятий.

Эксплуатация такого комплекса позволяет в условиях Коашвинского карьера сократить плечо транспортирования вскрышных пород и, как следствие, существенно уменьшить количество автотранспорта, сократить расходы на эксплуатацию технологического транспорта (крупногабаритные шины, дизельное топливо, ГСМ), расходы на ремонты, уменьшить численность персонала, как при эксплуатации, так и при ремонтах, сократить количество обслуживаемых технологических автодорог, существенно снизить риски в области промышленной безопасности.

На отметке +280 м Коашвинского карьера будут располагаться дробильный комплекс и заезд на разгрузочный пандус, куда самосвалами будет доставляться вскрыша, скальная и моренная масса. После дробления масса транспортируется системой конвейеров общей длиной около 3600 м на образуемый отвал № 4 Ньоркпахкского карьера. Там производится перегрузка на конвейер отвалобразователя, подача на стрелу и разгрузка, формирование штабеля высотой до 50 м.

При внедрении ЦПТ в условиях Коашвинского карьера производительностью 30 млн т в год по горной массе ожидаются результаты по уменьшению плеча перевозки от 2 до 4 км, сокращение количества технологического автотранспорта до 25, сокращение численности персонала.

Особенности обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях удароопасности на апатит-нефелиновых месторождениях. Разработка месторождений ведет к перестройке напряженно-деформированного состояния массива, в первую очередь к увеличению напряжений в тектонически-напряженных зонах и понижению устойчивости пород в тектонически разгруженных зонах. Поэтому ведение горных работ на порядок и более увеличивает геодинамическую активность. Наиболее опасно, что основные деформации проявляются в горных выработках, ведут к разрушению крепей, горного оборудования и травмированию людей.

Геодинамическая опасность является одним из основных факторов, сдерживающих производительность рудников из-за опасности разрезки новых горизонтов в нескольких местах, встречного движения фронтов очистных работ, сложности проведения и крепления выработок в тектонически напряженных и тектонически ослабленных зонах, ограничений на размеры целиков и т.д.

При открытом способе ведения горных работ наибольшую опасность представляют тектонически ослабленные зоны, с которыми связаны камнепады, деформации бортов и уступов, трещинообразование, оползни и обрушения.

Особую проблему представляет сложное тектоническое строение и напряженно-деформированное состояние массива при комбинированной открыто-подземной разработке, выемке подкарьерных запасов.

Для обеспечения безопасности горных работ в таких условиях необходимо применять специальные меры, в том числе противоударные мероприятия, снижение углов наклона бортов карьеров и т.д. Эти меры понижают экономическую эффективность добычи, и в то же время не обеспечивают полной безопасности горных работ.

За годы отработки Хибинских месторождений на подземных, а в последние годы и на открытых рудниках, зафиксировано 16 техногенных землетрясений, 20 горно-тектонических ударов и 45 горных ударов и микроударов (по состоянию на сентябрь 2017 г.). Практически по-



всеместно на подземных горизонтах в выработках проявляются процессы шелушения, стреляния и динамического заколообразования пород.

Для борьбы с негативными проявлениями горного давления в АО «Апатит» создана и уже на протяжении 30 лет успешно функционирует служба прогноза и предотвращения горных ударов [3].

Наибольшее развитие получили три уровня систем мониторинга и прогноза геомеханических ситуаций.

- Региональный (общерудничный) геодинамический мониторинг – сейсмомониторинг с помощью автоматизированной системы контроля сейсмичности массива (АСКСМ), маркшейдерский мониторинг сдвижения (оседания) поверхности, деформаций бортов карьеров.

- Локальный геодинамический мониторинг – визуальный осмотр, метод дискования керна, измерения напряженно-деформированного состояния массива горных пород, контроль разрушения стенок скважин, различные геофизические измерения, визуальный осмотр состояния уступов карьеров.

- Экспертная система SIGMA-GT (разработана Горным институтом КНЦ РАН) для оценки геомеханической ситуации в районе ведения горных работ на основе математического моделирования НДС методом конечных элементов (МКЭ).

Системы мониторинга позволяют:

- локализовать наиболее опасные зоны, выбрать для них наиболее адекватные и эффективные меры предупреждения опасных явлений;

- заблаговременно выявить признаки начинающихся процессов подготовки крупных динамических явлений, например, оползней, обрушений, горно-тектонических ударов, и предотвратить эти явления или спланировать горные работы таким образом, чтобы минимизировать ущерб от них;

- в зонах уже назревающих динамических явлений как можно точнее определить время, место и масштаб готовящегося динамического события и заблаговременно вывести людей и оборудование;

- надежно выявить наименее опасные зоны, обеспечить их отработку наиболее эффективными методами, например, с меньшим коэффициентом запаса устойчивости борта, чем в усредненных расчетах, с облегченным креплением выработок, с большими размерами камер и т.д.

С 2015 г. совместно с Научным центром геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета реализуется «Комплексная программа инструментально-методических работ по обеспечению безопасной отработки месторождений апатит-нефелиновых руд АО «Апатит». Основной целью программы является повышение безопасности и эффективности добычи апатит-нефелиновых руд с помощью повышения качества оценки и прогноза геодинамических рисков путем комплексного использования современных средств геодинамического мониторинга, выбора на этой основе адекватных средств снижения опасности и использования высокоэффективных технологий добычи.

Выполнение комплексной программы можно разбить на несколько крупных этапов (рис.5):

- Геодинамическое районирование, создание опытного полигона для апробации элементов комплексной системы мониторинга состояния массива горных пород месторождений, монтаж элементов комплексной системы мониторинга, развитие систем локального и сейсмического мониторинга.

- Апробация и отладка работы элементов комплексной системы мониторинга, проектирование опытных комплексных систем мониторинга на открытых и подземных работах, создание геодинамических моделей для подземных рудников и карьеров, развитие систем локального и сейсмического мониторинга.

- Создание, наладка и апробация опытной комплексной системы мониторинга на открытых и подземных работах, разработка критериев опасности по данным комплексного мониторинга.

- Создание и ввод в эксплуатацию программно-аппаратного комплекса безопасной отработки месторождений АО «Апатит», отработка и корректировка критериев опасности.

Меры, направленные на предотвращение геодинамических рисков, разработанные по результатам работ, должны учитываться:

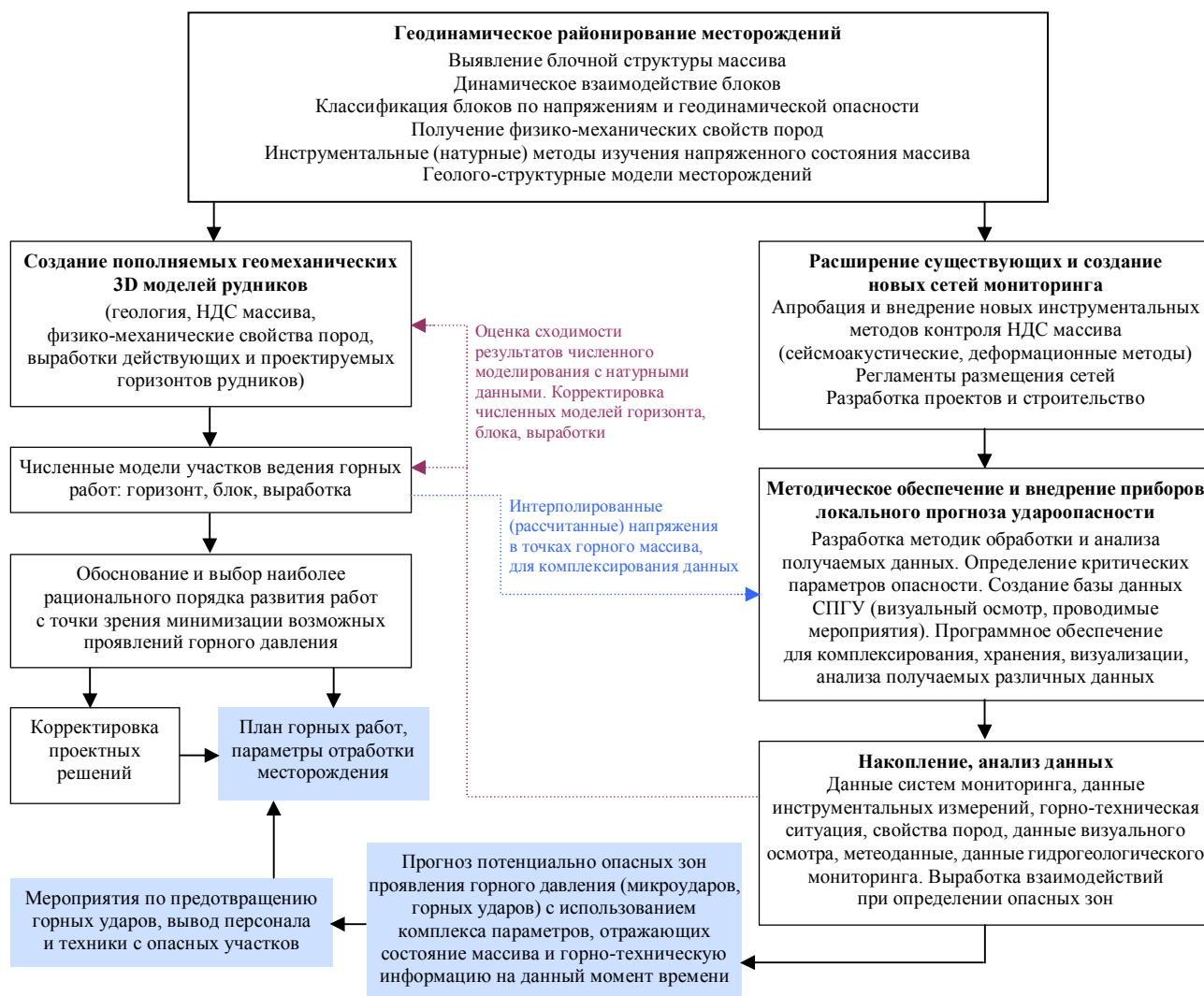


Рис.5. Блок-схема обеспечения геодинамической безопасности

• на стадии проектирования новых горизонтов и очистных блоков (вскрытие, подготовка и порядок отработки, проведение горных выработок и системы разработки), для обеспечения планомерного извлечения запасов без образования целиков и удароопасных участков массива;

• при планировании горных работ на каждый месяц и год, для реализации мер, направленных на предотвращение горных ударов в соответствии с проектной документацией и результатами текущего прогноза;

• при ведении горных работ, для уточнения напряженно-деформированного (удароопасного) состояния массива пород в горных выработках локальными методами, выполнения противоударных мероприятий и корректировки.

Такой порядок производства работ позволит на каждой стадии исключать неэффективные решения, последствия которых на следующих стадиях развития горных работ трудно, а часто невозможно устранить. Отрицательные проявления горного давления обычно выражаются в больших затратах на поддержание выработок, восстановление разрушенных горным ударом выработок или строительстве новых взамен разрушенных, а при очистных работах – в потере подготовленных к добыче запасов руды.

Комплексная переработка руды и извлечение полезных компонентов. В настоящее время переработка добываемых апатит-нефелиновых руд осуществляется на двух обогащательных фабриках: АНОФ-2 (введена в эксплуатацию в 1963 г.) и АНОФ-3 (1988 г.). В период с 1932 по 1992 гг. в эксплуатации находилась АНОФ-1.

Снижение доли апатита в перерабатываемых рудах с замещением его на второстепенные минералы и общее ухудшение минералогического состава обогащаемых руд предопределяет проведение эффективных технологических модернизаций для поддержания высокого качества апатитового концентрата и полноты извлечения полезного компонента.

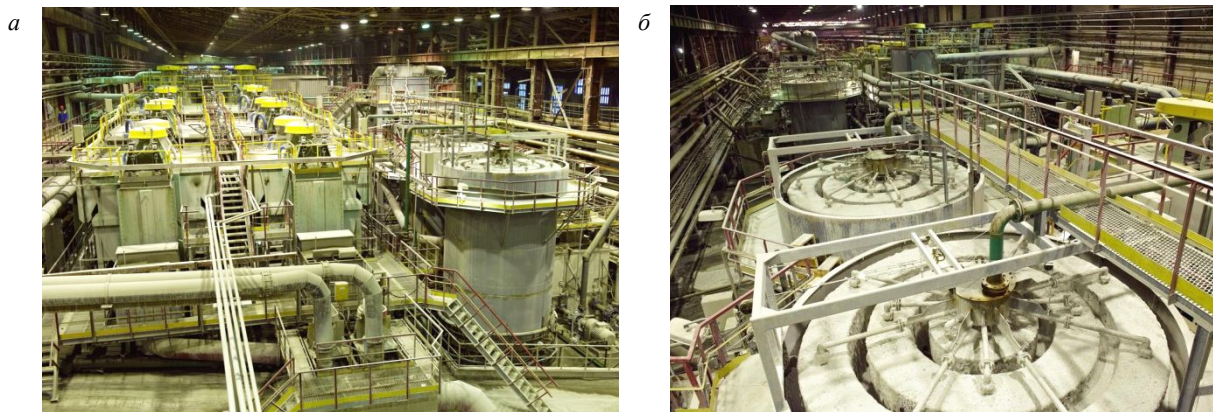


Рис.6. Флотационное оборудование АО «Апатит»: машины ОК-38 (а), колонна СРТ (б)

АО «Апатит» постоянно ведет работу по техническому перевооружению оборудования с выводом физически и морально изношенного оборудования, не отвечающего современным требованиям безопасной эксплуатации и экономической эффективности производства.

Основным направлением работ в последние 10–15 лет в области аппаратного оформления флотационного процесса явилась замена на АНОФ-2 устаревших малообъемных флотационных машин механического типа ФМР-6,3 в операциях основной и контрольной флотации на машины пневмомеханического типа ОК-38, а в перемешивающих операциях – на колонные пневматические машины, которые позволили сократить количество операций с трех до одной. Данное технологическое оборудование позволяет стабильно работать с высокими показателями при измельчении руды с минимальным содержанием шламовых фракций. На АНОФ-3 применяют только пневмомеханические флотомашин ОК-38, которые за 25-летний период эксплуатации доказали свою эффективность и надежность (рис.6).

Усложняющий фактор обогащения апатит-нефелиновых руд – процесс флотации в условиях замкнутого водооборота. Постоянное соленакопление предопределяет поиск высокоселективных к апатиту реагентов-собирающих, малочувствительных к солям жесткости и эффективно работающих при пониженных температурах пульпы. В результате многолетних исследований с 2013 г. в состав собирательной смеси введен новый реагент.

В условиях изменчивости вещественного состава перерабатываемых руд наряду с применением максимально эффективного аппаратного оформления технологических процессов значительно возрастает роль наличия современного аналитического контроля для оперативного управления флотацией апатит-нефелиновых руд.

Более чем 20-летний опыт успешной работы на АНОФ-3 позволил разработать общие технические требования для построения усовершенствованной автоматизированной системы аналитического контроля АСАК на действующих обогатительных фабриках (рис.7). В настоящее время полностью осуществлено техническое перевооружение АСАК на АНОФ-3 и АНОФ-2 – модернизировано оборудование пробоподготовки фирмы HERZOG (Германия), участки оснащены роботом АBB (Швеция), высокопроизводительными рентгеновскими спектрометрами ARL9900 LP (Швейцария).

Интегрирование в автоматизированную систему управления технологическим процессом АСУТП фабрик АНОФ-2 и АНОФ-3 данных по аналитическому контролю АСАК позволяет технологам получать качественные характеристики (массовые доли P_2O_5 и Al_2O_3 , минералогический экспресс-анализ) измельченной руды, флотационного концентрата и технологических хвостов и оперативно управлять производством.

Ключевым этапом совершенствования технологии обогащения апатит-нефелиновых руд за последние годы явилось повышение эффективности операций измельчения.

Специфической особенностью апатит-нефелиновых руд является резкое отличие в твердости основных рудообразующих минералов. Если микротвердость апатита составляет 523 кг/мм^2 , то нефелина, титаномагнетита и других минералов – 750 кг/мм^2 и более. Указанная особенность приводит к повышенному избирательному измельчению апатита по сравнению с нефелином и сопутствующими минералами в процессе рудоподготовки.

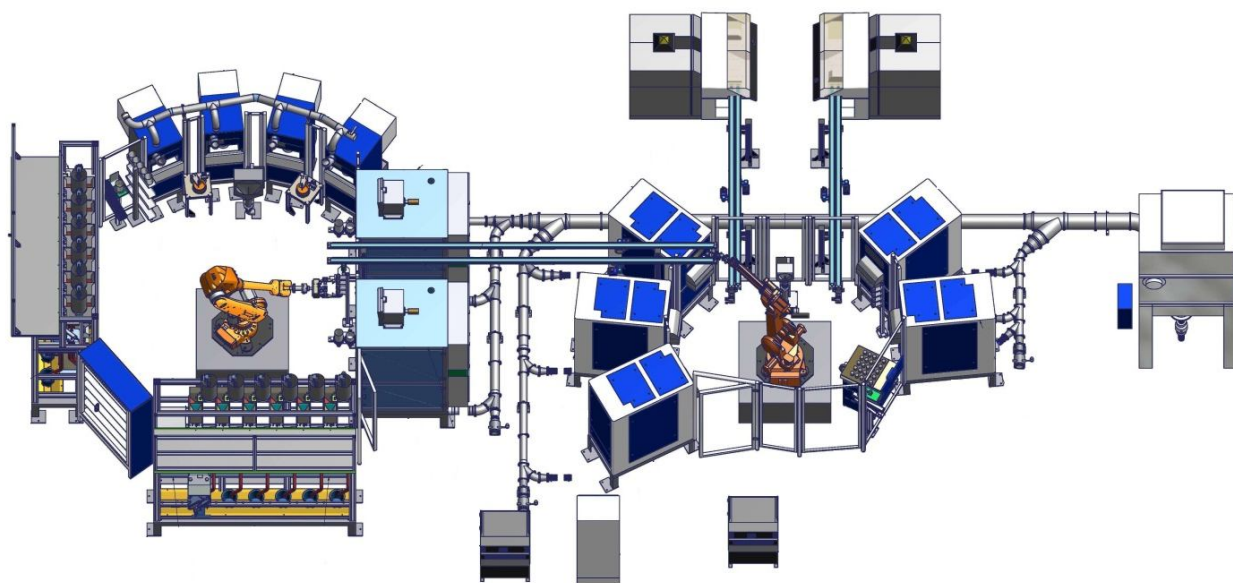


Рис.7. Компоновка основного оборудования модернизированной системы АСАК

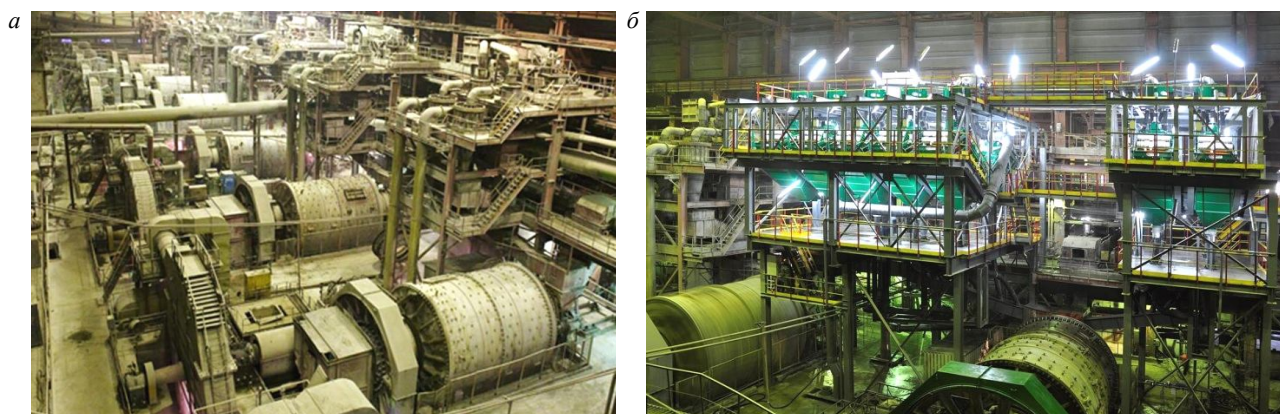


Рис.8. Измельчение апатит-нефелиновой руды с применением гидравлической классификации (а) и тонкого грохочения (б)

Низкая эффективность классификации в гидроциклонах имеет негативные технологические и экономические последствия. Переизмельчение апатита ухудшает показатели флотации и обезвоживания при производстве апатитового концентрата, усложняет его перевозку, перевалку и переработку на химических предприятиях. Высокая циркуляционная нагрузка на мельницы приводит к снижению их производительности, повышению удельных расходов электроэнергии, стальных шаров и футеровки, технологической воды и других вспомогательных материалов.

На фабрике АНОФ-3 реализована программа технического перевооружения системы классификации в цикле измельчения руды с установкой грохотов Derrick (США) и LandSky (Китай) в замкнутом цикле с шаровой мельницей МШЦ 5,5×6,5 (рис.8) [4].

По результатам промышленной эксплуатации отмечено не только повышение производительности измельчения до 30 % (с 310-320 до 380-400 т/ч) за счет снижения возврата готового класса в мельницу, но и увеличение крупности питания флотации при достаточном раскрытии апатита. По данным минералогического анализа количество сростков апатита с другими минералами в крупных классах подрешетного продукта грохотов существенно меньше, чем в аналогичных классах слива гидроциклона. Это говорит в первую очередь о более благоприятном распределении P_2O_5 по классам крупности для флотационного разделения продукта, подготовленного на грохоте, с более высокой степенью раскрытия апатита в его крупных классах. В итоге содержание класса +0,16 мм в апатитовом концентрате увеличилось до ~30-35 % (ТУ 2111-040-00203938-98 с изм. № 5).

В результате перенастройки процесса измельчения апатит-нефелиновой руды на максимально возможную крупность с сохранением раскрытия минеральных сростков обеспечена оптими-



зация загрузки шаровых мельниц и улучшение всего технологического процесса производства апатитового концентрата. Главное преимущество технологии производства концентрата загрузленного помола – уменьшение шламовых фракций в апатитовом концентрате, что позволяет сократить его потери при операциях обезвоживания, погрузки, транспортировки и разгрузки.

Повышение эффективности операции классификации измельченной апатит-нефелиновой руды позволило существенно улучшить технико-экономические показатели обогащения руд. Основными эффектообразующими факторами проведенной модернизации фабрик являются:

- сокращение переизмельчения апатит-нефелиновой руды и, соответственно, удельного расхода электроэнергии на 20 %, помольных шаров на 20 %, футеровки мельниц и других расходных материалов, увеличение производительности мельниц на 25-30 %;
- оптимизация состава собирательной смеси и расхода дорогостоящих компонентов в связи с уменьшением удельной поверхности частиц измельченной апатит-нефелиновой руды;
- увеличение товарного выхода апатитового концентрата за счет снижения потерь со сливами сгустителей и фильтрами.

Кроме того, изменен режим сгущения с применением высокоэффективных флокулянтов для сокращения потерь апатитового концентрата со сливами сгустителей.

Проведенный за последние 10 лет на обогатительных фабриках АО «Апатит» комплекс мероприятий по совершенствованию технологических процессов позволил сформировать и реализовать новую стратегию развития обогатительных мощностей, основой которой стало развитие более современной и технологически эффективной фабрики АНОФ-3 до мощности 9,0 млн т апатитового концентрата в год и создание на ней производства нефелинового концентрата мощностью 1,3 млн т в год. Фабрике АНОФ-2 отведена задача переработки бедных и забалансовых руд, которые после пересмотра кондиций по открытым горным работам (запасы месторождений Плато Расвумчорр и Ньоркпахк на бортовое содержание 2 % P_2O_5 вместо 4 %) экономически эффективно вовлекать в переработку. Инвестиции в развитие обогатительных мощностей в период 2012-2018 г. составляют около 13 млрд руб.

Наиболее остро в вопросе рационального использования минерального сырья стоит проблема нефелина – второго по ценности минерала хибинских руд. Из-за ограниченности спроса нефелиновый концентрат производится в значительно меньших объемах, чем это позволяет действующая технология при существующем уровне переработки руд.

Объем производства нефелинового концентрата напрямую зависит от потребности единственного в РФ предприятия – переработчика нефелинового концентрата – ЗАО «БазелЦементПикалево». Продуктами комплексной переработки нефелинового концентрата являются глинозем, гидроксид алюминия, сода, поташ, цемент. Несмотря на комплексную переработку нефелинового концентрата, высокие энергозатраты на производство товарных продуктов и относительно низкая производительность являются основными недостатками развития смесительной технологии, основанной на мокром смешении нефелинового концентрата и известняка. Необходим переход на современные интенсивные методы сухого приготовления шихты по аналогии с сухим способом производства цемента.

С целью повышения эффективности переработки нефелинового концентрата компания «ФосАгро» в рамках программы модернизации Пикалевского производственного комплекса, разработанной под руководством Министерства промышленности и торговли, проведены с компанией FLSmidth (Дания) и Санкт-Петербургским горным университетом опытно-промышленные испытания новой энергосберегающей технологии сухого спекания известняково-нефелиновой шихты. Результаты испытаний подтвердили экономию энергоресурсов на 25 % и увеличение производительности оборудования стадии спекания на 25 %, что существенно улучшает экономические показатели переработки нефелинового концентрата.

В последние годы Кольским научным центром РАН активно разрабатывается направление химической переработки титансодержащих минералов (в первую очередь, сфен) в эффективные TiSi-сорбенты, обладающие уникальными сорбционными свойствами по очистке жидких радиоактивных отходов и загрязнений. Результаты испытаний лабораторных образцов показывают перспективность применения данных сорбентов для очистки от радионуклидов. В ближайшее время будут проведены опытно-промышленные испытания по наработке сорбента и его опробованию для очистки стоков на промышленных объектах Кольского п-ова [2, 9].



Компания «ФосАгро» обладает собственными технологиями по производству всех минеральных концентратов комплексной переработки апатит-нефелиновых руд – сиенитового, титаномагнетитового, сфенового, эгиринового и возможностями удовлетворить спрос российских потребителей. Основными областями применения вышеуказанных концентратов являются металлургия, нефтедобыча (буровые растворы), строительные материалы (спецмарки бетона, геополимеры), стекольная промышленность (производство керамики и темного стекла).

Компания «ФосАгро» реализовала в период 2013-2015 гг. полный комплекс работ по разработке технологии и реализации проекта извлечения редкоземельных элементов на предприятиях по переработке апатитового концентрата в минеральные удобрения самостоятельно (АО «ФосАгро-Череповец») и с привлечением разработок Санкт-Петербургского горного университета в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

АО «ФосАгро-Череповец» совместно с инженерным химико-технологическим центром «РусРедМет» (Санкт-Петербург) разработан процесс извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты. Проектная документация выполнена российским проектным институтом и прошла необходимую экспертизу. В период 2011-2015 гг. выполнен полный комплекс научно-исследовательских, проектных, конструкторских работ, изготовления, в том числе оригинального и нестандартного, оборудования, строительно-монтажных, пусконаладочных работ и освоения процесса в промышленном масштабе. Технология защищена патентом № 2528692 «Способ извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты при переработке хибинских апатитовых концентратов» [5], все основное технологическое оборудование и техническая документация изготовлено и разработано российскими организациями. В практике производства экстракционной фосфорной кислоты разработанная технология с получением чистых коллективных концентратов легкой и среднетяжелой групп реализована впервые.

На выпускаемые концентраты разработана необходимая техническая документация (ТУ 1767-001-10563112-2013), проведены их исследования российскими и зарубежными специализированными институтами и организациями. Создана современная материальная и методическая база инструментального анализа технологического процесса, рабочих сред и готовых концентратов. Подтверждено стабильно высокое качество выпускаемых концентратов, отсутствие радиоактивности и технологическая возможность их разделения на индивидуальные РЗЭ высокой чистоты традиционными методами [7, 8].

В 2014-2015 гг. две партии карбонатов РЗЭ среднетяжелой группы в количестве 240 кг поставлены российскому потребителю в рамках выполнения подпрограммы по развитию промышленности РЗЭ, вошедшей составной частью в государственную программу «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 года».

В период эксплуатации опытно-промышленной установки наработаны коллективные карбонаты легкой и среднетяжелой группы в количестве 14 и 1,2 т, соответственно. О начале промышленного производства концентратов РЗЭ, качестве и объемах получаемых концентратов проинформированы крупнейшие российские технологические компании (Ростех, РосАтом, ТВЭЛ).

В настоящее время АО «ФосАгро-Череповец» продолжает совместную работу с ИХТЦ «РусРедМет» по разделению комплексных концентратов РЗЭ на индивидуальные оксиды РЗЭ, получены образцы индивидуальных оксидов лантана и церия.

Таким образом, АО «Апатит» имеет долгосрочную программу развития рудно-сырьевой базы, обогатительных мощностей с комплексным использованием апатит-нефелиновых руд, применяет современные научные методы и инженерные решения в обеспечении рационального использования недр и безопасных условий добычи, активно внедряет разработки ведущих российских научных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. АО «Апатит». Флагману горно-химической промышленности России – 85 лет / А.А.Гурьев, М.К.Рыбников, В.В.Давыденко, Б.В.Левин // Горный журнал. 2014. №10. С. 4-10.
2. Калугин А.И. Приоритетные направления комплексного использования хибинского апатит-нефелинового сырья и их практическая реализация / А.И.Калугин, Б.В.Левин // Труды НИУИФ 1919-2014 / ОАО «НИУИФ». М., 2014. С. 274-281.



3. Корчак П.А. Становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов в зоне производственной деятельности АО «Апатит» / П.А.Корчак, С.А.Жукова, П.Ю.Меньшиков // Горный журнал. 2014. № 10. С. 42-46.
4. Опыт внедрения технологии тонкого грохочения в цикле измельчения апатит-нефелиновой руды / А.И.Калугин, К.М.Гумениченко, А.Ю.Барабаш, С.С.Арендтьев // Горный журнал. 2014. № 10. С. 52-56.
5. Патент 2528692 РФ. Способ извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты при переработке хибинских апатитовых концентратов / Ю.Г.Глущенко, С.В.Шестаков, А.В.Нечаев и др. Оpubл. 20.09.2014. Бюл. № 26.
6. Подготовка и проведение массового взрыва при отбойке стыковочной секции на Кировском руднике АО «Апатит» / А.С.Сакерин, Д.О.Константинов, С.А.Козырев, М.Н.Оверченко // Горный журнал. 2017. № 1. С. 38-41. DOI: 10.17580/gzh.2017.01.07.
7. Процесс извлечения РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты на ОАО «ФосАгро-Череповец» / А.С.Сибилев, С.В.Шестков, А.Б.Козырев, А.В.Нечаев, Е.Г.Поляков, Ю.А.Фальчик, А.В.Шибнев // Химическая технология. 2015. Т. 16. № 4. С. 201-205.
8. Создание российской технологии извлечения РЗЭ в процессе сернокислотной переработки хибинского апатитового концентрата / Б.В.Левин, А.В.Шибнев, А.В.Нечаев, С.В.Шестаков, А.С.Сибилев // Сб. международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ – 2017». М.: Гинцветмет, 2017. С.200-210.
9. Титансодержащие композиции из продуктов химической переработки сфенового и нефелинового концентратов / Л.Г.Герасимова, Е.С.Шукина, Ю.Г.Кисилев и др. // Труды КНЦ РАН. 2015. № 5. С. 57-61.

*Автор А.А.Гурьев, канд. экон. наук, генеральный директор, secretgaa@phosagro.ru (ПАО «ФосАгро», Москва, Россия).
Статья принята к публикации 4.10.2017.*