

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «АПАТИТ»



П. А. КОРЧАК,
главный
специалист
отдела технического
развития



С. А. ЖУКОВА,
ведущий
инженер-геофизик
Центра геофизического
мониторинга



П. Ю. МЕНЬШИКОВ,
начальник
Центра геофизического
мониторинга

Геодинамическую обстановку в зоне производственной деятельности АО «Апатит» определяют как природные факторы (тектоника), так и техногенные — подработка породного массива открытыми и подземными горными работами, изменение рельефа поверхности складированными в хвостохранилища и насыпные отвалы отходами обогатительного и горного производств, а также взрывные работы, изменение гидрологического режима подземных вод и другие воздействия. При этом многолетнее масштабное воздействие техногенных факторов привело к снижению устойчивости системы природных блоков и увеличению регионального уровня сейсмичности, в том числе удароопасности подземных рудников. Все это потребовало организации системного мониторинга сейсмической ситуации с целью регионального и локального прогнозирования опасных геодинамических проявлений и принятия соответствующих технико-технологических и организационных решений по обеспечению безопасности ведения горных работ, сохранности горных конструкций, зданий, сооружений.

Мониторинг сейсмичности на подземных рудниках осуществляется автоматизированными системами контроля состояния массива (АСКСМ), способными регистрировать геодинамические явления с энергией $E > 10^2$ Дж и точностью в несколько метров. Для обеспечения геодинамического мониторинга всей зоны производственной деятельности АО «Апатит» совместно с Кольским филиалом геофизической службы РАН (КФ ГС РАН)

Дан краткий анализ причин и степени усложнения сейсмической и геодинамической обстановки (вплоть до удароопасности массива горных пород) в результате многолетнего интенсивного ведения открытых и подземных горных работ, складирования отходов производства и других технологических воздействий в районе деятельности АО «Апатит». На этом фоне показано становление и развитие системы мониторинга сейсмических процессов — от первых автоматизированных систем контроля состояния массива на подземных рудниках до современного автоматизированного технико-технологического комплекса геодинамического мониторинга по всей зоне производственной деятельности предприятия. Представлены структура и основные параметры комплекса, подчеркнуты его достоинства в части регионального прогнозирования удароопасности и повышения безопасности ведения горных работ.

Ключевые слова: подземные и открытые горные работы, подработка природных массивов, техногенные воздействия, геодинамическая обстановка, мониторинг сейсмичности, автоматизированные системы контроля, прогноз удароопасности.

создана объединенная система контроля сейсмичности массива (ОСКСМ).

Активное строительство АСКСМ началось в 1982 г. в рамках реализации специального проекта разработки блока-целика 4-8 Кировского рудника.

Первый исследовательский вариант АСКСМ включал в качестве базового регистратора уникальный медленный аналоговый магнитофон, разработанный в Полярном геофизическом институте КФ АН СССР, на следующем этапе — на основе стандарта КАМАК, ЭВМ СМ-4 (ИВК-3) и микроЭВМ «Электроника» (при работе этой системы сейсмические сигналы поступали из подземной части в аналоговом виде). Далее в сотрудничестве с фирмой Geos Ltd (Венгрия) была создана система цифровой обработки и телеметрической передачи сигналов из подземных павильонов с последующей обработкой информации на ЭВМ. Отладка и опытная эксплуатация системы осуществлена в 1985–1987 гг. В 1988 г. система контроля под названием АСКСМ-К

на участке Кукисвумчоррского крыла была введена в промышленную эксплуатацию. В 1994 г. в связи с предполагаемой разработкой блока-целика на Юкспорском руднике была введена в эксплуатацию автоматизированная подсистема контроля сейсмичности массива АСКСМ-Ю, а в 2000 г. в зоне стыковки открытых и подземных работ Центрального и Расвумчоррского рудников — АСКСМ-Р*.

В начале 2012 г. на Расвумчоррском руднике была введена в промышленную эксплуатацию телеметрическая система сбора сейсмической информации (ТСС) производства НПО «Системотехника», в конце 2012 г. в НПО «Системотехника» завершили изготовление скважинных боксов, применение которых позволит повысить точность измерений и сократить расходы на установку оборудования.

ТСС отвечает всем современным требованиям и включает (рис. 1):

- центральный управляющий компьютер (ЦУК) с GPS-часами, которые способны поддерживать необходимую синхронизацию при потере сигналов со спутников в течение 12 часов;
- телеметрические подсистемы сбора информации (ТПС) (до 6), каждая из которых включает контроллер телеметрии, установленный в здании сейсмостанции, и до восьми подземных сейсмопунктов.

В каждом сейсмопункте установлены: бокс телеметрии; блок бесперебойного питания, обеспечивающий автономную работу сейсмопункта в течение 3 суток. В системе используются следующие типы сейсмометров: S1073 или S2123 («ИФЗ», Россия); A1638 1 Вc2/м, 0,2-400Гц («Геоакустика», Россия); скважинные G4.5 4,5-2000Гц (ISS International, ЮАР). Сейсмопункты располагают на расстоянии до 6 км от сейсмостанции и соединяют с ней выделенными линиями связи. Технические характеристики ТСС приведены ниже.

Режим работы	Непрерывный
Максимальное число сейсмопунктов, ед.	64
Динамический диапазон принимаемого сигнала, дБ	120
Энергетический диапазон в применении к системе с расстоянием между сейсмопунктами 1–2 км, Дж	10^3-10^9
Погрешность локации гипоцентра, % от расстояния между сейсмопунктами	2
Погрешность привязки измерений к мировому времени, с	0,001
Диапазон частот входных сигналов, Гц	1,6–250
Частота квантования входных сигналов, Гц	1000

Обработка и анализ сейсмической информации, полученной в результате функционирования систем АСКСМ-ОКр (ОКр — Объединенный Кировский рудник) и АСКСМ-Р осуществляется централизованно в Центре геофизического мониторинга (ЦГМ) АО «Апатит».

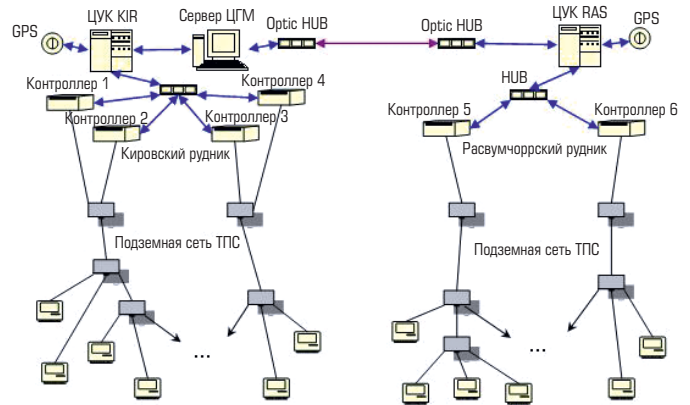


Рис. 1. Структурная схема телеметрической системы сбора сейсмической информации Центра геофизического мониторинга АО «Апатит»

До 2012 г. обработку полученной ТСС информации осуществляли в программе EDEV, разработанной в ГоИ КНЦ РАН для операционной системы IBM OS/2, которая устарела, не поддерживается производителем и по количеству параметров об очаге сейсмического события не соответствует требованиям современных методик определения удароопасности. Было принято решение перевести обработку сейсмических сигналов на программу, управляемую операционной системой Windows. Если раньше в базу данных вносили время, координаты и энергию сейсмического события, то в новой программе обработки сигналов, кроме перечисленных параметров, определяются сейсмический момент, угловая частота, статический и динамический сброс напряжения, угол и степень поляризации S-волн по сейсмопунктам, параметры механизма очага (рис. 2).

В 2009 г. Комиссия по горным ударам приняла решение об объединении сейсмических сетей АО «Апатит» и КФ ГС РАН в единую систему с целью обеспечения геодинамического мониторинга по всей зоне производственной деятельности предприятия. Таким образом, к подземным сетям АО «Апатит» присоединилась сеть КФ ГС РАН, состоящая из двух станций. На данных станциях используются широкополосный сейсмометр CMG-3ESP, девять вертикальных и два горизонтальных сейсмометра GS-1. В 2010 г. ОСКСМ была введена в промышленную эксплуатацию (рис. 3).

В процессе объединения сейсмических сетей АСКСМ-ОКр, АСКСМ-Р и КФ ГС РАН были разработаны: алгоритм совместной локации событий по данным сетей станций, имеющих разные источники привязки ко времени; эффективные скоростные модели для локации событий в Хибинском массиве; шкала согласованных локальных магнитуд. Созданы и освоены в практике работ ЦГМ конвертеры файлов волновых форм АСКСМ в международный формат CSS 3.0; специализированное программное обеспечение обработки волновых форм LORS (Locator of Regional Seismicity); пара клиент—сервер для доступа к

* Мониторинг сейсмичности и горных ударов в пределах действующих апатитовых подземных рудников и карьеров. Создание и модернизация подсистем АСКСМ-Р, -К, -Ю. — Кировск — Апатиты, 2002.

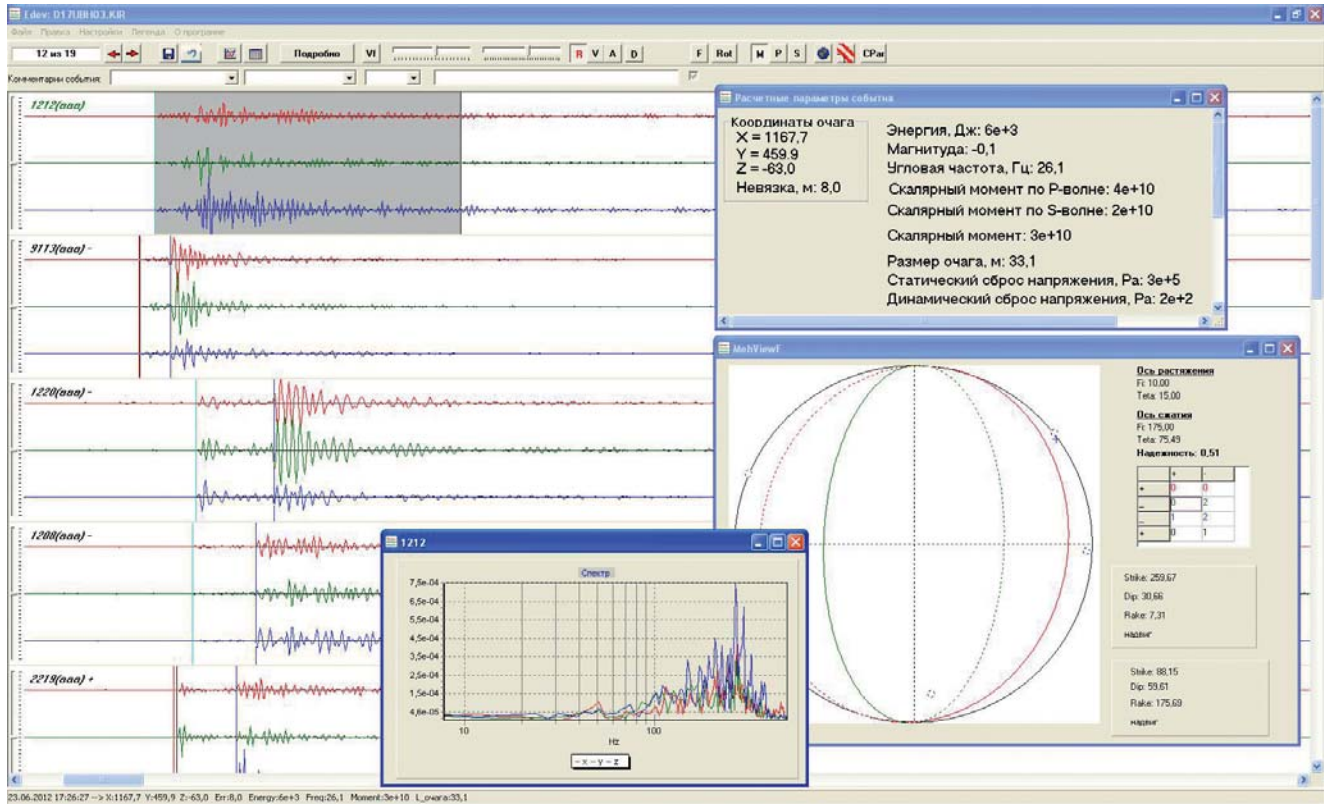


Рис. 2. Пример расчета параметров сейсмического события в операционной программе системы Windows

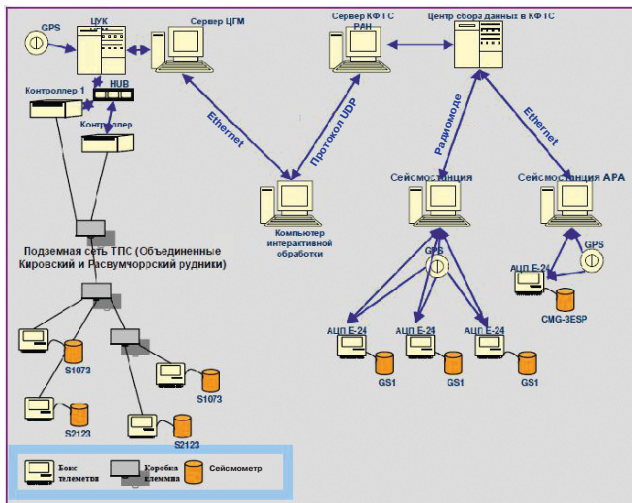


Рис. 3. Структурная схема объединенной системы контроля сейсмичности массива в зоне производственной деятельности АО «Апатит»

серверу КФ ГС РАН и передачи волновых форм в ЦГМ в режиме реального времени. Разработана также эффективная скоростная модель для локации геодинамических явлений, происходящих в зоне мониторинга.

Задачей ОСКСМ является получение оперативной информации о сейсмическом режиме (координаты сейсмических со-

бытий и магнитуды) в пределах района производственной деятельности АО «Апатит». Регистрация сейсмических событий с вероятностью не ниже 0,8 обеспечивается в диапазоне магнитуд от 0,6 и выше. Погрешность определения координат эпицентра в районе наблюдений с вероятностью 0,67 находится в диапазоне от 100 до 1000 м в районе Восточного рудника. Чтобы минимизировать затраты на развитие сети, создана методика определения мест расположения сейсмопунктов с заданными параметрами погрешности определения эпицентров событий с магнитудой от 0,8. Результаты расчетов по этой методике показали, что при создании пунктов на АНОФ-2, АНОФ-3, Восточном руднике и на базе МЧС (Кузльпор) погрешность определения эпицентров геодинамических явлений составит менее 200 м во всей зоне производственной деятельности АО «Апатит».

По результатам геодинамического мониторинга района производственной деятельности АО «Апатит» со времени ввода в эксплуатацию ОСКСМ (октябрь 2010 г.) зарегистрировано 362 сейсмических события, идентифицированных как динамические проявления горного давления, из них 156 с магнитудой от 0,6 до 1; 199 — от 1 до 2; 7 — с магнитудой >2 (рис. 4). Самое мощное естественное сейсмическое событие с магнитудой 3,2 зарегистрировано 21.10.2010 г. — техногенное землетрясение на Объединенном Кировском руднике.

Подвляющее большинство событий приурочено к шахтным полям Объединенного Кировского рудника, подземного Расвум-

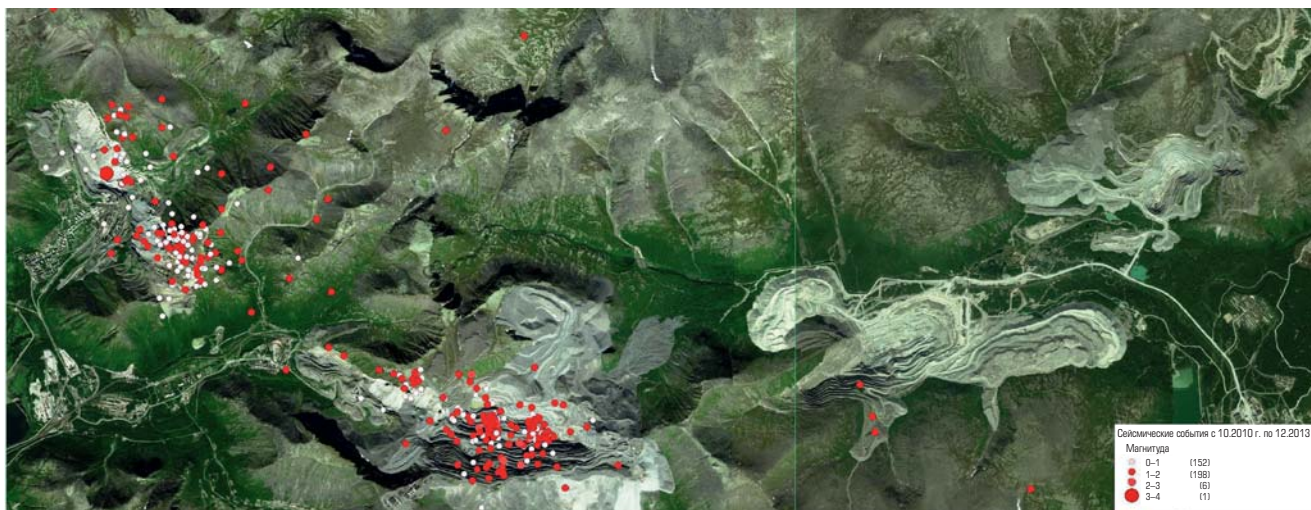


Рис. 4. Фрагмент космоснимка района производственной деятельности АО «Апатит» с результатами геодинамического мониторинга в период с октября 2010 до января 2014 г.

чоррского и карьера рудника «Центральный», что отражает высокую плотность сейсмопавильонов и интенсивные горные работы в районе этих объектов. На Восточном руднике зафиксировано 2 сейсмических события с магнитудой 1.

По результатам микросейсмического мониторинга на подземных рудниках с 1989 по 2013 г. зарегистрировано 23 геодинамических явления, ощущаемых на земной поверхности. Самое мощное событие с магнитудой 4,5 наблюдалось на Кировском руднике 16.04.1989 г. Большая часть событий зафиксирована в зонах ведения очистных работ и влияния консоли налегающих пород, что связано с перераспределением напряжений в массиве.

По результатам мониторинга за 2013 г. зона первой степени региональной удароопасности, при установлении которой из опасного участка необходимо выводить персонал, на Объединенном Кировском руднике устанавливалась 81 раз, а на Расвумчоррском — один раз.

За время мониторинга сейсмичности в массиве выявлены следующие закономерности: реакция массива на массовые взрывы; сезонный рост сейсмичности в периоды таяния снега; рост сейсмичности на Центральном руднике в периоды затяжных дождей и таяния снега; рост сейсмичности перед обрушением консоли налегающих пород; взаимосвязь сейсмичности на разных структурных блоках. Технологические процессы ведения горных работ оказывают существенное влияние на сейсмический режим Хибинского массива.

Долговременные наблюдения за сейсмичностью на подземных рудниках АО «Апатит» позволили получить ценную информацию о процессах разрушения в массиве горных пород, а АСКСМ не только сигнализирует о необходимости вывода людей из потенциально опасных зон и фиксирует факты разрушения, но и позволяет установить связи параметров изменения потока сейсмичности в пространстве и во времени с технологией и интенсивностью ведения горных работ. Региональный прогноз удароопасности на основе непрерывной регистрации сейсмичности позволяет повысить безопасность горных работ в сложных геодинамических условиях. При этом расширение сети геодинамического мониторинга в АО «Апатит» позволит более эффективно решать задачи развития предприятия в части строительства новых, реконструкции и эксплуатации объектов повышенной опасности.

Авторы выражают благодарность С. С. Пугачеву, заместителю технического директора по геодинамике АО «Апатит» с 2007 по 2014 г., за обсуждение результатов, ценные советы и критические замечания к работе. **ГЖ**

Корчак Павел Анатольевич,
e-mail: PKorchak@phosagro.ru
Жукова Светлана Александровна,
e-mail: SZhukova@phosagro.ru
Меньшиков Павел Юрьевич,
e-mail: PMenshikov@phosagro.ru

Title	Seismic monitoring build-up and development in the production activity zone of Apatit JSC
Author 1	Name & Surname: Korchak P. A.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Top Specialist, Technical Solutions Department
	Contacts: e-mail: PKorchak@phosagro.ru
Author 2	Name & Surname: Zhukova S. A.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Principal Engineer–Geophysicist, Geophysical Monitoring Center
Author 3	Name & Surname: Menshikov P. Yu.
	Company: Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Chief, Geophysical Monitoring Center
Abstract	<p>Seismic monitoring is implemented in underground mines using automated rock mass control systems (ARMC) capable of recording seismic events with an energy $E > 10^2$ J to the accuracy within a few meters.</p> <p>Early in 2012 Rasvumchorr Mine put into service a seismic information telemetry system (SIT) manufactured by Sistemotekhnika Science and Production Association. Late in 2012 Sistemotekhnika Science and Production Association accomplished manufacture of down-hole units designed to improve measurement accuracy and cut down equipment installation cost.</p> <p>Each seismic measurement point is equipped with a telemetry unit and an uninterruptable power supply unit enabling independent operation of the seismic point for 3 days. The measurement system uses seismometers S1073 or S2123 (Institute of Physics of the Earth, Russia); A1638 1 Vs2/m, 0.2–400Hz (Geoakustika, Russia); downhole seismometers G4.5 4.5-2000Hz (ISS International, South Africa). The seismic points are arranged at a distance to 6 km from the seismic station and are connected with each other and with the station by the dedicated communication lines.</p> <p>For the sustainable geodynamic monitoring of the production area, Apatit JSC jointly with the Kola Division of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences have designed an integrated underground seismicity control system (IUSC). The IUSC system aims to provide real-time data on seismic mode (coordinates and magnitudes of seismic events) within the production area of Apatit JSC. Recording of seismic events with a probability not lower than 0.8 is conducted in the range of magnitudes from 0.6 and higher.</p>
Acknowledgment	The authors express their gratitude to Pugachev S. S., Deputy Technical Director for Geodynamics (since 2007 till 2014), Apatit JSC, for the fruitful discussion of the research findings, the valuable advice and criticism.
Keywords	Opencast and underground mining, natural rock mass undermining, induced impact, geodynamic situation, seismic monitoring, automated control systems, rockburst hazard forecasting.
References	<p>1. <i>Monitoring seismichnosti i gornykh udarov v predelakh deystvuyushchikh apatitovykh podzemnykh rudnikov i karerov. Sozdanie i modernizatsiya podsystem ASKSM-R, -K, -Yu v ramkakh khozdogovora No. 26143 s Otkryтым Aktsionernym Obshchestvom “Apatit”</i> (Monitoring of seismicity and bounces within working apatite underground mines and open pits. Creation and modernization of ASKSM-R, -K, -Yu subsystems within commercial contract No. 26143 with JSC “Apatit”). Kirovsk – Apatity, 2002. (in Russian).</p>

